Recommandations pour la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts

- **Avis de l'Afsset**
- **Rapport du groupe d'experts**
- **Annexes**

afsset

agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail

Avril 2007

afsset

agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail

Recommandations pour la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts

Saisine n°2005/006

RAPPORT

du groupe de travail Afsset
« Parcs de stationnement couverts »

janvier 2007

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

PREAMBULE DE L'AFSSET

Ce rapport constitue une expertise des critères de qualité de l'air applicables dans les parcs de stationnement couverts identifiés comme Etablissements Recevant du Public (ERP) au vu de la nouvelle réglementation en vigueur*. Les travaux conduits ont abouti à la proposition de critères de qualité de l'air applicables à ce type d'enceintes.

Cette étude répond à une saisine reçue des ministères en charge de la Santé et de l'Environnement en juin 2005.

L'objectif de ce préambule est d'apporter au lecteur l'ensemble des éléments de définition et de contexte relatifs aux travaux menés, pour une meilleure compréhension du document.

Valeurs cibles : définition

Certains polluants peuvent avoir des effets nocifs pour la santé humaine et leur présence peut être considérée comme problématique dans l'air des parcs de stationnement couverts.

Les travaux ont consisté à définir des « valeurs cibles » de concentration atmosphérique pour ces polluants. Ces valeurs, si elles sont respectées, permettent de mieux protéger la santé publique des effets nocifs des polluants en cas de fréquentation de tels parcs.

Elaboration des « valeurs cibles »

Ces « valeurs cibles » ont été établies sur des critères strictement sanitaires. Elles ont été calculées par la démarche désormais classique d'évaluation des risques sanitaires (National Research Council, 1983).

Leur élaboration est basée sur des valeurs toxicologiques de référence (VTR), lorsqu'elles existent, sur une durée d'exposition jugée pertinente pour l'environnement concerné et sur un niveau de risque considéré comme acceptable.

Pour rappel, VTR est une appellation générique regroupant tous les types d'indice toxicologique qui permettent d'établir une relation entre une dose et un effet (cas des toxiques à seuil d'effet) ou entre une dose et une probabilité d'effet (cas des toxiques sans seuil d'effet). Les VTR sont établies par des instances internationales (l'OMS par exemple) ou des structures nationales (USEPA, ATSDR aux Etats-Unis, RIVM aux Pays Bas…).

* arrêté du 9 mai 2006 portant approbation de dispositions complétant et modifiant le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public (parcs de stationnement couverts).

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Portée et limites « des valeurs cibles »

Les « valeurs cibles » définies dans cette étude sont des valeurs environnementales dans la mesure où elles concernent un milieu spécifique donné (les parcs de stationnement couverts), et les expositions qui en découlent, pour les personnes amenées à fréquenter ce type d'enceinte (usagers et employés). Elles permettent, si elles sont respectées, de protéger la plus large part de la population (intégrant des personnes dites sensibles) sans distinction de population *a priori*. Ces valeurs constituent ainsi des objectifs recommandables pour une exposition environnementale donnée au vu de critères sanitaires de protection scientifiquement établis.

Les « valeurs cibles » ainsi définies ne constituent pas à ce stade des valeurs limites d'exposition, notamment dans le contexte des expositions professionnelles dont la population de référence est une population d'adultes supposés en bonne santé.

Les expositions professionnelles sont encadrées par d'autres référentiels dénommés « valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) », qui sont des valeurs admises ou réglementaires développées pour maîtriser les risques liés à l'exposition directe à des substances toxiques en milieu professionnel dans un but de prévention de pathologies d'origine professionnelle. Leur construction intègre des critères scientifiques et techniques différents de ceux de « valeurs cibles ». Les VLEP doivent être considérées comme des objectifs minimaux, applicables à tout travailleur mais uniquement dans le cadre d'exposition professionnelle.

Aussi, les « valeurs cibles » proposées dans ce rapport et établies pour des durées d'exposition assimilables à celles de travailleurs ne se substituent pas à des VLEP.

Ces « valeurs cibles » revêtent toutefois un intérêt particulier dans le contexte d'expositions à caractère environnemental encourues durant le travail (source de pollution liée à l'environnement dans lequel on travaille mais ne relevant pas directement de l'activité professionnelle), pour lequel les référentiels font généralement défaut.

Les« valeurs cibles » sont définies pour chaque polluant séparément. Or la situation réelle, notamment dans les parcs de stationnement couverts, est complexe et correspond généralement à un mélange de ces polluants. La mesure de chaque polluant pour vérifier le respect des « valeurs cibles » serait alors extrêmement difficile et lourde à mettre en place.

Afin de résoudre ce problème, les travaux menés identifient également un moyen de faire respecter les « valeurs cibles » en proposant le suivi d'un composé unique dans le cas d'un mélange de polluants. L'établissement d'une « valeur de gestion » pour ce composé unique est basé sur les corrélations mises en évidence entre les polluants identifiés comme problématiques au sein des parcs de stationnement couverts.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

GROUPE DE TRAVAIL :

Président :

– M. Philippe GLORENNEC, membre du CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » – Enseignant chercheur (ENSP) – Spécialités : épidémiologie, évaluation quantitative des risques sanitaires, pollution atmosphérique urbaine

Experts :

– M. René ALARY, membre du CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » – Ingénieur (LCPP) - Spécialités : pollution atmosphérique de l'air extérieur et intérieur, métrologie des polluants de l'air

– Mme Dominique Aline DUPAS – Maître de conférence des universités, médecin des hôpitaux – Spécialités : pathologie professionnelle

– M. Laurent FILLEUL, membre du CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » – Epidémiologiste (InVS) - Spécialités : épidémiologie, pollution atmosphérique urbaine, évaluation quantitative des risques sanitaires

– M. Yvon LE MOULLEC – Ingénieur hygiéniste (LHVP) – Spécialités : pollution atmosphérique, métrologie des polluants de l'air

– M. Maurice MILLET, membre du CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » - Maître de conférence des universités – Spécialités : physico-chimie des produits phytosanitaires et autres polluants organiques dans l'air

– M. Jean-Paul MORIN, membre du CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » - Chargé de recherche (INSERM) - Spécialités : toxicologie, émissions atmosphériques des véhicules à moteur

Organismes :

INERIS, représenté par :

– M. Olivier BLANCHARD, membre du CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » – Ingénieur - Spécialités : chimie, pollution atmosphérique, évaluation quantitative des risques sanitaires

Et

– Mme Corinne MANDIN – Ingénieur- Spécialités : chimie, pollution atmosphérique, évaluation quantitative des risques sanitaires

Coordination scientifique :

Mme Valérie PERNELET-JOLY – Chef de projet – Afsset

Secrétariat administratif :

Mme Séverine BOIX – Afsset

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

AUDITION DE PERSONNALITES EXTERIEURES :

Ministère de l'Intérieur (Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles ; DDSC – BRIRVC) :

M. le Capitaine BROCHARD

Fédération Nationale des Métiers du Stationnement (FNMS) :

M. François LEVERT, Délégué général

M. ROUX

CONTRIBUTIONS EXTERIEURES AU GROUPE :

– Réalisation de campagnes de mesure de la qualité de l'air dans des parcs de stationnement couverts (Laboratoire Central de la Préfecture de Police).

– Appui scientifique apporté par Nathalie BONVALLOT et Cécilia SOLAL, toxicologues à l'Afsset.

AVANCEE DES TRAVAUX ET ADOPTION DU RAPPORT :

Les travaux menés par le groupe de travail « Parcs de stationnement couverts » ont été présentés au CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » lors des séances plénières des :

- 17 mars 2006
- 6 octobre 2006
- 15 décembre 2006

Le rapport préparé par le groupe de travail a été soumis pour commentaires au CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » lors de sa séance plénière du :

- 15 décembre 2006

Après prise en compte des commentaires, le rapport a été approuvé par les membres du groupe de travail.

Il a été approuvé par le CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » le : 2 février 2007

MOTS CLES :

Parkings souterrains, parcs de stationnement couverts, pollution de l'air, polluants atmosphériques, air intérieur, risque sanitaire.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

SOMMAIRE

Résumé **10**
Sigles et acronymes **18**
Liste des tableaux **20**
Liste des figures **22**

1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine **23**
1.1 Introduction **23**
1.2 La saisine **23**
1.3 La démarche en réponse **24**
1.3.1 Le rapport préliminaire et le premier avis du CES 24
1.3.2 Le groupe de travail (GT) 25
1.3.3 Interactions 26

2 Démarche adoptée par le GT **27**

3 État des lieux des données disponibles **29**
3.1 Objectifs de la revue bibliographique et démarche suivie **29**
3.2 Données françaises **29**
3.2.1 Concentrations intérieures mesurées dans les parkings couverts 29
3.2.2 Exposition des usagers et des travailleurs 33
3.2.3 Typologie des parcs de stationnement couverts français 34
3.2.4 Réglementation 34
3.2.5 Valeurs guides 34
3.2.6 Normalisation 35
3.3 Données des autres pays **35**
3.3.1 Concentrations intérieures mesurées dans les parkings couverts 35
3.3.1.1 Généralités 35
3.3.1.2 Travaux allemands 36
3.3.1.3 Travaux canadiens 37
3.3.1.4 Travaux asiatiques 38
3.3.1.5 Conclusion 39
3.3.2 Valeurs réglementaires et valeurs guides 39

4 Mesures réalisées dans des parcs de stationnement couverts **40**
4.1 Objectif des campagnes de mesure **40**
4.2 Méthodes **40**
4.2.1 Parcs de stationnement couverts investigués 40
4.2.2 Echantillonnage 41
4.2.3 Mesures 41
4.2.3.1 Les mesures automatiques 42
4.2.3.2 Les mesures par prélèvement actif 42
4.2.3.3 Les mesures par prélèvement passif 43
4.3 Résultats **43**
4.3.1 Concentrations 43
4.3.1.1 Mesures automatiques 43
4.3.1.2 Mesures par prélèvement actif 47
4.3.1.3 Mesures par prélèvement passif 49
4.3.1.4 Mesures complémentaires : mesures des $PM_{2,5}$ 50
4.3.2 Corrélations 50

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

4.4 Conclusions 55
4.4.1 Synthèse des mesures par analyseurs automatiques 55
4.4.2 Synthèse des mesures par prélèvement actif 55
4.4.3 Synthèse des mesures par prélèvement passif 56

5 Identification des polluants d'intérêt 57

5.1 Recensement des polluants émis 57
5.1.1 Emissions à l'échappement des véhicules 57
5.1.2 Emissions à l'évaporation 59
5.1.3 Emissions dues aux équipements automobiles 59
5.1.4 Emissions par les voiries 61
5.1.5 Emissions futures liées aux évolutions du parc automobile, des technologies et des carburants 61

5.2 Sélection des polluants d'intérêt sanitaire 63
5.2.1 Méthode 63
5.2.1.1 Phase n°1 : Elimination des composés non pertinents dans le contexte de l'étude 63
5.2.1.2 Phase n°2 : Hiérarchisation des polluants et sélection finale des substances d'intérêt sanitaire 63
5.2.1.2.1 Classification des polluants 64
5.2.1.2.2 Sélection finale 64
5.2.2 Mise en œuvre 64
5.2.2.1 Phase n°1 64
5.2.2.2 Phase n°2 65
5.2.3 Résultats 66
5.2.3.1 Résultat intermédiaire à l'issue de la phase n°1 66
5.2.3.2 Résultat de la classification 67
5.2.3.3 Résultat final 68
5.2.4 Discussion 70
5.2.4.1 Cas des polluants ne disposant pas de VTR 70
5.2.4.2 Cas des polluants non mesurés dans le cadre de ces travaux 70

6 Construction des Valeurs Cibles de concentrations atmosphériques en polluants dans les parcs de stationnement couverts 72

6.1 Méthode 72
6.1.1 Principe 72
6.1.2 Calcul pour les polluants avec seuil d'effet 73
6.1.3 Calcul pour les polluants sans seuil d'effet 74
6.2 Choix des valeurs toxicologiques de référence 74
6.3 Scénarios d'exposition 76
6.4 Expositions dans les autres micro-environnements 76
6.5 Surcroît d'exposition et de risque et calculs associés 77
6.6 Résultats : Valeurs Cibles 78
6.7 Discussion 83
6.7.1 Identification des dangers et valeurs toxicologiques de référence 83
6.7.2 Choix des paramètres des scénarios d'exposition 83
6.7.3 Prise en compte des expositions ubiquitaires 84
6.7.4 Niveau de risque accepté 85

7 Elaboration de Valeur(s) de Gestion 86

7.1 Principe 86
7.2 Critères de sélection du polluant à retenir pour l'élaboration de valeur(s) de gestion. 86
7.3 Choix du polluant pour l'élaboration de valeur(s) de gestion 87
7.4 Détermination des valeurs cibles pouvant être contrôlées à partir d'une valeur de gestion sur le monoxyde d'azote (NO) 89
7.4.1 Cas des polluants à seuil d'effet 89

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

7.4.2 Cas des polluants sans seuil d'effet 90
7.5 Valeur(s) de gestion pour le polluant retenu : NO 93
7.6 Discussion 95
7.6.1 Les limites de l'exercice 95
7.6.2 Cas du monoxyde de carbone (CO) 95
7.7 Conclusion 96

8 Conclusions et recommandations du GT 97
8.1 Résultats synthétiques des travaux et constats 97
8.2 Conclusion 98
8.3 Recommandations d'action 98
8.4 Recommandations d'études ou de recherche 100

9 Bibliographie 101
9.1 Publications 101
9.2 Rapports, ouvrages, thèses 104
9.3 Textes réglementaires 106
9.4 Communications, actes de conférences 106
9.5 Sites web 106

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Résumé

Les ministères de la santé et de la protection sociale, et de l'écologie et du développement durable ont demandé en juin 2005 l'avis de l'Afsset sur des valeurs limites de concentration en polluants à respecter dans l'air des parcs de stationnement couverts.

Cette saisine fait suite à un projet d'arrêté préparé par le ministère de l'intérieur, de la sécurité intérieure et des libertés locales, qui définit les dispositions relatives à la sécurité incendie et au risque de panique dans les parcs de stationnement couverts. Y seraient intégrées des règles techniques destinées à éviter tout risque sanitaire pour ces établissements recevant du public : le projet propose des valeurs limites de concentration pour le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde d'azote (NO_2).

Après collecte et analyse des données existantes par l'Afsset, le Comite d'Experts Spécialisés « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » a considéré les valeurs proposées dans le projet d'arrêté comme n'assurant pas un niveau suffisant de protection de la santé du public et des personnels fréquentant les parcs de stationnement souterrains, au regard des recommandations de l'OMS en particulier. Le CES a par ailleurs attiré l'attention des ministères concernés sur la nécessité de prendre également en compte d'autres polluants atmosphériques que le CO et le NO_2 en vue de prévenir les risques sanitaires liés à la qualité de l'air des parcs de stationnement couverts, notamment les particules et le benzène.

A la suite, l'Afsset a proposé :

- de mettre en place un groupe de travail (GT) pour instruire dans le fond la saisine et proposer des critères de qualité de l'air à respecter pour protéger la santé ;
- d'initier la mise en œuvre de quelques campagnes de mesure de la qualité de l'air dans des parcs de stationnement couverts pour alimenter les travaux du GT de données récentes et représentatives, compte tenu du peu de données disponibles, notamment en France.

Le GT a structuré sa réflexion en cherchant à répondre aux questions suivantes :

1. ***Des recommandations sur la qualité de l'air dans les parkings couverts existent-elles dans d'autres pays ?***

La revue bibliographique de l'ensemble des données internationales sur la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts, tant en terme d'évaluation (polluants présents, concentrations intérieures, métrologie mise en œuvre…), que de gestion (réglementation, valeurs guides, normalisation…) a montré qu'il n'existait pas de valeurs réglementaires de qualité d'air intérieur pour les parcs de stationnement couverts dans les autres pays.

2. ***Quels sont les polluants émis dans les parcs de stationnement couverts ?***

La bibliographie indiquant que les études se sont, pour la plupart, intéressées à une gamme très restreinte de polluants, le GT a choisi de considérer les émissions liées au trafic automobile (véhicules légers et deux-roues) pour établir la liste initiale de polluants émis. 275 substances ont été identifiées : oxydes d'azote (NO et NO_2), oxydes de carbone (CO et CO_2), particules, des HAP, des COV, des métaux.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

3. Parmi les polluants émis, quels sont ceux qui sont les plus pertinents pour une gestion des risques sanitaires ?

Il s'agit des substances :

- stables chimiquement dans les ambiances intérieures,
- avec des dangers documentés par inhalation,
- disposant de valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour l'inhalation aiguë et/ou chronique (condition *sine qua non* à l'élaboration de concentrations à respecter,),
- pour lesquelles les concentrations mesurées dans des parkings couverts ne sont pas négligeables au regard des VTR recensées.

Ces substances potentiellement d'intérêt pour la suite des travaux sont, à ce stade, au nombre de 38 (cf. tableau a).

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

Substance	Substance
NO2	Benzo(a)anthracène
CO	Chrysène
PM10	Benzo(b)fluoranthène
PM2.5	Benzo(k)fluoranthène
Benzène	Benzo(a)pyrène
Toluène	Dibenzo(a,h)antracène
Ethylbenzène	Benzo(g,h,i)pérylène
Xylènes	Indéno(1,2,3-cd)pyrène
1,3-butadiène	Fluorène
Formaldéhyde	Arsenic
Acétaldéhyde	Baryum
Acroléine	Cadmium
Napthalène	Chrome
Acénaphtylène	Cobalt
Acénaphtène	Cuivre
Phénantrène	Mercure
Anthracène	Manganèse
Fluoranthène	Nickel
Pyrène	Plomb

4. quels sont ceux qui paraissent les plus problématiques ?

Les polluants ont été hiérarchisés en calculant un score combinant les concentrations mesurées (campagnes spécifiques dans le cadre de cette saisine) dans des parcs de stationnement couverts et les VTR aiguë et chronique. Les polluants les plus préoccupants pour lesquels des mesures sont techniquement possibles dans le cadre de la saisine sont indiqués dans le tableau b. Parmi les polluants non mesurables dans le contexte de travail du GT, et au vu des quantités émises et des valeurs toxicologiques de référence, les plus préoccupants sont : acroléine, 1,3 butadiène et manganèse.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau b : Substances les plus problématiques dans les parcs de stationnement couverts.

Substance	Exposition aiguë par inhalation	Exposition chronique par inhalation, avec seuil d'effet	Exposition chronique par inhalation, sans seuil d'effet
Monoxyde de carbone	**X***		
Dioxyde d'azote	**X****		**X**
Benzène		**X**	**X**
Formaldéhyde		**X**	
Benzo(a)pyrène			**X**
Acétaldéhyde		**X**	**X**
Xylènes		**X**	
Naphtalène		**X**	**X**
Particules fines (PM_{10} et $PM_{2,5}$)			**X**

* sur toutes les durées
** sur une 1 heure

Synthèse des campagnes de mesure :

Quatre parcs de stationnement couverts, présentant des typologies et des niveaux de concentrations contrastés ont été investigués :

- Une gare routière d'autocars (75 places, 1 niveau), nommée Parc 1 **;**
- Un parc souterrain desservant une gare ferroviaire (1500 places, 6 niveaux), nommé Parc 2 **;**
- Un parc souterrain desservant un centre commercial (1000 places, 4 niveaux), nommé Parc 3 **;**
- Un parc réservé à des employés (350 places, 1 niveau), nommé Parc 4.

La stratégie de prélèvement avait pour objectif d'évaluer au mieux la répartition spatio-temporelle des polluants au regard des contraintes de prélèvements et d'analyses, et en particulier l'évolution de certains paramètres au moment des pointes de trafic.

Trois types de mesure ont été mis en œuvre :

- automatique en continu (CO, NO, NO_2, PM) ;
- par prélèvement actif (métaux, HAP, BTEX, naphtalène, styrène, hexane, heptane, acétaldéhyde, formaldéhyde) sur des périodes courtes à moyennes (30min à 24h) ;
- par prélèvement passif (NO_2, BTEX, aldéhydes) sur de plus longues périodes (de 4 à 7 jours).

Au total, une quarantaine de substances a été mesurée : CO, CO_2, NO, NO_2, PM_{10}, $PM_{2,5}$, benzène, toluène, éthylbenzène, méta et para xylène, ortho xylène, 1,2,4 triméthylbenzène, naphtalène, styrène, hexane, heptane, acétaldéhyde, formaldéhyde, héxaldéhyde, propionaldéhyde, benzaldéhyde, plomb, cadmium, arsenic, nickel, mercure, phénanthrène, anthracène, fluoranthène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, dibenzo(a,h)anthracène, benzo(g,h,i)pérylène et indéno(1,2,3-c,d)pyrène.

Quelques éléments de synthèse sont présentés dans le tableau c.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau c : Concentrations atmosphériques en polluants dans 4 parcs de stationnement couverts, synthèse des mesures, France 2006.

Monoxyde de carbone (CO)	**Parc 1**	**Parc 2**	**Parc 3**	**Parc 4**
Moyenne sur la période d'étude (mg/m^3)	1,1	10	7,9	4,9
Max sur15 minutes (mg/m^3)	3,2	39	27	24
Max horaire (mg/m^3)	3	32	20	18
Max sur 8 heures (mg/m^3)	2,2	25	14	11
Moyenne sur 8 heures > 10 mg/m^3 (en %)	0	47	41	8,8

Monoxyde d'azote (NO)	**Parc 1**	**Parc 2**	**Parc 3**	**Parc 4**
Moyenne sur la période d'étude (µg/m^3)	272	697	536	165
Max sur15 minutes (µg/m^3)	1550	2870	1740	757
Max horaire (µg/m^3)	1360	2380	1458	651

Dioxyde d'azote (NO_2)	**Parc 1**	**Parc 2**	**Parc 3**	**Parc 4**
Moyenne sur la période d'étude (µg/m^3)	119	187	180	84
Max sur15 minutes (µg/m^3)	396	705	560	510
Max horaire (µg/m^3)	356	463	491	213
Max sur 8 heures (µg/m^3)	221	372	381	147
Moyenne sur 1 heure > 200 µg/m^3 (en %)	7,2	41	38	0,6
Moyenne hebdomadaire (tubes passifs - µg/m^3) (min – max)	109 (76 – 164)	157 (127 – 202)	145 (120 – 160)	71 (66 – 75)

Particules (PM_{10})	**Parc 1**	**Parc 2**	**Parc 3**	**Parc 4**
Moyenne sur la période d'étude (µg/m^3)	34	75	46	30
Max sur15 minutes (µg/m^3)	127	279	162	151
Max horaire (µg/m^3)	113	205	118	101
Max sur 8 heures (µg/m^3)	80	150	90	68
$PM_{2,5}$ / PM_{10} (en %)	72	-	77	79

Benzène	**Parc 1**	**Parc 2**	**Parc 3**	**Parc 4**
Max sur 30 minutes (µg/m^3)	< 4	79	91	-
Moyenne hebdomadaire (tubes passifs - µg/m^3) (min – max)	4,2 (2,8 – 8,1)	26 (19 – 40)	53 (43 – 63)	19 (8,5 – 23)

Formaldéhyde	**Parc 1**	**Parc 2**	**Parc 3**	**Parc 4**
Max sur 1 heure (µg/m^3)	-	42	31	25
Moyenne sur 4 jours (tubes passifs - µg/m^3) (min – max)	6,8 (6 – 7,6)	14 (9,8 – 21)	18 (16 – 22)	17 (16 – 18)
	Parc 1	**Parc 2**	**Parc 3**	**Parc 4**
Plomb (moyenne journalière, ng/m^3)	26	32	12	22
Cadmium (moyenne journalière, ng/m^3)	0,6	0,5	0,1	0,3
Nickel (moyenne journalière, ng/m^3)	-	6,2	4,8	5,6
Arsenic (moyenne journalière, ng/m^3)	1,2	-	0,4	0,3
Benzo(a)pyrène (moyenne journalière, ng/m^3)	0,9	2,4	1,2	0,8

5. *Quelles sont les concentrations que doivent respecter les polluants les plus préoccupants pour protéger la santé des usagers et travailleurs ?*

Les concentrations atmosphériques dont le respect permet de ne pas dépasser un niveau de risque donné sont appelées « Valeurs Cibles » (et notées VC).

VC = f (vtr, durée d'exposition, risque accepté)

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Une VC repose ainsi sur :

- Des scénarios d'exposition : usager et professionnel, avec les durées d'exposition correspondantes.

  En l'absence d'étude d'observation des expositions dans les parcs de stationnement couverts, les scénarios suivants ont été utilisés :

  – Scénario « travailleur » : une fréquentation de 8 heures/jours, 5 jours/semaine, 10 mois/12 pendant 40 ans, ce qui correspond à une proportion annuelle de temps d'exposition dans le parc de stationnement de 20% environ.

  – Scénario « usager » : une fréquentation de 2 x 15 minutes par jour, 5 jours/semaine, 10 mois/12 pendant 40 ans, ce qui correspond à une proportion annuelle de temps d'exposition dans le parc de stationnement de 1 % environ. Ce scénario est plausible mais pénalisant puisqu'il correspond à une fréquentation régulière longue.

- Des valeurs toxicologiques de référence (VTR) par inhalation (relations concentration-risque pour les effets sans seuil, concentrations atmosphériques admissibles pour les effets à seuil) pour les expositions aiguës et chroniques.

  NB : le GT n'a pas considéré les valeurs d'exposition professionnelle pour l'élaboration des valeurs cibles. En effet, les valeurs d'exposition professionnelle sont des valeurs de gestion et non d'évaluation des risques. Contrairement aux VTR, elles intègrent d'autres critères que la protection de la santé, en particulier des critères techniques, sociaux, économiques, voire psychologiques.

- Un (ou plusieurs) niveau(x) de risque acceptable pour les usagers et les professionnels : les repères usuels de 10^{-6} et 10^{-5} ont été utilisés ;
- Les niveaux d'exposition dans les autres micro-environnements fréquentés par les personnes.

Des Valeurs Cibles ont été calculées pour les 9 substances identifiées comme les plus problématiques (cf tableau b).

Elles ont été comparées aux concentrations mesurées. Pour certains polluants, les Valeurs Cibles sont atteintes ou susceptibles de l'être alors que pour d'autres, la probabilité d'un dépassement est très faible, sous l'hypothèse que les teneurs mesurées dans les parcs étudiés sont dans l'ensemble représentatives et caractéristiques de ces ouvrages en général.

Au final, les Valeurs Cibles à considérer concernent 4 substances et sont les suivantes (tableau d) :

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau d : Valeurs Cibles de concentrations atmosphériques à considérer dans les parcs de stationnement couverts

Substance	Pas de temps	Valeur Cible
CO*	1 heure	30 mg/m^3
	8 heures	10 mg/m^3
NO_2	1 heure	200 µg/m^3
	8 heures	35 µg/m^3 si on tolère un excès d'exposition journalier de 10% 68 µg/m^3 si on tolère un excès d'exposition journalier de 50% 108 µg/m^3 si on tolère un excès d'exposition journalier de 100%
Particules (PM_{10})	8 heures	30 µg/m^3 si on tolère un excès d'exposition journalier de 10% 58 µg/m^3 si on tolère un excès d'exposition journalier de 50% 92 µg/m^3 si on tolère un excès d'exposition journalier de 100%
Benzène	8 heures	41 µg/m^3 (éviter les effets à seuil du benzène) 11 µg/m^3 (pour un niveau de risque de 10^{-5} lié aux effets sans seuil du benzène)

* Les Valeurs Cibles de 100 mg/m^3 et 60 mg/m^3 relatives au CO, sur les pas de temps respectifs de 15 et 30 minutes, ne sont pas apparues comme étant des valeurs pouvant être atteintes à l'occasion des différentes campagnes menées. Une situation accidentelle imprévisible ne peut toutefois être totalement écartée, bien que ce cas ne soit pas décrit.

6. Quel composé surveiller en routine pour s'assurer du respect des Valeurs Cibles ?

Le monoxyde d'azote (NO) au vu des critères suivants :

- Être facilement mesurable en continu par un appareil automatique dans la gamme de concentrations attendues ;
- Être bien corrélé avec les polluants toxiques ;
- Avoir une bonne « dynamique » (variabilité temporelle des concentrations) ;
- Avoir un ratio concentration intérieure / concentration extérieure élevé.

7. Quelle(s) concentration(s) de monoxyde d'azote (NO) respecter ?

Ces concentrations sont appelées Valeur de Gestion (VG). Leur respect permet (au regard des connaissances actuelles) de limiter (à un niveau fixé explicitement) le risque d'apparition d'effet sanitaire néfaste lié à la fréquentation du parc de stationnement couvert par un usager et un professionnel.

Les campagnes de mesures, ont permis de quantifier les corrélations entre les teneurs en NO et celles des polluants préoccupants, pour différents pas de temps :

$$[\text{Substance x}] = a + b\,[\text{NO}]$$

Ainsi, en utilisant ces équations, pour une valeur cible donnée (VC), on identifie la concentration en NO (VG) correspondante.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Le tableau e suivant synthétise, pour les 4 polluants identifiés comme préoccupants *in fine*, les valeurs pouvant être atteintes selon le niveau de NO choisi sur 30 minutes, durée plus adaptée à une gestion de la qualité de l'air visant en particulier à anticiper les situations problématiques. Le respect sur ce pas de temps entraine *de facto* le respect sur un pas de temps plus long.

Tableau e : Proposition* de Valeurs de gestion de la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts (sur 30 minutes)

Valeur de gestion du NO en µg/m³	*CO obtenu en mg/m³*	*NO_2 obtenu en µg/m³*	*PM_{10} obtenu en µg/m³*	*Benzène obtenu en µg/m³*	*Implications** connues*** en termes de santé publique pour les polluants et durées critiques*
800	[8 – 12]	[180 – 250]	[60 – 80]	[35 – 50]	• Eviter les effets « aigus » liés au CO (travailleurs ; 1h et 8h d'exposition) • Eviter les effets chroniques à seuil liés au benzène (travailleurs ; 8h d'exposition journalière) • Pour les travailleurs (8h d'exposition journalière), tolérance d'une augmentation de l'exposition quotidienne au NO_2 supérieure à 100%, et comprise entre 50 et 100% pour les PM • Pour les usagers, tolérance d'une augmentation (sur la base de 2x15' d'exposition par jour) de l'exposition journalière au NO_2 comprise entre 10 et 50%, et inférieure à 10% pour les PM • Concernant les effets chroniques sans seuil liés au benzène, tolérance d'un excès de risque individuel > 10^{-5} pour un travailleur, et compris entre 10^{-6} et 10^{-5} pour un usager
600	[7 – 9]	[150 – 205]	[50 – 65]	[26 – 38]	• Eviter les effets « aigus » liés au CO (travailleurs ; 1h et 8h d'exposition) • **Eviter les effets « aigus » liés au NO_2 (travailleurs, 1h d'exposition)** • Eviter les effets chroniques à seuil liés au benzène (travailleurs ; 8h d'exposition journalière) • Pour les travailleurs (8h d'exposition quotidienne), tolérance d'une augmentation de l'exposition journalière au NO_2 supérieure à 100% **et de 50% pour les PM** • Pour les usagers, tolérance d'une augmentation (sur la base de 2x15' d'exposition par jour) de l'exposition journalière au NO_2 comprise entre 10 et 50%, et inférieure à 10% pour les PM • Concernant les effets chroniques sans seuil liés au benzène, tolérance d'un excès de risque individuel > 10^{-5} pour un travailleur, et compris entre 10^{-6} et 10^{-5} pour un usager
400	[4 – 6]	[120 – 160]	[38 – 52]	[18 – 26]	• Eviter les effets liés au CO (travailleurs ; 1h et 8h d'exposition) • Eviter les effets « aigus » liés au NO_2 (travailleurs, 1h d'exposition) • Eviter les effets chroniques à seuil liés au benzène (travailleurs ; 8h d'exposition journalière) • Pour les travailleurs (8h d'exposition journalière), tolérance d'une augmentation de l'exposition journalière au NO_2 supérieure à 100% **et comprise entre 10 et 50% pour les PM** • Pour les usagers, tolérance d'une augmentation (sur la base de 2x15' d'exposition par jour) de l'exposition journalière **au NO_2 inférieure à 10%**, et inférieure à 10% pour les PM • Concernant les effets chroniques sans seuil liés au benzène, tolérance d'un excès de risque individuel > 10^{-5} pour un travailleur, et compris entre 10^{-6} et 10^{-5} pour un usager

* le GT ne s'estime pas légitime pour se prononcer sur un niveau de risque acceptable.
** exprimées par rapport à la valeur centrale de l'intervalle, valeur la plus probable.
***certains dangers ou niveaux de risques ne sont pas connus ou déterminables au vu des connaissances épidémiologiques ou toxicologiques actuelles. De surcroît la démarche d'évaluation des risques sanitaires suivie par le GT ne permet pas la prise en compte de situation exceptionnelle ou accidentelle.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Note 1 : le texte figurant en gras dans le tableau correspond aux « protections » supplémentaires par la valeur de NO de cette ligne par rapport à la ligne supérieure.

Note 2 : les intervalles présentés dans le tableau ci-dessus ne tiennent compte que des incertitudes de mesure. Ils sous estiment l'incertitude car ils ne prennent pas en compte l'incertitude sur la corrélation inter-polluants, ni l'inférence des résultats obtenus dans les 4 parcs mesurés à l'ensemble des parkings couverts.

En conclusion, le GT rappelle que la pollution atmosphérique urbaine est à l'origine d'effets sanitaires très documentés, et que ceux-ci surviennent dès les faibles niveaux de pollution (inférieurs aux valeurs limites réglementaires en air ambiant extérieur). La fréquentation d'un parc de stationnement couvert, milieu plus ou moins confiné par nature, ne peut dès lors qu'augmenter l'exposition à la pollution automobile.

Il existe peu d'éléments d'appréciation des risques sanitaires liés aux expositions dans les parcs de stationnement couverts et les risques sont difficilement évaluables au vu des connaissances actuelles. Les investigations menées dans quatre parcs tendent à montrer que leur qualité d'air est insuffisante au regard de la protection de la santé des usagers et surtout des professionnels exerçant une activité régulière dans les parcs de stationnement couverts (exception faite des personnels d'exploitation dont les locaux de travail sont ventilés séparément, ce qui limite leur exposition moyenne quotidienne).

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Sigles et acronymes

AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air
APL : Air Pays de la Loire
AQG : Air Quality Guideline
ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BMC : Bench Mark Concentration
BMD : Bench Mark Dose
BTEX : Benzène-Toluène-Ethylbenzène-Xylènes
CAA : Concentration Admissible dans l'Air
CES : Comité d'Experts Spécialisés
CO : Monoxyde de carbone
CO_2 : Dioxyde de Carbone
COV : Composé Organique Volatil
CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer
CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
CRAM : Caisse Régionale d'Assurance Maladie
DGS : Direction Générale de la Santé
DNPH : Dinitrophénylhydrazine
EEA : European Environment Agency
EHC : Environmental Health Criteria
EMHV : Esters méthyliques des huiles végétales
ENSP : Ecole Nationale de Santé Publique
EPA : Environmental Protection Agency
EQRS : Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
ERI : Excès de Risque Individuel
ERP : Etablissement recevant du public
ERU : Excès de Risque Unitaire
ETBE : Ethyltertiobutyléther
FE : Facteur d'émission
FET : Facteur d'Equivalent Toxique
FTIR : Fourier Transform Infrared Spectroscopy
GC/FID : Gas Chromatography / Flame Ionization Detector
GNV : Gaz Naturel pour Véhicule
GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié
GT : Groupe de Travail
HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique
HPLC : High Performance Liquid Chromatography
HSDB : Hazardous Substances Data Bank
H_2S : Hydrogène sulfuré
INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité
InVS : Institut de Veille Sanitaire
INSERM : Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale
JRC : Joint Research Centre
LCPP : Laboratoire Central de Préfecture de Police
LD : Limite de Détection
LHVP : Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

LOAEC : Low Observed Adverse Effect Concentration
LOAEL : Low Observed Adverse Effect Level
MEDD : Ministère de l'écologie et du développement durable
MRL : Minimum Risk Level
MTBE : Méthyltertiobutyléther
NOAEC : No Observed Adverse Effect Concentration
NOAEL : No Observed Adverse Effect Level
NO : Monoxyde d'azote
NO_2 : Dioxyde d'azote
NOx : Oxydes d'azote
NRC : National Research Council
OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
OQAI : Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur
PH50 : Percentile 50 horaire
PH98 : Percentile 98 horaire
PH99,8 : Percentile 99,8 horaire
PM : Particulate Matter
PM_{10} : Particulate Matter (diameter < 10 µm)
$PM_{2,5}$: Particulate Matter (diameter < 2.5 µm)
QAI : Qualité de l'Air Intérieur
QD : Quotient de Danger
REL : Reference Exposure Level
RfC : Reference Concentration
RIVM : National institute for public health and the environment of the Netherlands
RSEIN : Recherche Santé Environnement Intérieur
SFSP : Société Française de Santé Publique
SO_2 : Dioxyde de soufre
TC : Tolerable Concentration
TCA : Tolerable Concentration in Air
UNECE : United Nations Economic Commitee for Europe
UV : Ultra Violet
VC : Valeur cible
VG : Valeur de gestion
VLEP : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle
VME : Valeur Moyenne d'Expostion
VTR : Valeur Toxicologique de Référence

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Liste des tableaux

Tableau 1 : Démarche adoptée par le GT « Parcs de stationnement couverts » 27

Tableau 2 : Tableau synoptique des campagnes réalisées par les AASQA 30

Tableau 3 : Caractéristiques des différents parcs de stationnement couverts étudiés 40

Tableau 4 : Composés mesurés 41

Tableau 5 : Périodes de mesures 41

Tableau 6 : Paramètres de la distribution des teneurs en CO dans les différents parcs 44

Tableau 7 : Paramètres de la distribution des teneurs en NO dans les différents parcs 44

Tableau 8 : Paramètres de la distribution des teneurs en NO_2 dans les différents parcs 45

Tableau 9 : Paramètres de la distribution des teneurs en PM_{10} dans les différents parcs 45

Tableau 10 : Pourcentage des moyennes 8h de CO supérieures à 10 mg/m^3 46

Tableau 11 : Pourcentage des moyennes horaires de NO_2 supérieures à 200 $\mu g/m^3$ 46

Tableau 12 : Rapport de concentration moyenne intérieure et extérieure 47

Tableau 13 : Résultats des métaux mesurés et des principaux HAP 47

Tableau 14 : Résultats des COV intégrés sur 30 minutes 48

Tableau 15 : Résultats des aldéhydes intégrés sur 1 heure 48

Tableau 16 : Résultats des COV intégrés sur 8 heures 48

Tableau 17 : Résultats des mesures par tubes passifs 49

Tableau 18 : Rapport de concentration moyenne intérieure et extérieure 50

Tableau 19 : Résultats des mesures de PM_{10} et $PM_{2,5}$ 50

Tableau 20 : Corrélations des données sur 30 minutes 51

Tableau 21 : Corrélations des données sur 1 heure 52

Tableau 22 : Corrélations des données sur 8 heures 53

Tableau 23 : Corrélations des données sur 24 heures 54

Tableau 24 : Corrélation NO/trafic et toluène/trafic 55

Tableau 25 : Potentiels polluants d'intérêt sanitaire dans le cadre d'une exposition par inhalation lors de la fréquentation d'un parc de stationnement couvert 66

Tableau 26 : Classification des substances pour une exposition aiguë par inhalation 67

Tableau 27 : Classification des substances à seuil d'effet pour une exposition chronique par inhalation 67

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 28 : Classification des substances sans seuil d'effet pour une exposition chronique par inhalation....68

Tableau 29 : Substances retenues pour l'élaboration de valeurs cibles....69

Tableau 30 : Résultat de l'analyse comparative des différentes tables de scores....69

Tableau 31 : Tableau récapitulatif des valeurs toxicologiques de référence retenues pour les expositions chroniques....75

Tableau 32 : Concentrations choisies par le GT pour représenter l'exposition liée au temps passé en dehors des parkings couverts....76

Tableau 33 : Valeurs cibles* calculées pour des expositions aiguës (<= 8 heures)....79

Tableau 34 : Valeurs cibles à retenir pour les expositions aiguës....79

Tableau 35 : Valeurs cibles calculées pour les expositions chroniques aux polluants à seuil....80

Tableau 36 : Valeurs cibles à retenir pour les expositions chroniques aux polluants à seuil....80

Tableau 37 : Valeurs cibles possibles pour les expositions chroniques aux polluants avec effet sans seuil....81

Tableau 38 : Valeurs cibles potentielles ($\mu g/m^3$) pour différents excès d'exposition moyenne....82

Tableau 39 : Sensibilité des Valeurs Cibles aux expositions lors des trajets....84

Tableau 40 : Excès de risque correspondant aux expositions hors parc de stationnement pour les polluants sans seuil d'effet, hors indicateurs de pollution atmosphérique urbaine....85

Tableau 41 : Polluants candidats pour l'élaboration d'une valeur de gestion....88

Tableau 42 : Confrontation des valeurs cibles (polluants avec seuil d'effet) et résultats de mesure....89

Tableau 43 : Confrontation des valeurs cibles (polluants sans seuil d'effet) issues de l'approche n°1 et résultats de mesure....91

Tableau 44 : Confrontation des valeurs cibles (polluants sans seuil d'effet) issues de l'approche n°2 et résultats de mesure....92

Tableau 45 : Valeurs de gestion de la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts (sur 30 min) : options* proposées par le GT....94

Tableau 46 : Valeurs de gestion de la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts : options* proposées par le GT....99

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Liste des figures

Figure 1 : Démarche adoptée par le GT prenant en compte l'impossibilité pratique d'une mesure exhaustive de l'ensemble des polluants émis dans un parc de stationnement couvert 28

Figure 2 : Graphe des concentrations en CO et NOx dans un parking dijonnais (extrait de [Atmosf'Air Bourgogne, 2001]) 31

Figure 3 : Profils journaliers de concentrations dans un parking angevin (extrait de [APL, 2003]) . 32

Figure 4 : Résultats des mesures dans 2 parkings munichois en 1998 [Gritsch, 2001] 37

Figure 5 : Vue générale d'une des installations et d'analyseurs automatiques (PM_{10}, NOx, CO, CO_2) 42

Figure 6 : Capteurs passifs utilisés [source : Afsset] 43

Figure 7 : Capteurs passifs avec abri de protection [source : Afsset] 43

Figure 8 : Histogramme fréquence – concentration en NO_2 sur 1 heure 46

Figure 9 : Contrôle de la variabilité inter-niveaux (ex. du parc 3)..... 49

Figure 10 : Nuages de points des corrélations des données sur 30 minutes 51

Figure 11 : Nuages de points des corrélations des données sur 1 heure 52

Figure 12 : Nuages de points des corrélations des données sur 8 heures..... 53

Figure 13 : Nuages de points des corrélations des données sur 24 heures..... 54

Figure 14 : Exemple de détermination d'une valeur de gestion en NO permettant le respect de la valeur cible de 200 µg/m^3 horaire pour le NO_2..... 93

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine

1.1 Introduction

L'ordonnance n°2005-1087 du 1er septembre 2005 qui modifie les dispositions de la loi du 9 mai 2001 créant l'Agence française de sécurité sanitaire environnementale en étendant le champ de compétence de l'agence au domaine du travail, dispose que « L'agence a pour mission de contribuer à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement et du travail et d'évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter. Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui technique nécessaire à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion des risques. » (Art. L.1336-1 du Code de la santé publique).

Le décret n°2006-676 du 8 juin 2006 fixant les dispositions réglementaires relatives à l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, dispose que, pour l'organisation de l'expertise, « l'agence est assistée par des comités d'experts spécialisés dont les compétences et la durée du mandat sont fixées par arrêté des ministres chargés de la tutelle de l'agence. » (Art. R.1336-20 du Code de la santé publique).

1.2 La saisine

Dans ce contexte, le ministère de la santé et de la protection sociale ainsi que le ministère de l'écologie et du développement durable ont demandé, au mois de juin 2005, l'avis de l'Afsset concernant des valeurs limites de concentration en polluants dans l'air dans les parcs de stationnement couverts (cf. lettre de saisine en **Annexe 1A**).

Cette saisine concerne un projet d'arrêté préparé par le ministère de l'intérieur, de la sécurité intérieure et des libertés locales, définissant les dispositions relatives à la sécurité incendie et au risque de panique dans les parcs de stationnement couverts, dans lequel seraient intégrées des règles techniques destinées à éviter tout risque sanitaire pour ces établissements recevant du public. Dans le cadre de ce projet d'arrêté, le ministère chargé de l'intérieur propose de fixer certaines valeurs limites de concentration, et a demandé son avis à la Direction Générale de la Santé sur cette proposition.

Les valeurs limites de concentration proposées dans le projet d'arrêté par le ministère de l'intérieur sont (texte repris *ad integrum* depuis la lettre de saisine transmise):

« – La teneur moyenne calculée sur toute période de huit heures ne doit pas dépasser 30 ppm (60 mg/m^3)[1] pour le CO ;

– La teneur moyenne calculée sur toute période de quinze minutes ne doit pas dépasser 90 ppm (100 mg/m^3) pour le CO ;

[1] Une erreur dans le texte de la saisine a été ici détectée (60 mg/m^3 de CO correspondent à 50 ppm et non à 30 ppm) ; cette erreur a été interprétée comme une erreur dactylographique posant comme hypothèse que la valeur à considérer est 60 mg/m^3 (50 ppm).

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

– La teneur instantanée ne doit pas dépasser 150 ppm (170 mg/m^3) pour le CO, 1,6 ppm pour le NO_2, ce seuil sera réduit à 0,8 ppm à partir de 2012. Il pourra être vérifié que ce seuil n'est pas atteint par la mesure en continu de NO en appliquant un rapport NO/NO_2 de 5, soit 8 ppm (4 ppm à partir du 1er janvier 2012). »

Dans la lettre de saisine, il est donc demandé à l'agence :

1- d'expertiser les critères de qualité de l'air applicables aux parcs de stationnement couverts,

2- et en particulier d'évaluer le risque sanitaire lié aux teneurs proposées en NOx et CO d'une part pour les usagers et d'autre part pour les employés.

3- de réaliser une revue des données existantes françaises et internationales relatives aux concentrations en polluants atmosphériques dans les parcs de stationnement couverts.

1.3 La démarche en réponse

1.3.1 Le rapport préliminaire et le premier avis du CES

Compte tenu de l'urgence de la publication de l'arrêté du ministère de l'intérieur, l'Afsset a proposé à ses ministères de tutelle d'effectuer au cours de l'été 2005, un travail de commentaire général relatif aux valeurs limites de concentration en CO et NO_2 proposées, au vu de la littérature disponible et des normes ou valeurs de référence déjà existantes.

Conformément aux procédures d'instruction mises en œuvre par l'agence et considérant l'existence du Comité d'Experts Spécialisés « Evaluation des risques liés aux milieux aériens »[2] nommé par arrêté ministériel du 9 mars 2005 et installé auprès de l'agence le 10 juin 2005, ce travail de commentaire général a été soumis pour relecture et avis critique à trois de ses membres désignés sur proposition de son président.
Le travail de commentaire général réalisé par l'Afsset a pris la forme d'un rapport intitulé « Rapport préliminaire relatif à la saisine 'Valeurs limites de concentration en polluants dans les parcs de stationnement couverts' ».

Lors de la séance plénière du CES du 14 octobre 2005, la saisine et le rapport préliminaire ont donc été présentés aux membres du CES. Les trois experts désignés pour la relecture critique du rapport préliminaire ont formulé leurs commentaires.

En premier lieu, le suivi d'instruction de cette saisine a été accepté à l'unanimité par le CES.

En second lieu, compte tenu des éléments portés à sa connaissance, le CES a adopté en séance et à l'unanimité un avis fournissant un premier degré de réponse à la saisine en se prononçant en particulier sur les valeurs limites de concentration en CO et NO_2 proposées dans le projet d'arrêté du ministère de l'intérieur[3]. L'avis du CES indique en particulier que :

« Le CES : - considère comme n'assurant pas un niveau suffisant de protection de la santé du public fréquentant les parcs de stationnement souterrains et des personnels, les valeurs proposées pour le CO (8 heures) et le NO_2, au regard notamment de la littérature disponible et des recommandations de l'OMS en particulier ;

[2] Dans toute la suite de ce rapport, le Comité d'Experts Spécialisés « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » sera nommé CES.

[3] L'avis du CES figure en **Annexe 1B**.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

- recommande une mesure directe des valeurs de NO_2 plutôt qu'une évaluation via le ratio NO/NO_2 ;

- attire l'attention des ministères concernés sur la nécessité de prendre également en compte d'autres polluants atmosphériques que le CO et le NO_2 en vue de prévenir les risques sanitaires liés à la qualité de l'air des parkings, notamment les particules et le benzène ;

- préconise que le rapport final s'intéresse également aux modalités de gestion de la ventilation. »

Cet avis apporte donc la réponse relative aux risques sanitaires liés aux teneurs proposées (cf. point noté 2 en page précédente et reprenant le texte de la saisine) dans le projet d'arrêté : elles n'assurent pas (pour le CO sur 8 heures et pour le NO_2) un niveau de protection de la santé suffisant pour les personnels et le public fréquentant des parcs de stationnement couverts.

Deux points restent alors à instruire dans le fond : mener une expertise sur les critères de qualité de l'air applicables aux parcs de stationnement couverts, et réaliser une revue des données existantes françaises et internationales relatives aux concentrations en polluants atmosphériques dans ces enceintes.
Les recommandations du CES sont par ailleurs à considérer pour cette expertise, en particulier la nécessité de prendre en compte d'autres polluants atmosphériques que le CO et le NO_2.

Dans ce contexte, l'Afsset a proposé :

- de mettre en place un groupe de travail (GT) pour instruire dans le fond la saisine ;
- d'initier la mise en œuvre de quelques campagnes de mesure de la qualité de l'air dans des parcs de stationnement couverts pour alimenter les travaux du GT de données récentes et représentatives, compte tenu en particulier que les premiers éléments bibliographiques collectés ont fait état de peu de données disponibles en France sur le sujet.

1.3.2 Le groupe de travail (GT)

Consécutivement à la séance plénière du CES tenue le 14 octobre 2005 et dans la continuité des recommandations formulées par ce dernier, l'agence a donc constitué un groupe de travail pour partie issu du CES. La constitution de ce groupe s'est faite d'une part par candidature spontanée de plusieurs experts membres du CES, et d'autre part par consultation auprès de personnalités extérieures au CES reconnues pour la complémentarité de leurs compétences nécessaires à l'instruction de la saisine.

La constitution définitive du GT a fait l'objet d'une décision de la directrice générale de l'Afsset, en particulier suite à l'examen, par la structure interne de l'agence, des déclarations publiques d'intérêts transmises par l'ensemble des candidats. L'examen mené a par ailleurs été avalisé par le président du CES. Le GT ainsi formé au mois de décembre 2005 compte neuf experts dont l'un d'entre eux assure le rôle de président du groupe et de rapporteur de la conduite des travaux auprès du CES. Une synthèse des déclarations publiques d'intérêt des membres du GT est présentée en **Annexe 2**.

Les travaux du GT visent à mener une expertise relative aux critères de qualité de l'air applicables aux parcs de stationnement couverts en vue de protéger la santé du public et des personnels fréquentant ce type d'enceinte, l'objectif final étant de proposer des recommandations pour protéger la santé.

Pour mener à bien ses travaux, le groupe de travail s'est réuni 6 fois entre décembre 2005 et février 2007. Des conférences téléphoniques ont également été organisées. Les travaux ont avancé de façon

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

significative grâce au télétravail de chacun et à la mise à disposition par l'agence d'un site extranet dédié, plateforme d'échange et de consultation commune et sécurisée, accessible à l'ensemble des membres du GT.

Toutes les contributions, internes ou externes au groupe, ont été présentées et discutées en séance ; les membres permanents du groupe ont validé l'ensemble des choix, des hypothèses, des paramètres et des décisions.

Ce rapport, issu d'un consensus collectif, a fait l'objet d'une relecture complète par les membres permanents du groupe de travail et d'un processus de validation auprès du CES.

1.3.3 Interactions

Le rapport préliminaire ainsi que l'avis du CES adopté en séance le 14 octobre 2005 ont été transmis aux ministères de tutelle de l'agence en novembre 2005. Ces éléments ont ainsi pu être transférés au ministère de l'intérieur.

Par la suite, et dans le contexte formel où il revient à la directrice générale de l'agence d'émettre les avis et les recommandations (Art. L1336-3 du Code de la santé publique), l'agence a fourni son avis à ses tutelles ; ce dernier s'appuie sur l'avis du CES et y est en tout point conforme (cf **Annexe 1B**).

L'arrêté du ministère de l'intérieur relatif aux parcs de stationnement couverts a été publié au journal officiel de la république française le 8 juillet 2006 ; il s'agit de l'arrêté du 9 mai 2006 portant approbation de dispositions complétant et modifiant le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public (parcs de stationnement couverts).

Dans ce texte, à l'article PS 31 relatif à « la ventilation et surveillance de la qualité de l'air » de la section VI du chapitre VI (Etablissements de type PS – Parcs de stationnement couverts) du règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les ERP, les valeurs limites de concentration initialement proposées dans le projet d'arrêté n'apparaissent plus.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

2 Démarche adoptée par le GT

Le GT a été chargé de proposer des concentrations en polluants à respecter dans les parcs de stationnement couverts, où usagers et professionnels sont exposés à un grand nombre de polluants émis par les automobiles pendant leurs déplacements (émissions des échappements et des équipements) et leur stationnement (émissions par évaporation des carburants, lubrifiants…).

Le GT a adopté les principes suivants :

- Etre protecteur de la santé publique, en n'écartant pas *a priori* de population ou de polluant ;
- Etre transparent en explicitant ses choix ;
- Privilégier les données issues de l'observation des teneurs en polluants plutôt que de leur modélisation ;
- Respecter le calendrier de travail proposé par l'Afsset.

Le GT a choisi de conduire sa réflexion en distinguant les concentrations que doivent respecter les polluants d'intérêt (notées Valeurs Cibles (VC)) et les concentrations que devront respecter les substances retenues comme indicatrices de la qualité de l'air et qui feront l'objet de la réglementation (notées Valeurs de Gestion (VG)). Les VG porteront sur des polluants qui ne sont pas forcément toxiques eux-mêmes, mais qui sont mesurables en routine et corrélés aux polluants néfastes. En d'autres termes, le respect des VG (qui doit être "facilement" contrôlable) doit permettre de s'assurer du respect des VC. Le GT a proposé plusieurs VC, correspondant à plusieurs niveaux de risque acceptable, parmi lesquelles il appartiendra aux gestionnaires de risque de choisir.

Le GT a travaillé en plusieurs étapes, en cherchant à répondre aux questions suivantes :

Tableau 1 : Démarche adoptée par le GT « Parcs de stationnement couverts »

Question	Méthode
Des recommandations sur la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts existent-elles dans d'autres pays ?	Bibliographie
Quels sont les polluants émis dans les parcs de stationnement couverts ?	Bibliographie (émissions, mesures dans les parkings) et campagne de mesures en France
Parmi ces polluants, quels sont ceux qui sont dangereux par inhalation ?	Bibliographie (épidémiologie, toxicologie)
Parmi ceux là, quels sont ceux qui paraissent les plus problématiques ?	Choix par le GT, au vu des concentrations observées (bibliographie ou mesures *ad hoc*), de la gravité des effets et des valeurs toxicologiques de référence des polluants les plus préoccupants
Quelles sont les concentrations (VC) que doivent respecter ces polluants ?	Calcul par le GT à partir de scénarios d'exposition (usagers et travailleurs) et de valeurs toxicologiques de référence pour plusieurs niveaux de risque acceptable

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Quels composés surveiller en routine pour s'assurer du respect des VC ?	Choix par le GT, en fonction des contraintes technico-économiques de mesure et de l'existence de corrélations avec les polluants les plus préoccupants
Quelles valeurs de gestion ?	Calcul par le GT à partir des corrélations observées lors des campagnes de mesure
Comment améliorer la démarche ?	Recensement des incertitudes relevées lors de l'application de la démarche, à chacune de ses étapes

Le GT a bénéficié d'apports réglementaires par le Ministère de l'intérieur, techniques par des exploitants de parkings couverts et toxicologiques par les toxicologues de l'Afsset.

En pratique, il s'est avéré difficile de concilier respect du calendrier sans mise à l'écart de polluant *a priori*. En effet la bibliographie a indiqué que le nombre de polluants émis était très important et comprenait des polluants dont la mesure est difficile techniquement ou technico-économiquement. Considérant que la mesure de l'ensemble des polluants était un objectif difficilement atteignable à court terme, et que l'absence de recommandations récentes sur la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts est préjudiciable à la santé publique, le GT, après avis conforme du CES Air, a choisi :

- de fonder sa réflexion sur les polluants mesurés dans les parcs de stationnement couverts français selon la commande définie par l'Afsset (et qui constitue une avancée considérable dans la connaissance de la qualité de l'air dans ces ouvrages) ;
- de formuler des recommandations (au vu de la bibliographie sur les polluants émis, en termes de quantité et de dangerosité) pour une meilleure connaissance de la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts.

Cette démarche, illustrée par la Figure 1, permet de concilier amélioration à court terme de la qualité de l'air des parcs de stationnement couverts et prise en compte à moyen terme du problème dans l'ensemble de sa complexité.

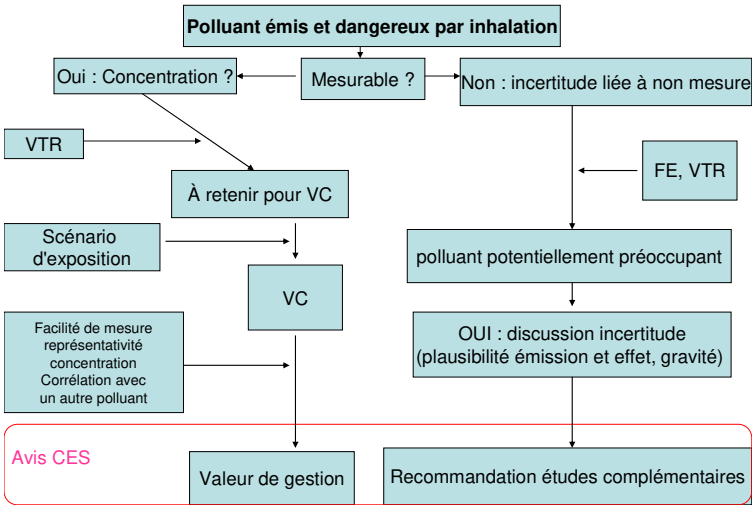


Figure 1 : Démarche adoptée par le GT prenant en compte l'impossibilité pratique d'une mesure exhaustive de l'ensemble des polluants émis dans un parc de stationnement couvert

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

3 État des lieux des données disponibles

Dans le cadre du traitement de la saisine, une revue bibliographique des données disponibles relatives à la qualité de l'air intérieur dans les parcs de stationnement couverts a été conduite par l'INERIS.

3.1 Objectifs de la revue bibliographique et démarche suivie

L'objectif de la revue bibliographique était d'**inventorier l'ensemble des données internationales disponibles** relatives à la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts, tant en terme d'évaluation (polluants présents, concentrations intérieures, métrologie mise en œuvre…), que de gestion (réglementation, valeurs guides, normalisation…).

La compilation de ces données a permis d'**orienter les travaux du GT** en fournissant les éléments de base pour :

- l'identification des polluants d'intérêt sanitaire (pertinents en terme d'exposition des personnes, usagers et travailleurs, au regard des concentrations attendues dans ces environnements clos et des effets connus sur la santé humaine), puis des polluants traceurs de la qualité des ambiances dans ces ouvrages (utiles pour le suivi en routine) ;
- la définition *in fine* des campagnes de mesures réalisées par le laboratoire mandaté.

Concrètement, cet inventaire a été utilisé par les membres du GT pour la sélection des polluants d'intérêt sanitaire (cf. chapitre 5 du présent rapport). Lorsque les concentrations mesurées dans les parcs de stationnement couverts, rapportées dans la littérature, étaient très largement inférieures aux valeurs toxicologiques de référence pour des expositions aiguës et chroniques, le composé était jugé non pertinent pour la suite du traitement de la saisine.

Cette revue bibliographique a été réalisée à partir de la littérature scientifique et la littérature grise (thèses, publications d'ouvrages, rapports des agences ou instituts nationaux et/ou internationaux en charge de cette thématique…) avec la requête « *(indoor or air quality) and (car park or parking or underground garage)* ». Elle a plus particulièrement été basée sur la consultation :

- de la base d'articles de la littérature scientifique collectés par la veille scientifique réalisée par le réseau RSEIN (Recherche Santé Environnement Intérieur) depuis début 2001. Pour les années antérieures à 2001, les bases de données de référence (*Currents Contents*, *PubMed*…) ont été interrogées sans limitation de date ;
- des actes des conférences internationales de référence en terme d'environnement intérieur : *Indoor Air* 2002 et 2005 et *Healthy Buildings* 2003 et 2006 ;
- des sites web des agences de références sur le sujet des environnements intérieurs ;
- de scientifiques du domaine de l'air intérieur à l'étranger.

3.2 Données françaises

3.2.1 Concentrations intérieures mesurées dans les parkings couverts

En France, **le LCPP et les Associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air (AASQA)** sont les principaux acteurs de la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les parcs

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

de stationnement couverts. Ceci ne se fait pas en routine, mais dans le cadre de campagnes de mesures ponctuelles.

Les travaux publiés du LCPP datent des années 1990 et ont été conduits dans 2 parcs de stationnement parisiens : Vaugirard (CO, NO, NO_2) et Meyerbeer (CO, NO, NO_2, SO_2, fumées noires, formaldéhyde et toluène) (CSHPF, 1998). Dans ce dernier parc, la ventilation est mécanique et asservie à la concentration en CO : 30 ppm pour la petite vitesse des ventilateurs et 50 ppm pour la grande vitesse. Le LCPP a également conduit une étude dans la gare routière du Louvre à Paris où stationnent les autocars de tourisme (moteurs diesel ; mesures de CO, NO, NO_2, fumées noires et toluène). **Les concentrations mesurées à l'occasion de toutes ces campagnes sont rapportées en Annexe 3.**

Plus récemment, en 2004, le LCPP a réalisé des mesures dans un parc souterrain parisien (données non publiées ; non rapportées en **Annexe 3** faute de données suffisantes sur la typologie du parking). Les percentiles 50 et 98 des mesures quart-horaires sur 1 semaine du CO sont respectivement égaux à 2,5 mg/m^3 et 27,1 mg/m^3.

➔ De ces travaux du LCPP, il ressort :

- que les concentrations en CO, NO et NO_2 sont étroitement corrélées ;
- que les valeurs guides de l'OMS sont ponctuellement dépassées : valeur horaire du CO de 30 mg/m^3 (OMS, 2000) et valeur horaire du NO_2 de 200 µg/m^3 (OMS, 2006).

Les AASQA qui ont réalisé des campagnes de mesures dans les parcs de stationnement couverts sont mentionnées dans le Tableau 2, avec la nature des polluants mesurés. **Les concentrations mesurées à l'occasion de ces campagnes sont rapportées en Annexe 3.**

Tableau 2 : Tableau synoptique des campagnes réalisées par les AASQA

AASQA	Lieu	Année	Substances recherchées
Atmosf'Air Bourgogne Centre Nord	Dijon	Mai-juin 2001	CO, NO, NO_2, fumées noires
Air Pays de La Loire	Angers	Juin 2002	CO, NO, NO_2, SO_2, PM_{10}
Air Pays de La Loire	Angers	Oct.déc. 2003	CO, NO, NO_2, SO_2, PM_{10}
ATMO Poitou-Charentes	La Rochelle	Décembre 2002	CO, NO_x, PM_{10}, NO_2, benzène
ASPA	Mulhouse	Printemps 2005	NO_2, benzène, toluène, métaux et HAP

L'étude de Atmosf'Air Bourgogne Centre Nord a été réalisée dans le parking souterrain du Conseil Général à Dijon (21). La Figure 2 rapporte les moyennes journalières en CO, NO et NO_2 mesurées en continu toute la durée de la campagne. **Cette étude met en évidence des dépassements fréquents des valeurs guides de l'OMS pour le CO** (10 mg/m^3 sur 8 h ; pas de dépassement des VG OMS sur des durées plus courtes) **et le NO_2** (200 µg/m^3 sur 1 h). Ainsi, **pour les usagers, exposés généralement de façon brève (~ 15 minutes), ces expositions semblent moins préoccupantes pour la santé que celles des travailleurs exposés toute la journée** (laveurs de véhicules par exemple).

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

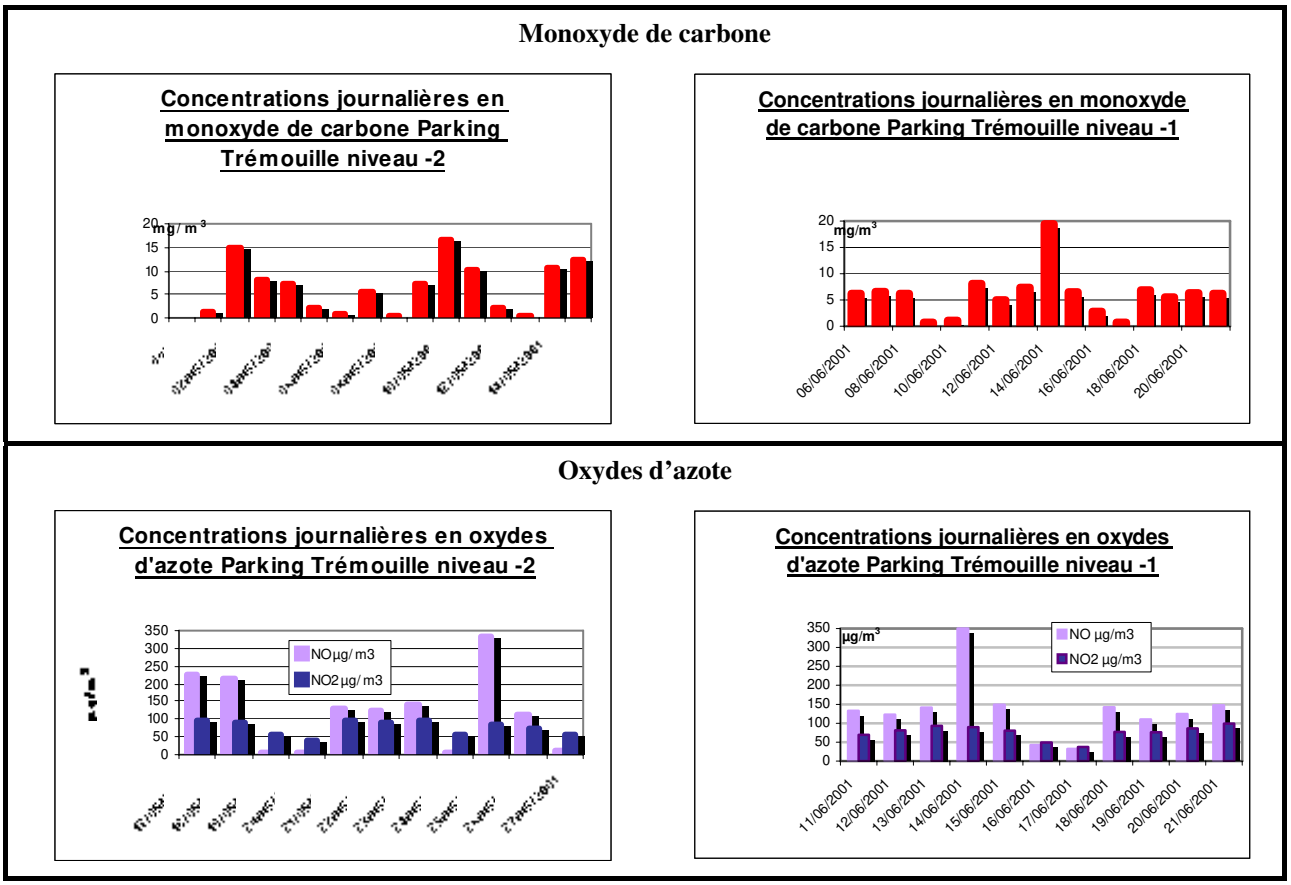


Figure 2 : Graphe des concentrations en CO et NOx dans un parking dijonnais (extrait de [Atmosf'Air Bourgogne, 2001])

Les études conduites par Air Pays de La Loire (APL) dans deux parkings souterrains de Angers (accueillant chacun plus de 500 000 véhicules par an) en juin 2002, puis d'octobre à décembre 2003, montrent des évolutions journalières similaires pour les substances étudiées (mesures quart-horaires ; cf. Figure 3 et directement corrélées aux mouvements des véhicules (APL, 2003 ; APL, 2004).

La valeur guide horaire de l'OMS pour le CO de 30 mg/m^3 n'est jamais dépassée. En revanche, dans l'un d'eux (parking du Ralliement ; graphes du haut de la Figure 3), la valeur horaire pour le NO_2 de 200 µg/m^3 est dépassée dans la journée. La moyenne horaire des concentrations en PM_{10} dépasse également la valeur guide de l'OMS proposée pour 24 h d'exposition (50 µg/m^3). Dans ce contexte également, **l'exposition des travailleurs apparaît potentiellement préoccupante.**

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

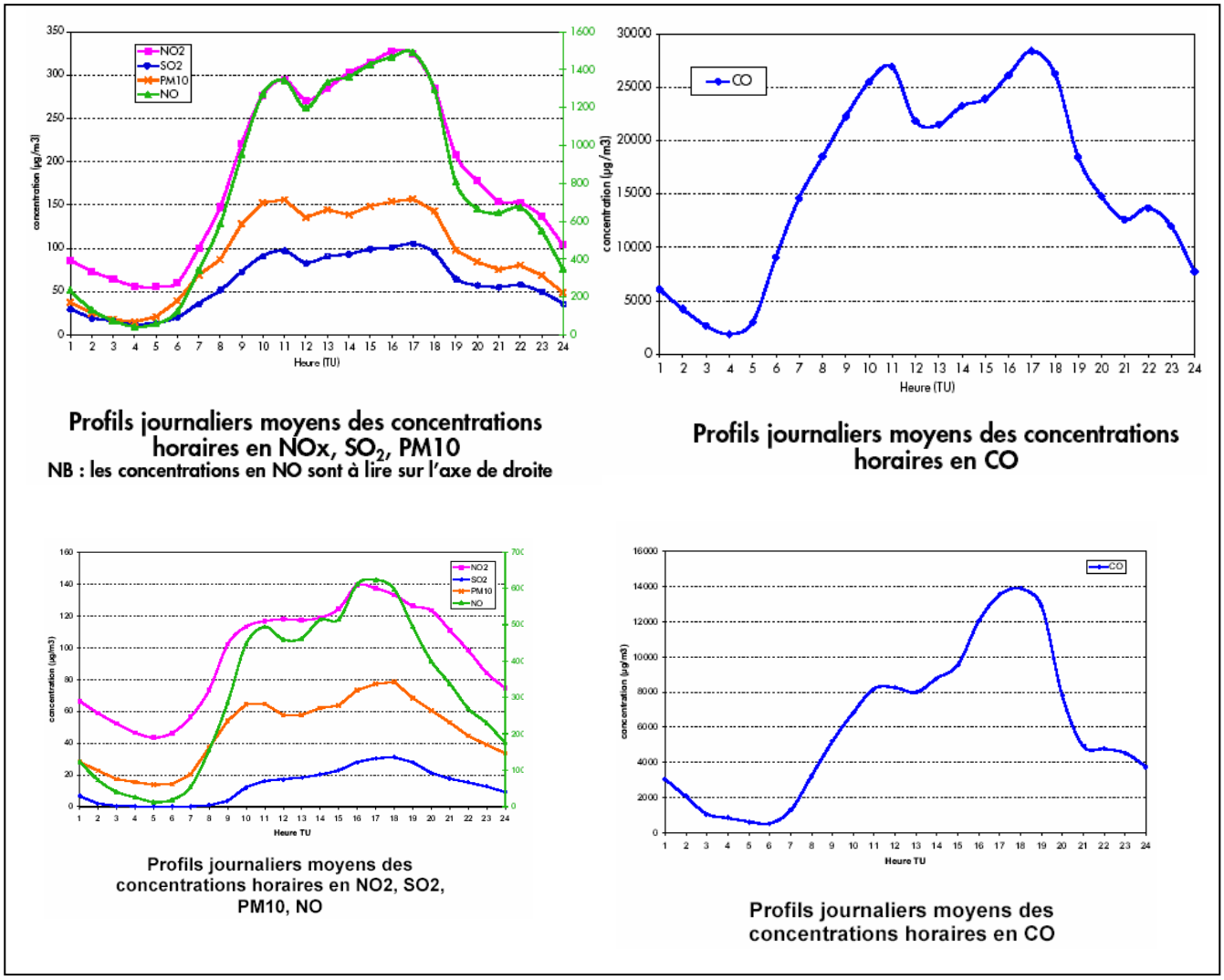


Figure 3 : Profils journaliers de concentrations dans un parking angevin (extrait de [APL, 2003])

ATMO Poitou-Charentes a conduit en décembre 2002 une étude plus complète dans un parking souterrain de La Rochelle équipée d'une ventilation naturelle. D'une part, des mesures en continu de CO, NO_x et PM_{10} ont été opérées au niveau -1 et d'autre part des tubes passifs ont été utilisés pour la mesure du benzène et du NO_2 (à tous les niveaux, -1, -2 et -3). Les concentrations en benzène sont élevées puisqu'elles se situent entre 11 et 32 µg/m^3 (moyenne extérieure à 4,3 µg/m^3 sur la même période). Pour le NO_2, ces concentrations vont de 25 à 91 µg/m^3 (moyenne extérieure à 21 µg/m^3 sur la même période).

L'approche par tubes passifs a permis de multiplier les points de mesures et ainsi d'établir une cartographie des concentrations au niveau -1. Cette dernière révèle une certaine hétérogénéité des valeurs selon les zones du parking. Ceci est également observé aux niveaux inférieurs en dépit d'un échantillonnage plus restreint. Il ressort clairement des travaux que les concentrations sont plus élevées aux étages supérieurs où la circulation est plus importante. A noter qu'une nouvelle étude de ATMO Poitou-Charentes dans un parking de l'agglomération rochelaise (parking à 6 étages Carnot) a été conduite durant l'hiver 2005-06 (mesures du CO, des NO_x, des PM_{10} et $PM_{2,5}$). La parution des résultats est imminente à la date de rédaction du présent rapport.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Entre février et avril 2005, l'ASPA, association de surveillance de la qualité de l'air en Alsace s'est intéressée à la qualité de l'air intérieur dans un parking souterrain de la ville de Mulhouse à l'occasion d'une campagne de mesures dans un large panel de micro-environnements (ASPA, 2005). Si l'échantillonnage a été très restreint (au niveau –1 : 1 tube passif exposé 15 jours pour les BTEX, 1 tube passif exposé 15 jours pour le NO_2 et 2 prélèvements de particules pour la mesure des métaux et HAP), cette étude est néanmoins très intéressante, car elle est la première à documenter les concentrations intérieures en métaux et HAP dans un parc de stationnement couvert.

Enfin, on recense dans la littérature une étude française récente ayant mesuré le formaldéhyde et l'acétaldéhyde dans un parking souterrain de 35 places d'un immeuble de bureaux administratifs de l'agglomération strasbourgeoise (Marchand et al, 2006). Quatre prélèvements ont eu lieu en présence des véhicules stationnés tous à l'arrêt et 2 en présence d'une voiture moteur allumé à 5 m du dispositif de prélèvements. Les concentrations mesurées à l'occasion de ces campagnes sont rapportées en **Annexe 3**.

➔ **De la revue des données françaises, on retient :**

- **qu'il y a globalement peu de travaux français et qu'ils concernent quasi exclusivement le CO et les NO_x**. Les concentrations en COV et HAP, polluants d'intérêt dans ce contexte, n'ont été que très rarement mesurées. Les campagnes réalisées ont eu recours à des stratégies de prélèvements diverses ;
- **que les concentrations en CO et NO_x sont plutôt bien corrélées et globalement associées aux mouvements des véhicules ;**
- **que les valeurs guides de l'OMS (valeurs horaire et 8 heures du CO (OMS, 2000) et valeur horaire du NO_2 (OMS, 2006) peuvent être dépassées.**

3.2.2 Exposition des usagers et des travailleurs

Les travailleurs considérés peuvent être aussi bien les agents du parking, employés par l'exploitant, que des salariés d'autres sociétés (lavage de voiture, location de véhicules, concession automobile…). Les résultats de mesures réalisées dans les parcs de stationnement couverts à des fins de suivi de l'exposition des travailleurs ont été demandés à l'INRS. La base de données COLCHIC a été interrogée. Les résultats de cette requête ont été obtenus à partir des mesures effectuées par 8 laboratoires interrégionaux des CRAM et de l'INRS depuis 2000. Ces résultats sont fournis en **Annexe 4**. Ils concernent uniquement des mesures de carbone (organique, élémentaire et total). Dans un contexte d'hygiène professionnelle, le carbone élémentaire est effectivement considéré comme traceur des particules diesel. Sa concentration peut être comparée aux valeurs limites d'exposition professionnelle allemandes (MAK) ou américaines (ACGIH) en l'absence de VLEP françaises pour ces particules.

Par ailleurs, le service de santé au travail de la région nantaise (SSTRN) a transmis au GT les résultats d'une campagne de mesure qui a eu lieu le 27 novembre 2002, de 8h35 à 18h10, dans le bureau des péagers d'un parking souterrain du centre ville de Nantes. Les HAP, le plomb, les BTEX, le NO_2 et le SO_2 ont été mesurés. Seuls les résultats pour les HAP[4] et le NO_2 (35 µg/m^3) sont exploitables. Pour les autres composés recherchés, les seuils de détection (fixés en fonction des

[4] Pyrène : 27,5 ng/m^3 ; benzo(a)pyrène : 2,64 ng/m^3 ; benzo(a)anthracène : 5,54 ng/m^3 ; dibenzo(a,h)antracène : 4,54 ng/m^3. Ces concentrations ne sont pas intégrées au tableau de l'**Annexe 3**, car elles ne représentent pas réellement les concentrations dans l'air ambiant du parking.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

VME) n'étaient pas assez faibles pour permettre leur détection aux niveaux de concentrations atteints dans ces enceintes.

Au total, ces rares données ne sont pas directement exploitables pour les travaux du GT « Parkings ». En outre, l'INRS précise que le nombre de travailleurs français dans les parcs de stationnement couverts n'est pas connu par ses services.

S'agissant des expositions de la population générale, les études d'exposition personnelle (recours à des capteurs individuels) sont quasi inexistantes en France. Seule l'étude « Sentinelles de l'air » a montré que la fréquentation des parcs de stationnement couverts conduit ponctuellement à un pic d'exposition au CO (APPA, 2003).

3.2.3 Typologie des parcs de stationnement couverts français

Afin d'évaluer la représentativité des parcs de stationnement couverts dans lesquels sont réalisées les campagnes de mesures du LCPP, puis de discuter l'extrapolation possible ou bien les limites de ces mêmes résultats, il apparaît utile d'avoir une connaissance exhaustive des typologies constructives des infrastructures souterraines de stationnement françaises : taille, nombre de niveaux, taux de fréquentation, systèmes de ventilation principalement.

Il n'a pas été trouvé de données synthétiques et complètes sur ces typologies. Les personnes interrogées (Vinci et Aéroports de Paris) ont laissé entendre qu'un tel recensement n'était pas disponible à ce jour.

3.2.4 Réglementation

On ne s'intéresse qu'à la réglementation strictement dédiée au maintien de la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts. En conséquence, la réglementation propre à la structure, à l'organisation des parkings pour garantir la sécurité des usagers et travailleurs (dispositions de lutte contre l'incendie notamment) ne sont pas décrites. Dès lors, on fait le constat qu'il n'existe à ce jour, en France, pas de valeurs réglementaires de qualité de l'air dans les parkings souterrains.

3.2.5 Valeurs guides

Le CSHPF propose, dans son rapport de décembre 1998, des critères de qualité à respecter dans les parcs de stationnement dans lesquels circulent des véhicules à moteur à combustion. Ces recommandations sont les suivantes :

- si l'ouvrage est fréquenté par des véhicules dont moins de 50 % sont des véhicules à moteur diesel et la capacité de l'ouvrage est inférieure à 500 véhicules :
  - la teneur en CO ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :
    - 50 ppm (60 mg/m^3) sur toute période de 30 minutes ;
    - 90 ppm (100 mg/m^3) sur toute période de 15 minutes ;
    - 150 ppm (170 mg/m^3) en valeur instantanée ;
- si l'ouvrage est fréquenté par des véhicules dont au moins de 50 % sont des véhicules à moteur diesel (cas des gares routières notamment) ou la capacité de l'ouvrage est supérieure à 500 véhicules :
  - la teneur en CO ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :
    - 50 ppm (60 mg/m^3) sur toute période de 30 minutes ;
    - 90 ppm (100 mg/m^3) sur toute période de 15 minutes ;

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

- 150 ppm (170 mg/m^3) en valeur instantanée ;

- la teneur en NO_2 ne doit pas dépasser 0,4 ppm (0,8 mg/m^3) sur toute période de 15 minutes.

Par ailleurs, à titre d'information, le rapport du CSHPF rappelle la réglementation en vigueur en terme de ventilation selon que les parcs sont classables (capacité supérieure à 250 véhicules) ou non. Les textes supports de cette réglementation sont l'arrêté du 31 janvier 1986 relatifs aux parcs couverts annexes des bâtiments d'habitation de 100 à 6000 m^2 et la circulaire du 3 mars 1975 relative aux parcs couverts.

3.2.6 Normalisation

Une série de normes AFNOR propose une démarche d'audit de la qualité de l'air intérieur dans les environnements intérieurs[5]. Il a été envisagé en 2002 de préparer une norme similaire d'audit de la qualité de l'air dans les parkings souterrains, mais ce travail n'a pas abouti.

3.3 Données des autres pays

3.3.1 Concentrations intérieures mesurées dans les parkings couverts

3.3.1.1 Généralités

Globalement, il existe peu de publications scientifiques sur la qualité de l'air intérieur dans les parcs de stationnement couverts. 4 groupes de publications ont été collectés par la recherche bibliographique :

- les articles directement en lien avec la **mesure de la qualité de l'air** à l'intérieur des parcs de stationnement couverts. Trois pays principalement ont conduit des travaux poussés sur le sujet, qui sont décrits ci-après. D'autres études présentent des résultats ne concernant que le CO (El Fadel et al., 2001)[6] ou bien la caractérisation de la QAI d'un parking parmi celle d'autres micro-environnements (mesures de : CO, CO_2, NO, NO_2, hydrocarbures totaux et PM_{10} ; Lee et al., 1999). **Les concentrations mesurées à l'occasion de ces campagnes sont rapportées en Annexe 3** ;

- les articles ayant recours exclusivement à de la **modélisation** (codes CFD) pour prévoir les concentrations dans l'air des parkings couverts en fonction des émissions à des fins d'étude de l'efficacité des dispositifs et stratégies de ventilation (Krarti et al., 1999 ; Xue et al., 2000 ; Krarti et al., 2001 ; Papakonstantinou et al., 2003 ; Duci et al., 2004 ; Ho et al., 2004 ; Höglund, 2004 et articles de Chow W.K. et al. et Chan M.Y. et al.). Une vingtaine de parkings est étudiée à chaque fois. Le CO est quasiment toujours l'unique polluant retenu. Leitl et al. sont les seuls auteurs à s'intéresser en outre au benzène pour la mise en œuvre des modèles numériques. En effet, même si la ventilation est asservie au CO, le benzène est considéré comme meilleur traceur de la qualité de l'air car il est émis à la fois à l'échappement et par évaporation lorsque les véhicules sont à l'arrêt (Leitl et al, 2000) ;

- les publications concernant les **travailleurs**. Colbeck a mesuré les niveaux de NO_2 par tubes passifs dans l'enceinte du parking et dans la loge du gardien de 2 parkings anglais équipés de dispositifs d'extraction d'air (Colbeck, 1998). Les concentrations journalières varient globalement de 50 à 80 µg/m^3. Jo et al. ont mesuré les concentrations personnelles en BTEX de

[5] Bâtiments à usage de bureaux et locaux analogues (norme X43-401), habitat (norme X43-403), moyens collectifs de transport et gares (norme X43-105) et bâtiments à usage d'enseignement (XP X43-407)

[6] L'étude (El Fadel et al., 2001) s'intéresse en outre aux hydrocarbures totaux. La spéciation de ces derniers n'étant pas étudiée, l'étude reste difficilement exploitable pour le GT Parkings.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

8 gardiens de parkings, 4 fumeurs et 4 non-fumeurs (Jo et al, 2001). Le toluène est le composé prédominant ; les concentrations en benzène restent très élevées (cf. **Annexe 3**). Ces publications restent globalement peu nombreuses et certaines présentent en fait plutôt des travaux sur les expositions des travailleurs dans le contexte tout à fait différent qui est celui des garages automobiles de nettoyage et de réparation (mesures de : CO, CO_2, NO, NO_2, SO_2, fumées noires, éthylène, formaldéhyde, méthane, benzène, phénol, 1,3-butadiène, acroléine et HAP ; Lavoie et al., 1993 ; Kuusimaki et al., 2003) ;

- les études s'intéressant à la dégradation de la qualité de l'air intérieur à l'intérieur des habitations disposant d'un **garage attenant** (Tsai, 2000 ; Mann et al., 2001 ; Ayoko et al., 2004 ; Graham et al., 2004 ; Phillips et al., 2005 ; Batterman et al., 2006). Ces études sont intéressantes pour permettre d'identifier les polluants du trafic automobile d'intérêt sanitaire. Cependant, elles ne traitent pas directement de la problématique du présent travail ; elles ne sont donc ni étudiées ni rapportées dans le détail.

3.3.1.2 Travaux allemands

Plusieurs études ont été conduites sur le sujet[7]. De façon générale, ont été mesurés : CO, NO_x, SO_2, hydrogène sulfuré (H_2S)[8], particules (fumées noires et $PM_{2,5}$), benzène, COV totaux non méthaniques et HAP. Les concentrations mesurées sont rapportées en **Annexe 3**. Dans les 2 parcs de stationnement munichois étudiés par Gritsch, les aldéhydes/cétones, les alcanes et alcènes, le 1,3-butadiène et les dioxines/furanes ont été recherchés (Gritsch, 2001). Par ailleurs, Gritsch T. a essayé d'identifier des corrélations entre les différents composés mesurés (Gritsch, 2001).

Entre le benzène et le CO, la corrélation est plutôt mauvaise globalement sur la journée (R^2= 0,38). En effet, si les concentrations en NO_x et CO sont directement associées aux périodes de fortes circulations dans les parkings couverts étudiés (arrivées et départs des employés), les concentrations en BTEX, associées également à ces pointes de trafic, restent néanmoins élevées tout au long de la journée (NB : elles baissent la nuit ; cf. Figure 4 en page suivante). Les corrélations sont en revanche très bonnes entre le benzène et le toluène (R^2= 0,97), les *m-p*-xylène (R^2= 0,95) et l'*o*-xylène (R^2= 0,96). Les auteurs concluent que même si les concentrations en CO ne dépassent pas la valeur repère allemande pour les parkings souterrains de 100 ppm en instantané, les concentrations ambiantes dans ces ouvrages peuvent rester très élevées et potentiellement préoccupantes pour la santé des usagers et travailleurs.

A noter qu'en complément de ses travaux sur la QAI dans les parkings souterrains, l'équipe de l'Université de Mayence examine également (par mesure et modélisation) l'impact des émissions des bouches d'extraction d'air des parkings sur la qualité de l'air à l'extérieur, i.e. dans les rues canyon ou à proximité de fenêtres, balcons, jardins d'enfants… (Zenger et al., 2002). Ces auteurs ont recours à la méthode des facteurs d'émission pour prévoir les quantités émises et les concentrations intérieures des polluants étudiés (CO, benzène, NO_x et particules).

---

[7] http://www.fh-mainz.de/fr_bauing/forschung-projekte/imm-zenger-immschutz.htm

[8] Les concentrations de ces 2 derniers composés (SO_2 et H_2S) se sont révélées très faibles, voire inférieures au seuil de détection.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

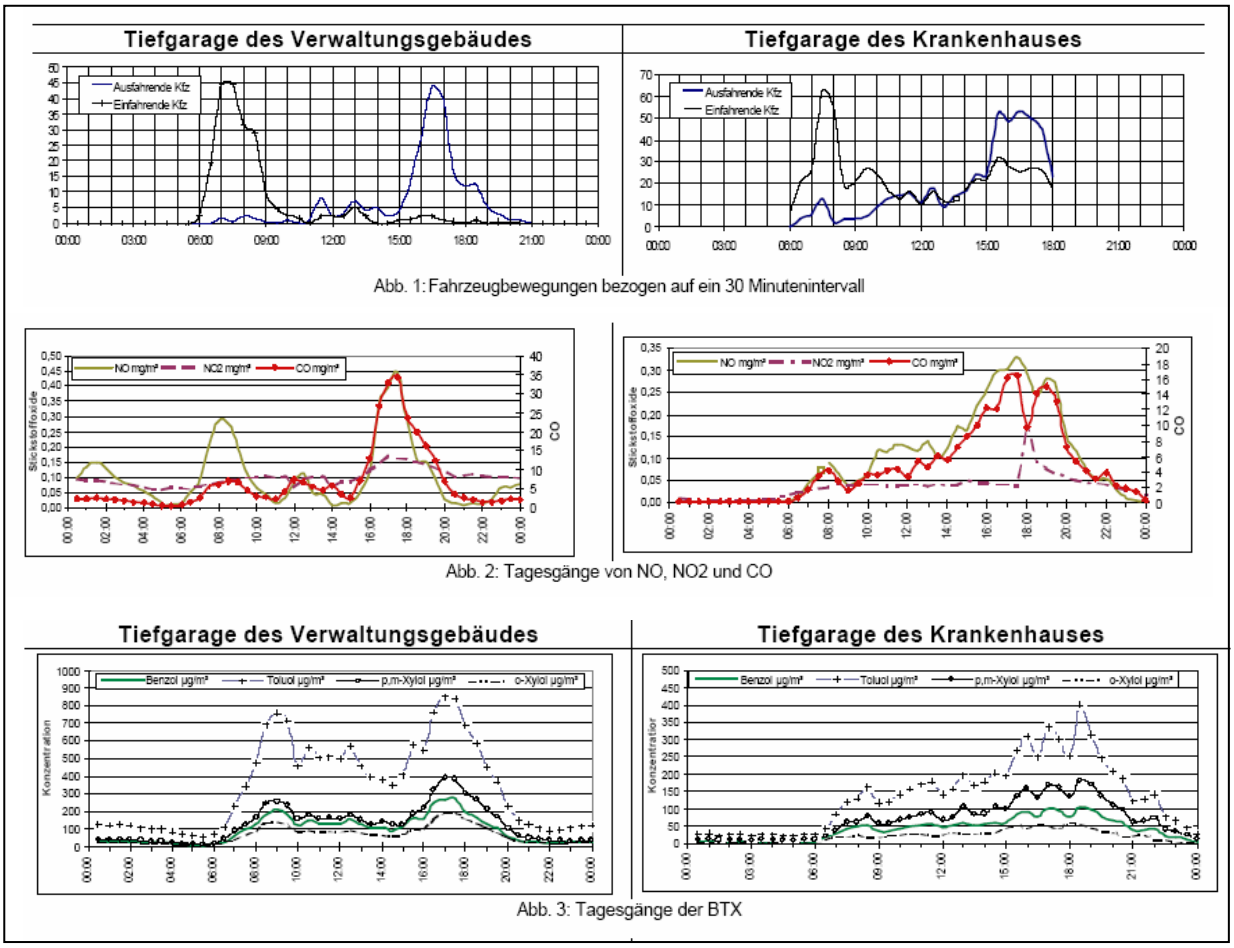


Figure 4 : Résultats des mesures dans 2 parkings munichois en 1998 [Gritsch, 2001]

Légende : Abb. 1 : Nombre de véhicules entrant et sortant
Abb. 2 : Concentrations en NO, NO_2 et CO en mg/m^3
Abb. 3 : Concentrations en benzène, toluène et xylènes en $\mu g/m^3$

3.3.1.3 Travaux canadiens

Dans le cadre d'études sur la qualité de l'air dans les micro-environnements, il a été jugé pertinent par les ministères de caractériser la qualité de l'air dans les parkings souterrains, d'autant que ces ouvrages sont de plus en plus nombreux et que les données disponibles ne concernent que les polluants réglementaires (Lamy, 1995). Santé Canada et Environnement Canada ont donc réalisé conjointement une étude dans 3 parkings souterrains à Ottawa (Ontario) et à Hull (Québec), de décembre 1994 à janvier 1995 (parkings d'immeubles de bureaux et commerces). Ces ouvrages ont été retenus pour leur représentativité de ce type d'infrastructures au Canada, en termes de taille et d'équipements. Tous disposent d'une ventilation mécanique asservie à la concentration en CO : 50 ppm (60 mg/m^3) déclenchent le fonctionnement des bouches d'extraction et 100 ppm (120 mg/m^3) l'insufflation d'air frais[9]. Le choix des substances à mesurer a été basé sur l'inventaire des émissions par le trafic automobile : en roulage (échappement et émissions fugitives), à l'arrêt (évaporation) et pendant le plein de carburant.

[9] Sauf dans le parking le plus petit, où l'insufflation se met également en route à 50 ppm.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Ainsi, ont été mesurées les concentrations en :

- CO, NO_x, CO_2, SO_2 (prélèvement dans des sacs Tedlar™ ; analyse par FTIR) ;
- les composés organiques volatils (prélèvements par canisters ; analyse par GC/FID) ;
- les aldéhydes/cétones (prélèvements sur cartouches DNPH ; analyse par HPLC/UV) ;
- les particules ;
- les métaux en phase particulaire (analyse par fluorescence X du filtre des poussières totales).

Les concentrations mesurées sont rapportées en **Annexe 3**.

➔ De cette étude, il ressort une contribution significative de l'évaporation à partir des véhicules stationnés par la présence d'isobutane, de butane, 2-méthylbutane, 2-méthyl-pentane, 3-méthylpentane, benzène et toluène). Les COV traceurs des gaz d'échappement (alcènes et alcynes) sont en concentrations plus élevées au niveau de l'entrée/sortie des parkings couverts et l'après-midi, ce qui marque les émissions plus importantes des démarrages à froid liés aux départs des employés. Par ailleurs, les auteurs n'ont pas systématiquement observé de concentrations plus importantes dans les étages supérieurs plus occupés. Ils expliquent ceci par le fait que la ventilation étant asservie au CO, elle se met moins souvent en route dans les étages moins occupés alors que les véhicules stationnés et les traces de carburants sur le sol contribuent aux émissions de COV. S'agissant de la pollution particulaire, celle-ci apparaît très fluctuante d'un parking à un autre et entre les points et périodes de prélèvement. La remise en suspension des poussières du sol et la dégradation des matériaux de construction des ouvrages (murs en ciment) sont des sources significatives de poussières dans ces environnements et expliquent la détection de calcium et de silice. Les concentrations en sodium et chlorures sont dues au salage des routes durant la période hivernale des mesures. En conclusion, en parallèle du contrôle des systèmes de ventilation, les auteurs recommandent des mesures ponctuelles en COV.

3.3.1.4 Travaux asiatiques

A Hong-Kong, les études de qualité de l'air intérieur dans les parkings couverts ont également été motivées par le nombre croissant de ce type d'ouvrages avec l'urbanisation intensive (capacité de 240 000 places en 1994 passée à 310 000 en 2001) et le manque de données disponibles dans ces micro-environnements (Wong, 2002). Hong-Kong s'intéressant par ailleurs tout particulièrement à la qualité des environnements clos recevant du public et ayant proposé des valeurs guides (VG) de qualité de l'air intérieur dans ces lieux, l'étude conduite en 2000 par le Gouvernement avait pour objectif d'évaluer la qualité de l'air dans les parcs couverts au regard des VG correspondantes[10]. Les mesures ont eu lieu entre août et décembre 2000 dans 2 parkings couverts radicalement différents, l'un disposant d'une ventilation mécanique et l'autre étant semi-ouvert. Les composés organiques en C3-C12 ont été mesurés (prélèvement actif par canisters, puis analyse par chromatographie gazeuse). CO, CO_2, $PM_{2,5}$ et PM_{10} ont également été mesurés. Parallèlement, les carburants de 26 stations service voisines ont été analysés.

➔ A l'occasion de ces travaux, les auteurs constatent d'une part, de fortes concentrations en poussières qui dépassent les valeurs guides proposées par Hong-Kong pour l'air intérieur des parkings couverts, et d'autre part des concentrations élevées en BTEX qui s'expliquent par « l'aromatisation » des essences sans plomb. Par ailleurs, les concentrations élevées en hydrocarbures insaturés (alcènes et alcynes) dans le parking couvert par rapport à celles mesurées dans l'air ambiant extérieur s'expliquent par l'absence de photochimie.

[10] Les valeurs guides proposées pour les parkings ne sont pas rapportées dans les documents consultés.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

3.3.1.5 Conclusion

La très grande majorité des travaux s'intéresse aux aspects « ventilation » et aux concentrations en polluants réglementaires, voire uniquement en CO. Les concentrations des autres polluants émis par les véhicules et d'intérêt sanitaire sont très peu documentées. En outre, si les données de concentrations moyennes et maximales sont intéressantes, il est important de garder à l'esprit les fluctuations des concentrations en fonction de la fréquentation du parc.

On note que les études sont plus nombreuses chez les travailleurs qu'en population générale. C'est d'ailleurs pour cette population que les expositions pourraient être problématiques, au moins pour le CO, les NO_x et les particules. Les concentrations pendant la journée de travail dépassent souvent les valeurs repères proposées par l'OMS.

Compte tenu des spécificités nationales des infrastructures, des carburants, des parcs automobiles et de l'évolution rapide de ces deux derniers, il apparaît difficile d'extrapoler les données des autres pays, parfois peu récentes, à la situation française. Ceci a justifié la nécessité de réaliser des campagnes de mesures élargies à une gamme de composés plus complète dans le cadre des travaux du GT « Parkings ». Les mesures disponibles dans les autres pays restent néanmoins instructives. On notera en particulier que les campagnes réalisées ne concernent qu'un nombre restreint d'ouvrages souterrains. Ces études n'avaient pas vocation à être représentatives de l'ensemble des parcs du pays. Leur représentativité est discutée qualitativement par les auteurs.

3.3.2 Valeurs réglementaires et valeurs guides

Beaucoup de pays proposent des valeurs guides pour la qualité de l'air intérieur (Canada, USA, pays scandinaves, Allemagne, Royaume-Uni, Chine, Japon). Au niveau de la Communauté Européenne, le projet INDEX piloté par le JRC, centre communautaire de recherche à Ispra, Italie, grâce à des financements de la DG-Sanco[11] a élaboré des valeurs guides pour 13 polluants dont la présence est avérée dans les environnements clos et qui présentent des effets sanitaires connus. Les résultats de ces travaux ont été publiés en décembre 2004. De façon générale, ces valeurs guides sont destinées à tous les environnements clos (y compris les parkings couverts ; cas de VG allemandes par exemple) ou bien sont dédiées spécifiquement, soit aux bâtiments à usage résidentiel (cas des VG canadiennes) soit aux bureaux (dans le cadre des démarches de certification des qualités sanitaires et environnementales des bâtiments ; cas des VG de Hong-Kong ou de la Finlande). **A l'exception de Hong-Kong, aucun pays n'a proposé des valeurs guides spécifiquement dédiées aux parkings souterrains.**

D'après les éléments compilés par le GT, il n'existe pas de valeurs réglementaires de qualité d'air intérieur pour les parkings couverts dans les autres pays.

[11] Direction de la Santé et de la Consommation de la Commission européenne

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

4 Mesures réalisées dans des parcs de stationnement couverts

4.1 Objectif des campagnes de mesure

La mise en œuvre de ces campagnes a consisté à réaliser une évaluation exploratoire de la qualité de l'air au sein de plusieurs parcs de stationnement souterrains, présentant des typologies et des niveaux de concentrations contrastés de façon à alimenter les travaux du GT en données récentes et représentatives.

4.2 Méthodes

4.2.1 Parcs de stationnement couverts investigués

Plusieurs parcs de stationnement ont été investigués. Ils ont été proposés pour accord au groupe de travail. Les campagnes de mesure n'ont pu être réalisées qu'avec l'accord et l'aide des gestionnaires des parcs. Les parcs investigués sont des parcs parisiens.

4 parcs respectant ces exigences ont été retenus :

- Une gare routière d'autocars, nommée **Parc 1 ;**
- Un parc souterrain desservant une gare ferroviaire, nommé **Parc 2 ;**
- Un parc souterrain desservant un centre commercial, nommé **Parc 3 ;**
- Un parc réservé à des employés, nommé **Parc 4**.

Le Tableau 3 ci-dessous présente les caractéristiques de chacun de ces parcs de stationnement.

Tableau 3 : Caractéristiques des différents parcs de stationnement couverts étudiés

			Parc 1	Parc 2	Parc 3	Parc 4
Typologie	Nombre de places		75	1500	1000	350
	Nombre de niveaux		1	6	4	1
	Niveau équipé d'analyseurs		-3	-3	-2	-1
	Date de réhabilitation ou de création		1993	Env 2000	2005	2000
	Type de ventilation		Mécanique (min. petite vitesse)	Mécanique (min. petite vitesse)	Mécanique (min. ventilation naturelle)	Naturelle
	Type de parking		Parc pour cars de tourisme	Parc public desservant une gare ferroviaire	Parc public desservant un centre commercial	Parc réservé aux employés d'un hôpital
Trafic	Trafic journalier (entrée)	Moy	50	3000	1500	Env 500
		Max	93	6900	2500	-
	Trafic journalier (sortie)	Moy	-	3000	1500	Env 500
		Max	-	6300	2400	-

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

4.2.2 Echantillonnage

Les polluants et les pas de temps des mesures ont été choisis conformément aux exigences du GT et dans la limite de la faisabilité technico-économique de la commande initiale, préalable au démarrage des travaux du GT. Les polluants retenus sont ceux habituellement dosés à l'émission des véhicules, à savoir le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO_2), les oxydes d'azote (NO et NO_2), les particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM_{10}) et celles de diamètre inférieur à 2,5 µm ($PM_{2,5}$), certains métaux, les composés organiques volatils (COV), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les aldéhydes.

Le Tableau 4 regroupe les différents composés mesurés.

Tableau 4 : Composés mesurés

Composés	
	CO, CO_2, NO, NO_2, PM_{10}, $PM_{2,5}$
Métaux	Plomb, cadmium, arsenic, nickel et mercure
COV	Benzène, toluène, éthylbenzène, méta et para xylène, ortho xylène, 1,2,4 triméthylbenzène, styrène, hexane et heptane
HAP	naphtalène , phénanthrène, anthracène, fluoranthène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, dibenzo(a,h)anthracène, benzo(g,h,i)pérylène et indéno(1,2,3-c,d)pyrène
Aldéhydes	Acétaldéhyde, formaldéhyde, héxaldéhyde, propionaldéhyde et benzaldéhyde

Le Tableau 5 récapitule les périodes de mesures dans les différents parcs.

Tableau 5 : Périodes de mesures

Parc	Date
Parc 1	Du 5 au 31 janvier 2006
Parc 2	Du 2 au 15 février 2006
Parc 3	Du 11 au 30 mai 2006
Parc 4	Du 9 juin au 4 juillet 2006

4.2.3 Mesures

La stratégie mise en place avait pour objectif d'évaluer au mieux la répartition spatio-temporelle des polluants au regard des contraintes de prélèvement et d'analyse, et en particulier l'évolution de certains paramètres au moment des pointes de trafic.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Trois types de mesure, présentés ci-après, ont été mis en œuvre : méthode de mesure automatique en continu, méthode par prélèvement actif sur des périodes courtes à moyennes (30 min à 24h) et méthode par prélèvement passif sur de plus longues périodes (de 4 à 7 jours). Un tableau récapitulatif de ces méthodes est présenté en **Annexe 5**.

Les analyses pour les prélèvements actifs et passifs sont effectuées ultérieurement au laboratoire.

4.2.3.1 Les mesures automatiques

Ces mesures ont été effectuées avec des analyseurs spécifiques (CO, CO_2, NO_x et PM_{10}) permettant des mesures en continu reliées à un système d'acquisition de données avec enregistrement des teneurs au pas de 5 minutes. Les appareils ont été contrôlés périodiquement (calibrage) et les données recueillies ont fait l'objet d'une procédure de validation.

Figure 5 : Vue générale d'une des installations et d'analyseurs automatiques (PM_{10}, NOx, CO, CO_2) [source : Afsset]

4.2.3.2 Les mesures par prélèvement actif

Les PM_{10} ont été prélevées plusieurs fois pendant 24h sur filtre en fibres de quartz, puis le dosage des métaux (Pb, Cd, As et Ni) est effectué par spectrométrie d'absorption atomique (four graphite) après la mise en solution par digestion acide au micro-ondes en milieu fermé.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ont été prélevés plusieurs fois pendant 24h dans la phase gazeuse (résine XAD2) et dans la phase particulaire PM_{10} (filtre de verre) à l'aide d'une pompe à débit constant (débit $1m^3/h$).

La recherche et le dosage des HAP dans la phase gazeuse et particulaire PM_{10} sont effectués par chromatographie liquide avec détection fluorimétrique après extraction au dichlorométhane et reprise à l'acétonitrile.

Les autres mesures par prélèvements actifs ont été effectuées à l'aide de pompes à débit constant sur des supports spécifiques :

– Pour les COV, des tubes de charbon actif pour prélèvement de 8h (1l/min) et de 12h (0,7l/min) et des tubes trois couches (Carbotrap, Carbotrap C et Carboxen) pour prélèvement de 30 min (50ml/min) pendant les heures de fort trafic suivis d'une analyse par chromatographie en phase gazeuse avec détection FID et/ou détection Masse ;

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

– Pour les aldéhydes, des cartouches de type Sep-Pak pour prélèvement (1l/min) de 1h et 8h suivies d'une analyse par chromatographie liquide avec détection UV ;

– Pour le mercure, des tubes de type HYDRAR pour prélèvement de 8h (1l/min) suivis d'une analyse par spectrométrie d'absorption atomique.

4.2.3.3 Les mesures par prélèvement passif

Les mesures par prélèvement passif sont réalisées à l'aide d'échantillonneurs protégés par un corps diffusif (cf Figure 6 et Figure 7). A chaque composé correspond un capteur passif spécifique. Cette méthode donne des valeurs moyennes intégrées sur la durée d'exposition (de 4 à 7 jours).

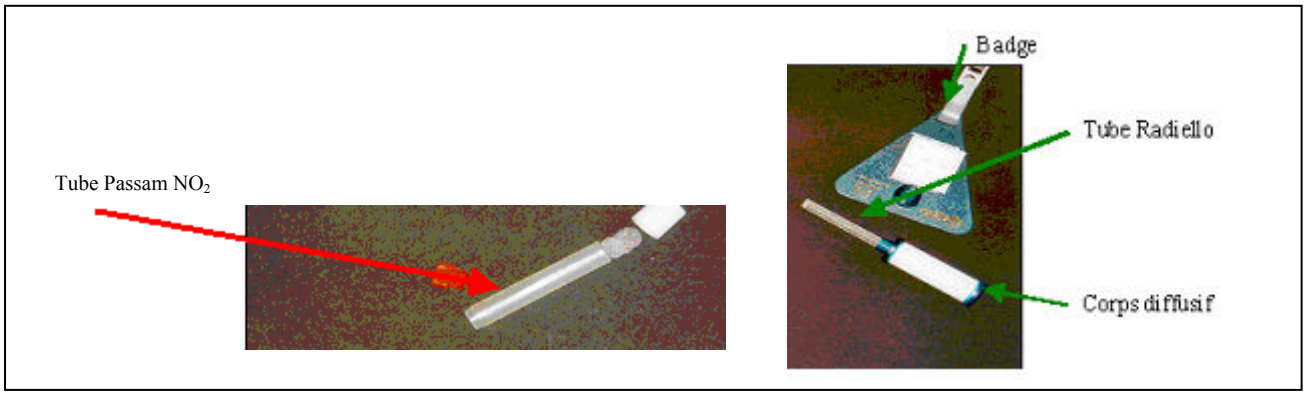


Figure 6 : Capteurs passifs utilisés [source : Afsset]

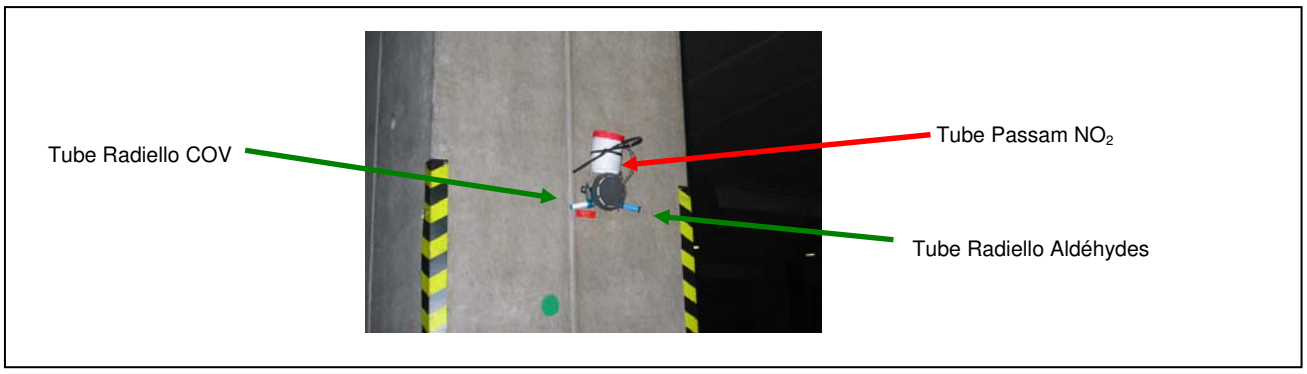


Figure 7 : Capteurs passifs avec abri de protection [source : Afsset]

Ces dispositifs ont été installés en nombre plus important simultanément pour caractériser la répartition spatiale des concentrations intra et inter-niveau.

4.3 Résultats

4.3.1 Concentrations

4.3.1.1 Mesures automatiques

Les résultats des mesures en CO, NO, NO_2 et PM_{10} dans les différents parcs avec une incertitude de l'ordre de 15 % sont présentés dans les tableaux ci-après (moyenne de l'étude, maxima sur différents pas de temps, percentiles 50, 98 et 99,8 sur les moyennes horaires).

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Le niveau du parc jugé le plus représentatif du trafic a été instrumenté en analyseurs automatiques :

- pour le parc 1, *niveau -3* (1 seul niveau)
- pour le parc 2, *niveau -3* (6 niveaux)
- pour le parc 3, *niveau -2* (4 niveaux)
- pour le parc 4, *niveau -1* (1 seul niveau)

Tableau 6 : Paramètres de la distribution des teneurs en CO dans les différents parcs

CO	Parc 1	Parc 2	Parc 3	Parc 4
Moyenne étude (mg/m^3)	1,1	10	7,9	4,9
Maximum 5 min (mg/m^3)	3,2 09/01 à 18h55	54 07/02 à 20h10	34 17/05 à 20h10	28 16/06 à 17h20
Maximum 15 min (mg/m^3)	3,2 09/01 à 19h00	39 05/02 à 17h30	27 15/05 à 18h00	24 16/06 à 17h30
Maximum horaire (mg/m^3)	3,0 25/01 à 11h00	32 05/02 à 18h00	20 25/05 à 18h00	18 16/06 à 18h00
Maximum 8 heures (mg/m^3)	2,2 25/01	25 05/02	14 24/05	11 16/06
PH50 (mg/m^3)	1,1	8,8	7,6	3,6
PH98 (mg/m^3)	2,6	27	20	16

Note : PH50 : percentile 50 horaire
PH98 : percentile 98 horaire

Tableau 7 : Paramètres de la distribution des teneurs en NO dans les différents parcs

NO	Parc 1	Parc 2	Parc 3	Parc 4
Moyenne étude (µg/m^3)	272	697	536	165
Maximum 5 min (µg/m^3)	1570 30/01 à 16h25	3600 05/02 à 13h25	2049 23/05 à 12h45	1082 27/06 à 7h45
Maximum 15 min (µg/m^3)	1550 30/01 à 16h30	2870 05/02 à 12h30	1740 27/05 à 17h00	757 13/06 à 16h15
Maximum horaire (µg/m^3)	1360 30/01 à 17h00	2380 05/02 à 13h00	1458 16/05 à 14h00	651 13/06 à 17h00
Maximum 8 heures (µg/m^3)	757 30/01	1859 05/02	998 15/05 à	345 20/06
PH50 (µg/m^3)	216	654	451	132
PH98 (µg/m^3)	809	2030	1330	505

Note : PH50 : percentile 50 horaire
PH98 : percentile 98 horaire

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 8 : Paramètres de la distribution des teneurs en NO_2 dans les différents parcs

NO_2	Parc 1	Parc 2	Parc 3	Parc 4
Moyenne étude (µg/m^3)	119	187	180	84
Maximum 5 min (µg/m^3)	402 30/01 à 16h25	1090 03/02 à 15h20	875 23/05 à 12h45	613 30/06 à 9h10
Maximum 15 min (µg/m^3)	396 30/01 à 16h30	705 03/02 à 15h30	560 12/05 à 15h00	510 28/06 à 8h00
Maximum 30 min (µg/m^3)	381 30/01 à 16h30	499 05/02 à 14h30	532 15/05 à 17h30	263 12/06 à 8h00
Maximum horaire (µg/m^3)	356 30/01 à 17h00	463 03/02 à 13h00	491 12/05 à 19h00	213 14/06 à 8h00
Maximum 8 heures (µg/m^3)	221 30/01	372 05/02	381 12/05	147 13/06
PH50 (µg/m^3)	109	175	160	81
PH98 (µg/m^3)	243	386	443	170
PH99,8 (µg/m^3)	343	451	486	210
NO/NO_2	3,5	5,7	4,4	3,0

Note : PH50 : percentile 50 horaire
PH98 : percentile 98 horaire
PH99,8 : percentile 99,8 horaire

Tableau 9 : Paramètres de la distribution des teneurs en PM_{10} dans les différents parcs

PM_{10}	Parc 1	Parc 2	Parc 3	Parc 4
Moyenne étude (µg/m^3)	34	75	46	30
Maximum 5 min (µg/m^3)	130 16/01 à 15h50	305 03/02 à 15h20	219 13/05 à 23h05	190 15/06 à 16h00
Maximum 15 min (µg/m^3)	127 16/01 à 16h00	279 02/02 à 20h45	162 13/05 à 23h15	151 15/06 à 16h00
Maximum horaire (µg/m^3)	113 16/01 à 16h00	205 07/02 à 21h00	118 16/05 à 14h00	101 15/06 à 16h000
Maximum 8 heures (µg/m^3)	80 25/01	150 05/02	90 12/05	68 15/06
Maximum jour (µg/m^3)	56 25/01	101 14/02	71 11/05	42 13/06
PH50 (µg/m^3)	31	74	44	29
PH98 (µg/m^3)	80	185	102	27
PH99,8 (µg/m^3)	120	198	117	42

Note : PH50 : percentile 50 horaire
PH98 : percentile 98 horaire
PH99,8 : percentile 99,8 horaire

Dans les tableaux 6, 7, 8 et 9, les résultats de mesure indiqués sur 8 heures correspondent à des horaires ouvrés de journée.

Les teneurs dans les parcs 2 et 3 sont relativement similaires. Ces parcs ont eu pendant l'étude une fréquentation soutenue, respectivement 6 000 et 3 000 mouvements de véhicules par jour ; de plus ils ont une configuration semblable en ce qui concerne le nombre de niveaux (6 et 4).

Dans le parc 4, les niveaux rencontrés sont plus faibles, expliqués par le fait que le parc a une capacité réduite (350 véhicules), une fréquentation (environ 500 véhicules par jour) très inférieure aux 2 autres parcs, de plus, son utilisation spécifique par les employés de l'hôpital peut également expliquer ces résultats.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Le parc 1 réservé aux cars de tourisme, a des caractéristiques très différentes par rapport aux autres. Les teneurs en CO sont de l'ordre des concentrations mesurées dans l'air ambiant, et pour les autres polluants (NO, NO_2 et PM_{10}) les teneurs sont comprises entre celles du parc 4 et celles des parcs 2 et 3.

Les histogrammes fréquence-concentration comme par exemple la Figure 8 ci-dessous montrent que :

- Pour le CO, trois des quatre parcs étudiés (Tableau 10) dépassent la valeur guide sur 8h de l'OMS (10mg/m^3). Pour le parc 2, 0,3 % des moyennes horaires dépassent également la valeur guide sur 1h de l'OMS.
- Pour le NO_2, la valeur guide sur 1h de l'OMS (200µg/m^3) est dépassée sur les 4 parcs (Tableau 11).

Tableau 10 : Pourcentage des moyennes 8h de CO supérieures à 10 mg/m^3

CO	Parc 1	Parc 2	Parc 3	Parc 4
Moyenne sur 8h > 10mg/m^3 en %	0	47	41	8,8

Tableau 11 : Pourcentage des moyennes horaires de NO_2 supérieures à 200 µg/m^3

NO_2	Parc 1	Parc 2	Parc 3	Parc 4
Moyenne sur 1h > 200µg/m^3 en %	7,2	41	38	0,6

L'histogramme fréquence-concentration en NO_2 sur 1 heure est présenté ci-après.

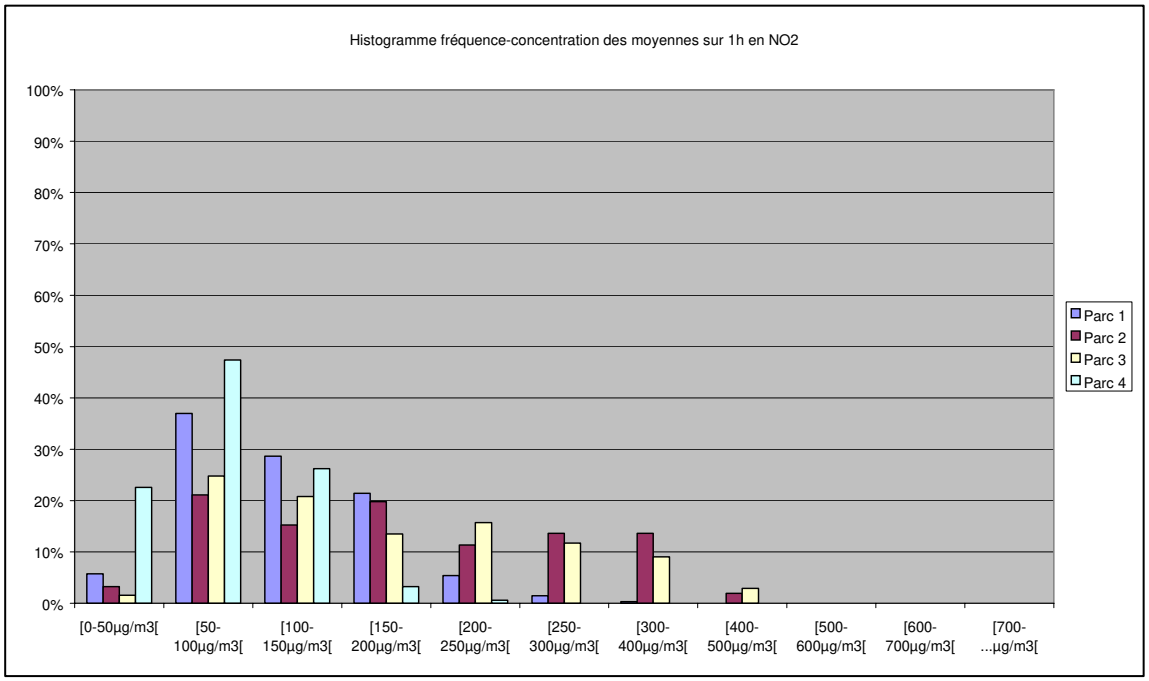


Figure 8 : Histogramme fréquence – concentration en NO_2 sur 1 heure

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

La comparaison des concentrations moyennes sur la durée des études mesurées à l'intérieur (parc de stationnement) et à l'extérieur (station de proximité automobile « Champs Elysées » du réseau de surveillance Airparif) montre une grande différence pour le NO et le CO.

Tableau 12 : Rapport de concentration moyenne intérieure et extérieure

	Parc 1	Champs Elysées	R	Parc 2	Champs Elysées	R	Parc 3	Champs Elysées	R	Parc 4	Champs Elysées	R
CO en mg/m^3	1,1	0,9	1,2	10	1	10,0	7,9	0,9	8,8	4,9	0,7	7,0
NO en µg/m^3	272	62	4.4	697	70	10	536	56	10	165	33	5
NO_2 en µg/m^3	119	60	2,0	187	74	3	180	64	3	84	66	1
PM_{10} en µg/m^3	34	39	0,9	75	37	2	46	33	1,4	30	44	0,7

Note : R est le rapport de la concentration intérieure sur la concentration extérieure.

4.3.1.2 Mesures par prélèvement actif

Les résultats des mesures par prélèvement actif sont donnés avec une incertitude de l'ordre de 20 %. Les valeurs des limites de quantification peuvent changer pour un même composé suivant la campagne de mesure (temps et débit de prélèvement différent, amélioration de la technique analytique,…) ce qui explique les différences suivant les parcs de stationnement.

Globalement, les mesures de métaux lourds (Plomb, Cadmium, Nickel, Arsenic et Mercure) et en HAP (Benzo-a-pyrène, anthracène et phénanthrène) n'ont pas montré des teneurs importantes (Tableau 13) dans les différents parcs couverts par rapport aux teneurs observées dans l'air extérieur. Les résultats des autres HAP sont présentés en **Annexe 6**.

Tableau 13 : Résultats des métaux mesurés et des principaux HAP

Moyenne de l'étude	Pas de temps	Parc 1	Parc 2	Parc 3	Parc 4
Plomb (ng/m^3)	24 h	26	32	12	22
Cadmium (ng/m^3)	24 h	0,6	0,5	0,1	0,3
Nickel (ng/m^3)	24 h	-	6,2	4,8	5,6
Arsenic (ng/m^3)	24 h	1,2	-	0,42	0,3
Mercure (µg/m^3)	8h – 15h	< 2,0	< 1,5	< 1	< 1
Benz(a)pyrène (ng/m^3)	24 h	0,9	2,4	1,2	0,7
Anthracène (ng/m^3)	24 h	1,0	1,9	6,2	2,4
Phénanthrène (ng/m^3)	24 h	20	33	79	45

Les tableaux ci-après présentent les concentrations en COV mesurées plusieurs fois sur un même parc (de 2 à 6 fois) sur des courtes périodes (Tableau 14 : 30min, Tableau 15 : 1h et Tableau 16 : 8h) pendant des heures de forte fréquentation.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 14 : Résultats des COV intégrés sur 30 minutes

30 minutes	Parc 1		Parc 2						Parc 3				Parc 4			
Benzène (µg/m^3)	<4	<4	11	62	79	65	52	44	48	91	14	43	-	-	-	-
Toluène (µg/m^3)	19	18	62	270	370	300	250	200	280	>680	86	280	160	310	120	220
m-p xylène (µg/m^3)	13	13	42	170	230	180	160	140	140	430	50	140	95	150	67	120
o-xylène (µg/m^3)	4,2	4,4	12	60	79	65	55	45	51	160	18	44	32	49	21	41
124 TMB (µg/m^3)	<4	4,1	12	50	61	51	42	36	41	120	15	40	24	36	16	32
Ethylbenzène (µg/m^3)	<4	<4	11	55	73	59	50	40	43	130	15	44	26	45	18	35
Naphtalène (µg/m^3)	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<11	<11	<12	<12	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5
Styrène (µg/m^3)	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<11	<11	<12	<12	-	-	-	-
Hexane (µg/m^3)	-	-	-	-	-	-	-	-	49	36	49	29	-	-	-	-
Heptane (µg/m^3)	<4	<4	<4	22	31	24	17	15	18	88	<11	18	16	26	<13	15
Acétaldéhyde (µg/m^3)	<8,5	<8,5	<17	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Formaldéhyde (µg/m^3)	9,7	7,4	17	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 15 : Résultats des aldéhydes intégrés sur 1 heure

1 heure	Parc 1		Parc 2				Parc 3				Parc 4			
Acétaldéhyde (µg/m^3)	-	-	<8,5	32	27	22	19	25	11	19	10	19	10	15
Formaldéhyde (µg/m^3)	-	-	13	42	34	36	18	31	11	20	21	25	23	22

Tableau 16 : Résultats des COV intégrés sur 8 heures

8 heures	Parc 1		Parc 2		Parc 3		Parc 4	
Benzène (µg/m^3)	7,9	5,7	36	58	37	56	45	27
Toluène (µg/m^3)	37	30	190	280	550	340	300	200
m-p xylène (µg/m^3)	24	18	100	160	290	170	140	94
o-xylène (µg/m^3)	7,9	5,7	33	51	93	56	44	29
124 TMB (µg/m^3)	7,2	5,3	27	39	73	39	30	21
Ethylbenzène (µg/m^3)	7,4	5,3	31	48	86	56	40	27
Naphtalène (µg/m^3)	<0,4	<0,4	0,9	1,3	1,4	1,3	<3,5	<3,5
Styrène (µg/m^3)	<2,6	<2,6	<2,6	<2,6	4,3	<3,8	<2,7	<2,7
Hexane (µg/m^3)	<4,4	<4,4	25	21	60	30	2,7	26
Heptane (µg/m^3)	<4,6	<4,6	21	16	48	25	18	14
Acétaldéhyde (µg/m^3)	5,4	4,0	13	21	16	14	21	7,7
Formaldéhyde (µg/m^3)	11	7,0	21	36	24	19	11	18

Les teneurs sont élevées en Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques (notamment le benzène et le toluène) quelle que soit la durée de prélèvement par rapport aux teneurs mesurées dans l'air ambiant ou dans des logements (selon les études de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

OQAI). Les teneurs en aldéhydes restent relativement faibles et sont comparables à celles observées dans les logements lors des campagnes de mesures de l'OQAI.

4.3.1.3 Mesures par prélèvement passif

Une cartographie par prélèvement passif a été réalisée parallèlement aux mesures automatiques. Les mesures se sont déroulées sur une période d'une semaine pour NO_2 et les COV ; ainsi que sur 2 périodes consécutives de 4 jours pour les aldéhydes. Tous les niveaux des parcs ont été équipés.

D'une manière générale, les résultats des différents polluants avec une incertitude de l'ordre de 25 %, montrent une certaine homogénéité des concentrations au sein d'un même niveau. Les concentrations les plus importantes se situent à proximité des rampes d'accès et des extracteurs.

Seul le niveau du parc où les mesures automatiques ont été effectuées est présenté.

Tableau 17 : Résultats des mesures par tubes passifs

	Parc 1 (niveau -3)			Parc 2 (niveau -3)			Parc 3 (niveau -2)			Parc 4 (niveau -1)		
	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy
NO_2 (µg/m^3)	76	164	109	127	202	157	120	160	145	66	75	71
Benzène (µg/m^3)	2,8	8,1	4,2	19	40	26	43	63	53	8,5	23	19
Toluène (µg/m^3)	8,9	37	16	90	167	127	280	460	365	55	210	160
Acétaldéhyde (µg/m^3)	4,6	5,4	4,9	2,8	15	9,7	13	16	15	8,6	11	10
Formaldéhyde (µg/m^3)	6	7,6	6,8	9,8	21	14	16	22	18	16	18	17

Les concentrations en NO_2 et COV sont plus importantes dans les niveaux situés juste au dessous du niveau où se trouvent les barrières d'entrée et de sortie (voir Figure 9).

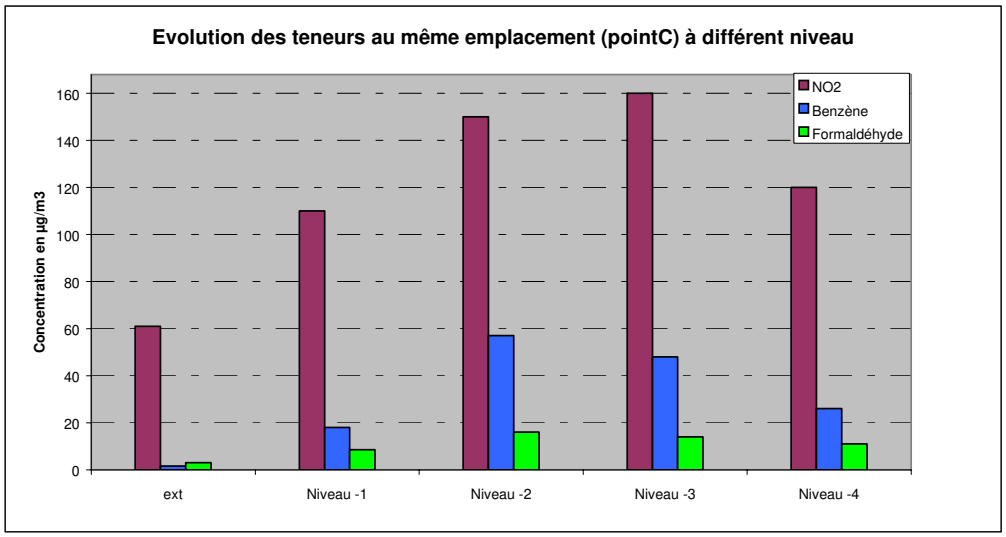


Figure 9 : Contrôle de la variabilité inter-niveaux (ex. du parc 3)

Généralement, les concentrations obtenues dans les parcs de stationnement couverts sont plus importantes que celles mesurées pendant la même période sur un site de fond et un site trafic. Le

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

rapport des concentrations moyennes sur une semaine mesurées à l'intérieur et à l'extérieur (à proximité de l'amenée d'air frais du parc) a été calculé – voir Tableau 18.

Tableau 18 : Rapport de concentration moyenne intérieure et extérieure

	Parc 1			Parc 2			Parc 3			Parc 4		
	Int.	Ext.	R	Int.	Ext.	R	Int.	Ext.	R	Int.	Ext.	R
NO_2 (µg/m^3)	109	55	2	157	56	2,8	145	61	2,4	71	49	1,4
Benzène (µg/m^3)	4,2	2,4	1,8	26	1,3	20	53	1,3	41	19	1,3	15
Toluène (µg/m^3)	16	6	2,7	127	4,5	28	365	9	41	160	8,1	20
Acétaldéhyde (µg/m^3)	4,9	3	1,6	9,7	6,5	1,5	15	2,1	7,1	10	3,2	3,1
Formaldéhyde (µg/m^3)	6,8	3,3	2,1	14	2,8	5	18	3,1	5,8	17	4,6	3,7

Note : R est le rapport de la concentration intérieure sur la concentration extérieure.

Pour le NO_2, le ratio est le même quels que soient les types de mesure (passif ou automatique) – voir Tableau 12.

4.3.1.4 Mesures complémentaires : mesures des $PM_{2.5}$

Parallèlement aux mesures des PM_{10}, des mesures en $PM_{2,5}$ ont été effectuées pendant environ une semaine pour connaître le pourcentage de $PM_{2,5}$ dans les PM_{10} présentes dans les parcs de stationnement couverts, excepté pour le parc 2.

Tableau 19 : Résultats des mesures de PM_{10} et $PM_{2,5}$

	Parc 1	Parc 3	Parc 4
Moyenne $PM_{2,5}$ (µg/m^3)	39	34	22
Moyenne PM_{10} (µg/m^3)	54	44	28
$PM_{2,5}/PM_{10}$ (%)	72	77	79

4.3.2 Corrélations

Des études de corrélations des mesures sur l'ensemble des parcs ont été réalisées entre différents polluants à l'aide du logiciel *Statgraphics*.

Les tableaux 20, 21, 22 et 23 donnent les corrélations de Pearson entre chaque paire de variables sur 30 min, 1h, 8h et 24h. Les figures 10, 11, 12 et 13 représentent la distribution des comparaisons entre chaque paire. Les coefficients de corrélation varient entre –1 et +1 et mesurent la force de la relation linéaire entre les variables. Entre parenthèses sont indiqués les nombres de paires de données utilisées pour calculer ces coefficients. Le troisième nombre dans chaque case du tableau est la valeur de la probabilité qui teste la signification statistique des corrélations estimées. Des valeurs des probabilités (p) au-dessous de 0,05 indiquent des coefficients de corrélation significativement différents de 0 au niveau de confiance de 95%. Dans le cas contraire, la corrélation n'est pas significative (NS).

Les tableaux et figures sont présentés aux pages suivantes.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 20 : Corrélations des données sur 30 minutes

Corrélations 30min	CO	NO	NO2	NOx	PM10	Benzène	Toluène	Xylènes
CO		0.80 (7460) 0.00	0.69 (7460) 0.00	0.80 (7460) 0.00	0.76 (6869) 0.00	0.85 (12) 0.00	0.67 (16) 0.00	0.64 (16) 0.01
NO	0.80 (7460) 0.00		0.91 (7460) 0.00	1.00 (7460) 0.00	0.87 (6840) 0.00	0.79 (12) 0.00	0.58 (16) 0.02	0.63 (16) 0.01
NO2	0.69 (7460) 0.00	0.91 (7460) 0.00		0.93 (7460) 0.00	0.80 (6840) 0.00	0.84 (12) 0.00	0.65 (16) 0.01	0.73 (16) 0.00
NOx	0.80 (7460) 0.00	1.00 (7460) 0.00	0.93 (7460) 0.00		0.87 (6840) 0.00	0.81 (12) 0.00	0.60 (16) 0.01	0.65 (16) 0.01
PM10	0.76 (6869) 0.00	0.87 (6840) 0.00	0.80 (6840) 0.00	0.87 (6840) 0.00		0.74 (12) 0.01	0.54 (16) 0.03	0.53 (16) 0.04
Benzène	0.85 (12) 0.00	0.79 (12) 0.00	0.84 (12) 0.00	0.81 (12) 0.00	0.74 (12) 0.01		0.93 (12) 0.00	0.93 (12) 0.00
Toluène	0.67 (16) 0.00	0.58 (16) 0.02	0.65 (16) 0.01	0.60 (16) 0.01	0.54 (16) 0.03	0.93 (12) 0.00		0.99 (16) 0.00
Xylènes	0.64 (16) 0.01	0.63 (16) 0.01	0.73 (16) 0.00	0.65 (16) 0.01	0.53 (16) 0.04	0.93 (12) 0.00	0.99 (16) 0.00	

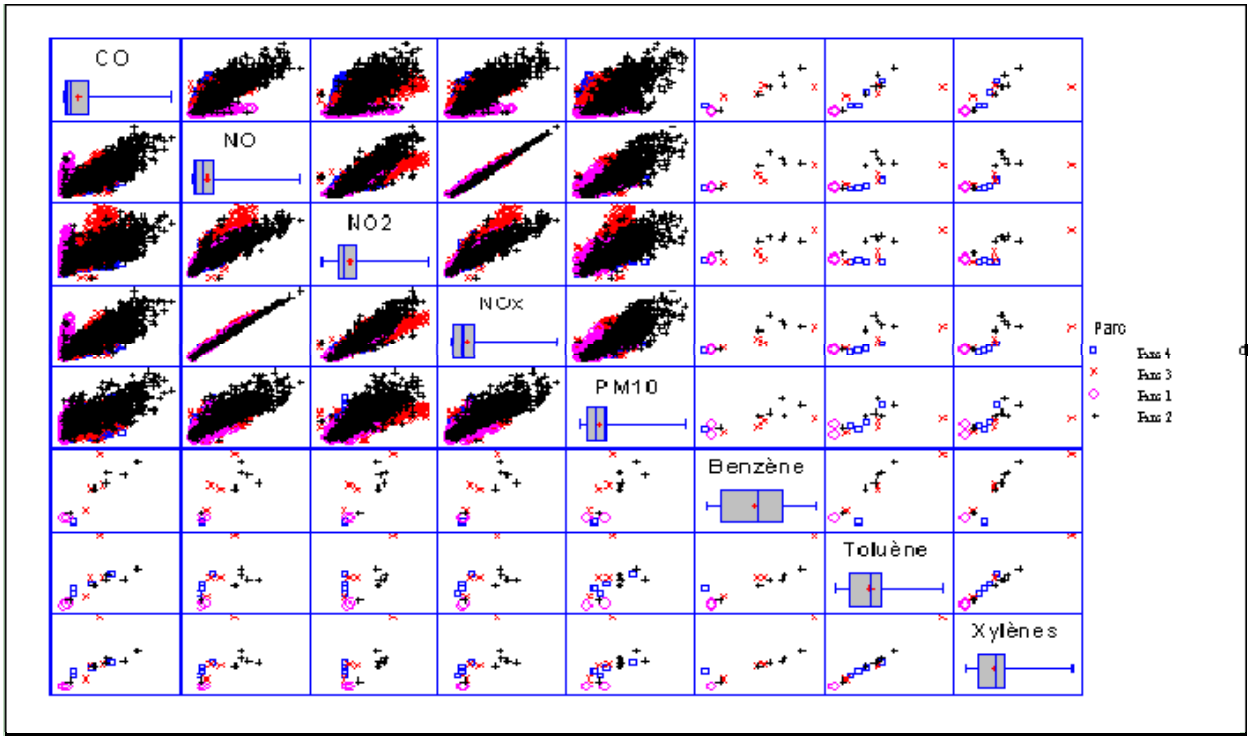


Figure 10 : Nuages de points des corrélations des données sur 30 minutes

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 21 : Corrélations des données sur 1 heure

Corrélations 1h	CO	NO	NO2	NOx	PM10	Formaldéhyde	Acétaldéhyde
CO		0.81 (1900) 0.00	0.70 (1902) 0.00	0.80 (1902) 0.00	0.77 (1754) 0.00	0.61 (12) 0.04	0.81 (12) 0.00
NO	0.81 (1900) 0.00		0.92 (1903) 0.00	1.00 (1903) 0.00	0.89 (1746) 0.00	0.69 (12) 0.01	0.82 (12) 0.00
NO2	0.70 (1902) 0.00	0.92 (1903) 0.00		0.94 (1905) 0.00	0.83 (1748) 0.00	NS 0.10	0.64 (12) 0.02
NOx	0.80 (1902) 0.00	1.00 (1903) 0.00	0.94 (1905) 0.00		0.89 (1748) 0.00	0.68 (12) 0.02	0.81 (12) 0.00
PM10	0.77 (1754) 0.00	0.89 (1746) 0.00	0.83 (1748) 0.00	0.89 (1748) 0.00		0.65 (12) 0.02	0.67 (12) 0.02
Formaldéhyde	0.61 (12) 0.04	0.69 (12) 0.01	NS 0.10	0.68 (12) 0.02	0.65 (12) 0.02		0.85 (12) 0.00
Acétaldéhyde	0.81 (12) 0.00	0.82 (12) 0.00	0.64 (12) 0.02	0.81 (12) 0.00	0.67 (12) 0.02	0.85 (12) 0.00	

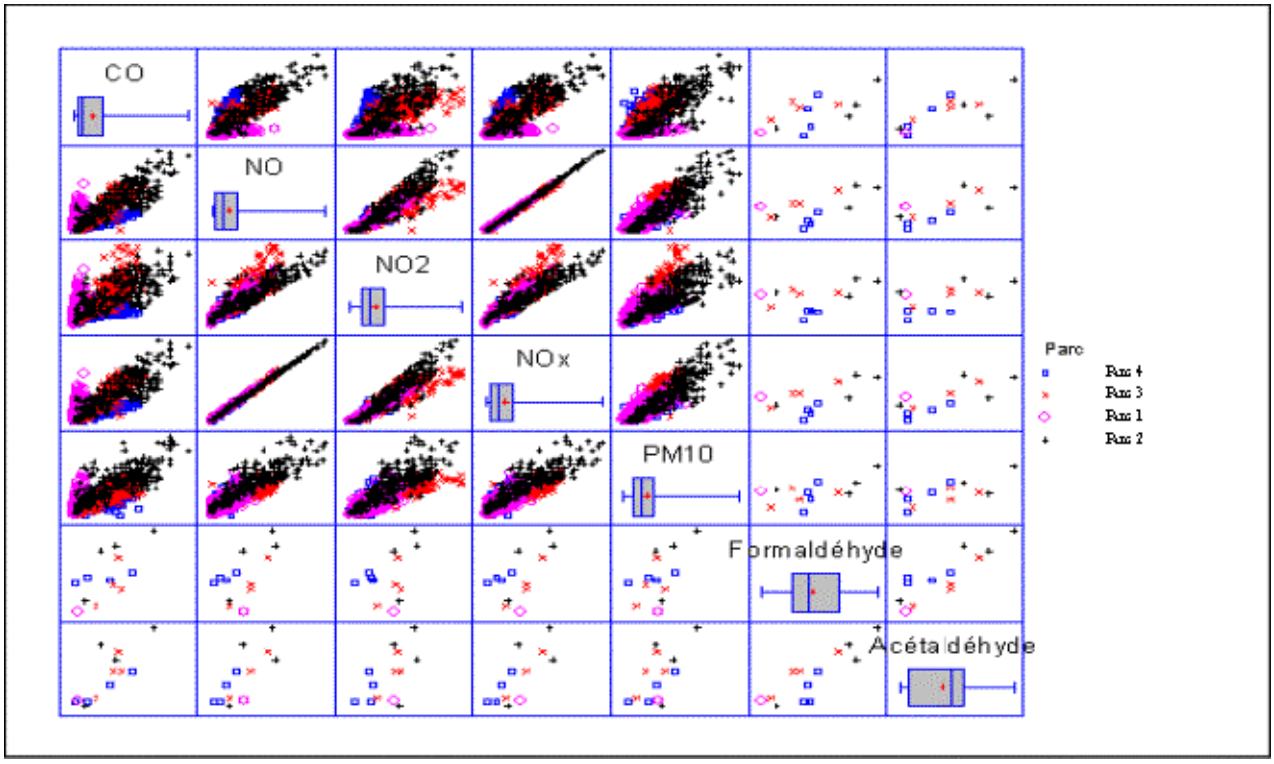


Figure 11 : Nuages de points des corrélations des données sur 1 heure

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 22 : Corrélations des données sur 8 heures

Corrélations 8h	CO	NO	NO2	NOx	PM10	Benzène	Toluène	Xylènes
CO		0.84 / *0.91* (236) / *(158)* 0.00 / *0.00*	0.74 / *0.81* (236) / *(158)* 0.00 / *0.00*	0.83 / *0.91* (236) / *(158)* 0.00 / *0.00*	0.80 / *0.86* (219) / *(160)* 0.00 / *0.00*	0.92 / *0.87* (13) / *(11)* 0.00 / *0.00*	0.92 / *0.89* (13) / *(11)* 0.00 / *0.00*	0.92 / *0.88* (13) / *(11)* 0.00 / *0.00*
NO	0.84 / *0.91* (236) / *(158)* 0.00 / *0.00*		0.93 / *0.92* (239) / *(161)* 0.00 / *0.00*	1.00 / *1.00* (239) / *(161)* 0.00 / *0.00*	0.90 / *0.91* (219) / *(160)* 0.00 / *0.00*	0.63 / *0.84* (13) / *(11)* 0.02 / *0.00*	0.59 / *0.85* (13) / *(11)* 0.03 / *0.00*	0.63 / *0.87* (13) / *(11)* 0.02 / *0.00*
NO2	0.74 / *0.81* (236) / *(158)* 0.00 / *0.00*	0.93 / *0.92* (239) / *(161)* 0.00 / *0.00*		0.94 / *0.94* (239) / *(161)* 0.00 / *0.00*	0.83 / *0.83* (219) / *(160)* 0.00 / *0.00*	0.67 / *0.79* (13) / *(11)* 0.01 / *0.00*	0.65 / *0.84* (13) / *(11)* 0.02 / *0.00*	0.70 / *0.87* (13) / *(11)* 0.01 / *0.00*
NOx	0.83 / *0.91* (236) / *(158)* 0.00 / *0.00*	1.00 / *1.00* (239) / *(161)* 0.00 / *0.00*	0.94 / *0.94* (239) / *(161)* 0.00 / *0.00*		0.90 / *0.91* (219) / *(160)* 0.00 / *0.00*	0.64 / *0.83* (13) / *(11)* 0.02 / *0.00*	0.60 / *0.85* (13) / *(11)* 0.03 / *0.00*	0.64 / *0.87* (13) / *(11)* 0.02 / *0.00*
PM10	0.80 / *0.86* (219) / *(160)* 0.00 / *0.00*	0.90 / *0.91* (219) / *(160)* 0.00 / *0.00*	0.83 / *0.83* (219) / *(160)* 0.00 / *0.00*	0.90 / *0.91* (219) / *(160)* 0.00 / *0.00*		0.60 / *0.77* (13) / *(11)* 0.03 / *0.01*	0.59/ *0.82* (13) / *(11)* 0.03 / *0.00*	0.61/ *0.81* (13) / *(11)* 0.03 / *0.00*
Benzène	0.92 / *0.87* (13) / *(11)* 0.00 / *0.00*	0.63 / *0.84* (13) / *(11)* 0.02 / *0.00*	0.67 / *0.79* (13) / *(11)* 0.01 / *0.00*	0.64 / *0.83* (13) / *(11)* 0.02 / *0.00*	0.60 / *0.77* (13) / *(11)* 0.03 / *0.01*		0.94 / *0.89* (13) / *(11)* 0.00 / *0.00*	0.97 / *0.94* (13) / *(11)* 0.00 / *0.00*
Toluène	0.92 / *0.89* (13) / *(11)* 0.00 / *0.00*	0.59 / *0.85* (13) / *(11)* 0.03 / *0.00*	0.65 / *0.84* (13) / *(11)* 0.02 / *0.00*	0.60 / *0.85* (13) / *(11)* 0.03 / *0.00*	0.59/ *0.82* (13) / *(11)* 0.03 / *0.00*	0.94 / *0.89* (13) / *(11)* 0.00 / *0.00*		0.99 / *0.97* (13) / *(11)* 0.00 / *0.00*
Xylènes	0.92 / *0.88* (13) / *(11)* 0.00 / *0.00*	0.63 / *0.87* (13) / *(11)* 0.02 / *0.00*	0.70 / *0.87* (13) / *(11)* 0.01 / *0.00*	0.64 / *0.87* (13) / *(11)* 0.02 / *0.00*	0.61/ *0.81* (13) / *(11)* 0.03 / *0.00*	0.97 / *0.94* (13) / *(11)* 0.00 / *0.00*	0.99 / *0.97* (13) / *(11)* 0.00 / *0.00*	

Note : en italique : corrélations hors parc 1.

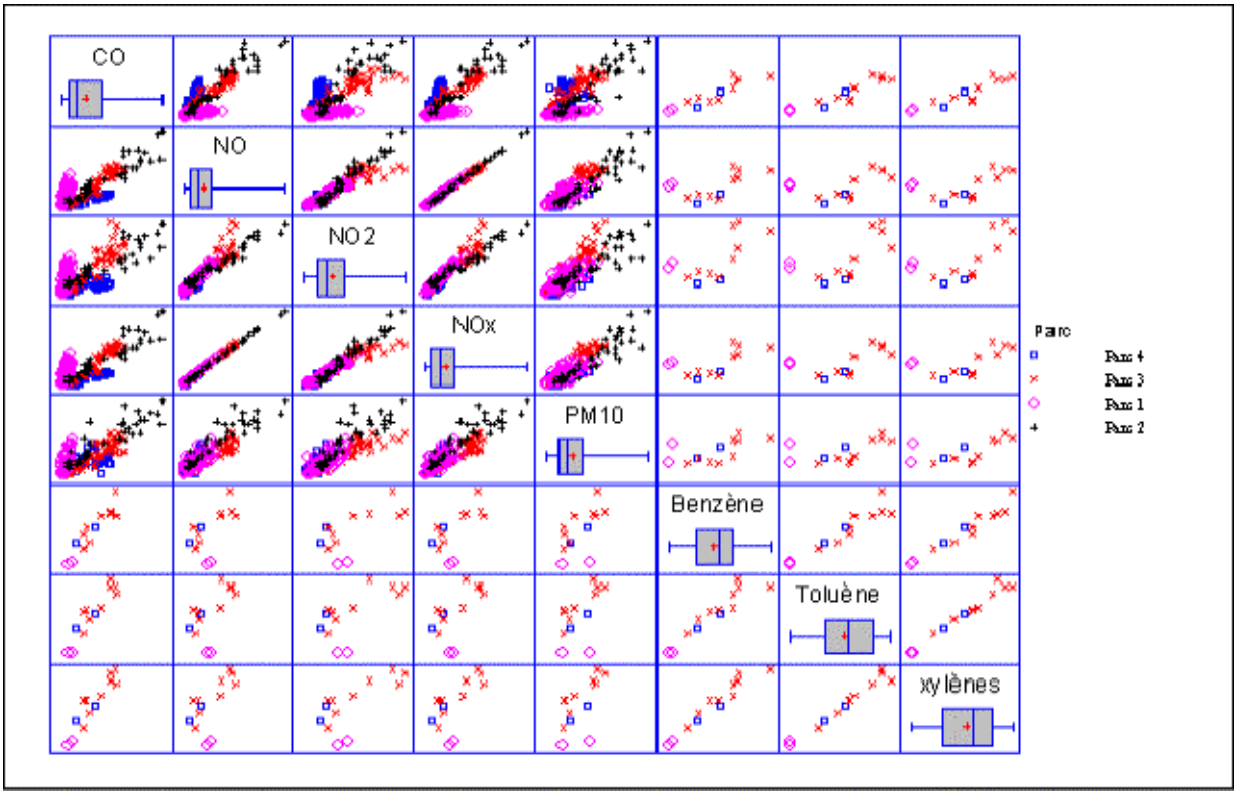


Figure 12 : Nuages de points des corrélations des données sur 8 heures

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 23 : Corrélations des données sur 24 heures

Corrélations 24h	CO	NO	NO2	PM10	BaP	Plomb	Cadmium	Nickel	Arsenic
CO		0.84 (67) 0.00	0.73 (67) 0.00	0.76 (62) 0.00	0.84 (16) 0.00	NS 0.13	NS 0.77	NS 0.99	-0.57 (26) 0.00
NO	0.84 (67) 0.00		0.93 (70) 0.00	0.85 (63) 0.00	0.84 (17) 0.00	0.48 (38) 0.00	NS 0.15	NS 0.87	NS 0.83
NO2	0.73 (67) 0.00	0.93 (70) 0.00		0.78 (63) 0.00	0.72 (17) 0.00	0.37 (38) 0.02	NS 0.24	NS 0.66	NS 0.89
PM10	0.76 (62) 0.00	0.85 (63) 0.00	0.78 (63) 0.00		0.90 (16) 0.00	0.67 (37) 0.00	0.46 (41) 0.00	NS 0.14	NS 0.35
BaP	0.84 (16) 0.00	0.84 (17) 0.00	0.72 (17) 0.00	0.90 (16) 0.00		NS 0.14	0.62 (11) 0.04	NS 0.90	NS 0.43
Plomb	NS 0.13	0.48 (38) 0.00	0.37 (38) 0.02	0.67 (37) 0.00	NS 0.14		0.64 (42) 0.00	NS 0.63	0.76 (28) 0.00
Cadmium	NS 0.77	NS 0.15	NS 0.24	0.46 (41) 0.00	0.62 (11) 0.04	0.64 (42) 0.00		NS 0.60	0.67 (32) 0.00
Nickel	NS 0.99	NS 0.87	NS 0.66	NS 0.14	NS 0.90	NS 0.63	NS 0.60		-0.61 (26) 0.00
Arsenic	-0.57 (26) 0.00	NS 0.83	NS 0.89	NS 0.35	NS 0.43	0.76 (28) 0.00	0.67 (32) 0.00	-0.61 (26) 0.00	

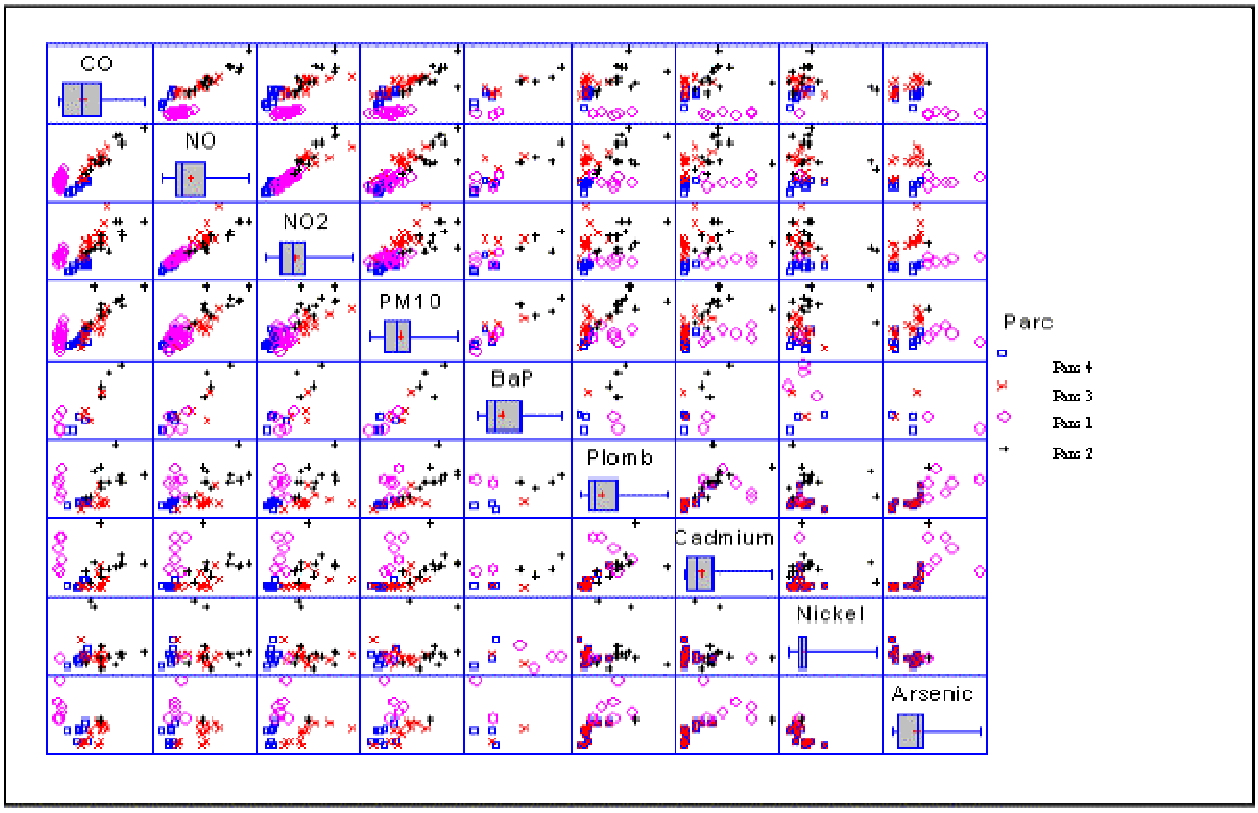


Figure 13 : Nuages de points des corrélations des données sur 24 heures

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Les figures 10, 11, 12 et 13 montrent que les concentrations du parc 1 sont atypiques en ce qui concerne les émissions des polluants (essentiellement le CO).

Les valeurs sur 8 heures en NO et benzène sont bien corrélées (0,84) en ne considérant que les deux seuls parcs 3 et 4. L'adjonction du parc du 1 abaisse très sensiblement ce coefficient (0,63).

D'une manière générale, le NO est bien corrélé avec le trafic comme l'indique le Tableau 24 ci-après et l'**Annexe 7**. Ce polluant est à l'heure actuelle le meilleur indicateur du trafic.

Tableau 24 : Corrélation NO/trafic et toluène/trafic

Corrélation	Parc 1	Parc 2	Parc 3	Parc 4
NO/Trafic	0,71	0,78	0,92	-

Globalement sur les corrélations 30 min et 8h, le benzène semble bien corrélé avec les polluants primaires CO et NO (0,80) et les autres COV (0,90).

L'acétaldéhyde est mieux corrélé (0,82) avec le CO et NO que le formaldéhyde (0,65).

En ce qui concerne les corrélations sur 24h présentées dans le Tableau 23, les teneurs en métaux semblent être indépendantes des teneurs mesurées en polluants gazeux alors que le benzo(a)pyrène est bien corrélé avec le CO, NO, NO_2 et PM_{10}.

4.4 Conclusions

En ce qui concerne les teneurs mesurées, quelques éléments de synthèse sont à retenir notamment au regard de l'exposition des usagers et du personnel pouvant travailler dans ces lieux.

4.4.1 Synthèse des mesures par analyseurs automatiques

La teneur moyenne en CO pendant l'étude a varié de 1 mg/m^3 (Parc 1) à 10 mg/m^3 (Parc 2) sur les parcs avec un maximum quart horaire de 39 mg/m^3 dans le parc 2. Le pourcentage des moyennes sur 8 h supérieures à 10 mg/m^3 varie de 9 % à 47 % pour 3 parcs (excepté le parc 1).

La teneur moyenne pendant l'étude en NO a varié de 165 µg/m^3 (Parc 4) à 697 µg/m^3 (Parc 2) sur les parcs avec un maximum quart horaire de 2 870 µg/m^3 dans le parc 2.

La teneur moyenne pendant l'étude en NO_2 a varié de 84 µg/m^3 (Parc 4) à 187 µg/m^3 (Parc 2) sur les parcs avec un maximum quart horaire de 705 µg/m^3 dans le parc 2. Le pourcentage des moyennes horaires supérieures à 200 µg/m^3 varie de 0,6 % à 41 % sur les 4 parcs.

En ce qui concerne les PM_{10}, les teneurs observées pendant l'étude varient de 30 µg/m^3 (Parc 4) à 75 µg/m^3 (Parc 2) avec un maximum quart horaire de 279 µg/m^3 dans le parc 2.

Globalement, la proportion de $PM_{2,5}$ dans les PM_{10} est de 76 % alors que cette proportion est de 68 % dans l'air sur les sites urbains de fond et 64 % sur les sites trafics du réseau de surveillance de la qualité de l'air de la région parisienne.

4.4.2 Synthèse des mesures par prélèvement actif

Globalement, les mesures en métaux lourds (de 12 à 32 ng/m^3 pour le plomb, de 0,14 à 0,6 ng/m^3 pour le cadmium, de 4,8 à 6,2 ng/m^3 pour le nickel, de 0,3 à 1,2 ng/m^3 pour l'arsenic et inférieur à

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

1-2 µg/m^3 pour le mercure) et en HAP (de 0,77 à 2,4 ng/m^3 pour le benzo-a-pyrène, …) n'ont pas montré des teneurs importantes dans les différents parcs couverts par rapport aux teneurs observées dans l'air extérieur.

Par contre, les teneurs en Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques (benzène et toluène) sont environ 10 fois supérieures à celles observées en situation de proximité automobile. Les teneurs les plus élevées (91 µg/m^3 pour le benzène et 680 µg/m^3 pour le toluène) et pouvant paraître atypiques peuvent s'expliquer par la présence de véhicules anciens non catalysés…

Les teneurs en aldéhydes restent relativement faibles (de 11 à 42 µg/m^3 pour le formaldéhyde et de 8,5 à 32 µg/m^3 pour l'acétaldéhyde) et sont comparables à celles observées dans les logements lors des campagnes de mesures de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur.

4.4.3 Synthèse des mesures par prélèvement passif

Les concentrations moyennes sur une semaine en NO_2 varient de 71 à 157 µg/m^3 suivant le parc. Elles sont confirmées par les mesures à l'aide de l'analyseur automatique.

Les concentrations moyennes sur une semaine en benzène et toluène sont élevées par rapport aux concentrations observées dans l'air ambiant extérieur ; elles atteignent, pour le parc 3, 53 µg/m^3 (pour le benzène) et 365 µg/m^3 (pour le toluène).

Les concentrations en formaldéhyde et acétaldéhyde sur une semaine sont un peu plus élevées que celles mesurées au niveau de la station de proximité au trafic automobile « Place Victor Basch » (de 3,4 à 5,7 µg/m^3 pour le formaldéhyde et de 2,4 à 4,0 µg/m^3 pour l'acétaldéhyde) du réseau de surveillance de la qualité de l'air de la région parisienne. Elles sont comparables à celles mesurées par prélèvement actif.

Les résultats des tubes passifs montrent que les concentrations les plus élevées sont observées à proximité des rampes d'accès et des bouches d'extraction.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

5 Identification des polluants d'intérêt

Rappel : On entend par polluants d'intérêt les substances candidates pour l'élaboration de valeurs cibles dans le contexte des parcs de stationnement couverts. Parmi celles-ci, seul un composé (voire deux) sera ensuite proposé pour le suivi opérationnel de la qualité de l'air intérieur dans ces infrastructures. Une valeur de gestion sera alors élaborée pour celui-ci.

L'établissement de la liste des polluants d'intérêt s'est fait en **deux temps** :

- dans un premier temps, un inventaire le plus exhaustif possible des polluants émis par le trafic automobile a été réalisé ;
- dans un second temps, à partir de cet inventaire, le GT a procédé à une sélection, en deux étapes, des polluants d'intérêt.

Ces étapes de travail sont décrites respectivement dans les paragraphes 5.1 et 5.2 qui suivent.

5.1 Recensement des polluants émis

L'examen de la littérature scientifique spécifique à la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts ayant montré que les études conduites sur le sujet se sont, pour la plupart, intéressées à une gamme très restreinte de polluants, le GT a choisi de considérer les émissions liées au trafic automobile de façon générale (véhicules légers et deux-roues) pour établir la liste initiale de polluants potentiellement d'intérêt. Devant le grand nombre de publications sur la contribution du transport routier aux émissions atmosphériques, **les monographies et documents de synthèse ont été consultés préférentiellement**, en particulier les rapports des travaux communautaires (site Internet de la Commission européenne et de l'Agence européenne de l'environnement), de l'Organisation mondiale de la santé, des instituts et agences de l'environnement et de santé publique (US-EPA, RIVM, HEI…) et des académies américaines (NRC). Des travaux français récents de synthèse ont également été exploités (rapports parlementaires, travail d'un groupe de travail de la DGS conduit dans le cadre de l'élaboration du guide méthodologique d'évaluation des risques sanitaires pour les infrastructures routières (DGS, 2004), données CITEPA et AIRPARIF…).

La liste des polluants recensés est jointe en Annexe 8. Au total, elle compte 275 substances.
Les paragraphes 4.1.1 à 4.1.5 suivants synthétisent l'examen de la littérature scientifique ayant permis d'établir cette liste.

Remarque liminaire relative au CO_2 :

Dans la mesure où le CO_2 n'est pas toxique pour la santé humaine aux concentrations habituellement rencontrées dans l'air et que son émission relève plus d'une problématique environnementale (impact sur l'effet de serre et réchauffement climatique) que sanitaire, il n'est pas inclus dans la liste initiale des substances examinées par le GT.

5.1.1 Emissions à l'échappement des véhicules

L'échappement est la principale source d'émissions liées au trafic automobile. Un très large panel de polluants est émis, mais, de manière générale la littérature scientifique rapporte des travaux concernant exclusivement le groupe de polluants réglementés que sont les oxydes d'azote et les particules et, un peu moins souvent, le benzène et le monoxyde de carbone (EEA, 2002 ; TAP, 2002).

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Le monoxyde de carbone a été le polluant traceur des émissions automobiles par excellence, car le plus abondant après le CO_2 (Géronimi, 2000). Le type de véhicule a une influence significative sur les émissions de CO. Ainsi, le moteur des voitures à essence (à allumage commandé) fonctionne avec un mélange carburant/air plus riche en carburant. La combustion se faisant alors moins bien (défaut d'oxygène), le CO est émis en plus grande quantité. En outre, en phase de décélération, au ralenti ou lors du démarrage à froid avec le starter, le mélange est encore plus riche en carburant, ce qui explique les sur-émissions de CO dans ces configurations de fonctionnement. En revanche, les moteurs Diesel (moteur à allumage par compression) fonctionnent en mélange pauvre, c'est-à-dire avec un volume d'air supérieur à celui nécessaire à la combustion totale du carburant injecté. Les émissions de CO sont en conséquence plus faibles, voire très faibles sur les moteurs de technologies récentes (injection à très haute pression, aérothermique optimisée). L'accroissement des véhicules Diesel dans le parc français d'une part, et le développement du pot catalytique[12], qui permet l'oxydation du CO en CO_2, d'autre part, conduisent à se demander si désormais le CO peut rester un traceur objectif des émissions automobiles[13], utilisable comme critère d'asservissement de la ventilation dans les parcs de stationnement couverts.

Les oxydes d'azote sont produits par l'oxydation partielle de l'azote de l'air par l'oxygène lors de la combustion (à températures élevées). Ils sont également considérés comme traceurs des émissions automobiles. Le monoxyde d'azote (NO) est formé à haute température. Son oxydation en NO_2 peut se produire lors de la baisse de température de l'échappement par trempage des fumées, mais aussi dans le pot catalytique d'oxydation dont sont équipés les véhicules Diesel. En ce qui concerne les motorisations essence (mélange stœchiométrique), la catalyse 3 voies permet leur élimination par réduction sous forme de N_2 lorsque la température du catalyseur est suffisante pour assurer son activité. Les oxydes d'azote ne sont à ce jour pas traités de façon efficace sur les moteurs Diesel ; ils le seront à court ou moyen terme avec des efficacités de 50 % sur les moteurs Diesel de forte puissance (camions, bus). Les oxydes d'azote et tout particulièrement le NO_2 resteront d'excellents traceurs des émissions primaires automobiles.

Le dioxyde de soufre émis provient du soufre contenu dans les carburants. Les réglementations communautaires en matière d'émission de SO_2, ainsi que les besoins liés à une activité performante de la catalyse d'oxydation comme post-traitement des émissions moteurs ont conduit à une diminution radicale de la teneur en soufre dans les carburants utilisés par les transports. En conséquence, le SO_2 ne peut désormais plus être considéré comme marqueur utilisable des émissions du trafic automobile.

Les particules résultent de la combustion incomplète du carburant. Sur celles-ci sont adsorbés les métaux lourds et les hydrocarbures aromatiques polycycliques. Avec le développement des filtres à particules, la majeure partie des particules Diesel (suies de diamètre aérodynamique moyen 80 nm) est éliminée avec une efficacité de l'ordre de 99 %. Par contre, la survenue dans certaines conditions de prélèvement et de mesures d'un aérosol ultrafin (20-40 nm) formé vraisemblablement de condensats d'hydrocarbures imbrûlés, peut représenter une préoccupation pour la santé qu'il conviendra d'examiner dans le futur.

Pour ce qui concerne les métaux, globalement, on retiendra qu'il existe relativement peu d'informations relatives à leur émission par le trafic routier, parce que, d'une part les PM (sans caractérisation de la spéciation chimique) sont préférentiellement étudiées, et d'autre part ces émissions ne sont pas directement liées aux gaz d'échappement (sauf les métaux émis par la consommation d'huile et par l'usure interne du moteur par frottements), mais plutôt aux

[12] En France, le pot catalytique 3 voies est obligatoire depuis 1993 pour tous les véhicules essence et depuis 1997 le pot catalytique d'oxydation pour les diesels sur véhicules légers.

[13] Les émissions de CO dues aux transports ont diminué de 45 % entre 1990 et 1998 (Géronimi, 2000).

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

équipements du véhicule (freins, pneumatiques…) et aux voiries (glissières de sécurité…). Ces dernières émissions sont traitées dans le paragraphe *5.1.4*. COPERT propose des facteurs d'émission à l'échappement pour le plomb, le cadmium, le chrome, le cuivre, le nickel, le sélénium et le zinc (COPERT III, 2000).

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont des imbrûlés de combustion. Les 16 HAP classiquement mesurés par l'US-EPA[14] sont le plus souvent étudiés (CONCAWE, 2005). En outre, COPERT fournit des facteurs d'émission pour 10 autres HAP (COPERT III, 2000). Peu émis par les motorisations essence catalysées, leurs émissions ont été réduites par l'utilisation de la catalyse d'oxydation Diesel.

Les composés organiques volatils constituent également une grande part des émissions automobiles. Ces composés sont de nature très variée (alcanes aliphatiques ou monocycliques, alcènes, alcynes, aromatiques, aldéhydes, cétones, éthers…) et peu d'études se sont intéressées précisément à la spéciation de ces COV. L'inventaire fourni en **Annexe 8** est aussi complet que possible sans prétendre néanmoins à l'exhaustivité. En outre, une fois ces COV émis dans l'air ambiant, des réactions chimiques sont susceptibles de se produire et de former des composés secondaires, phénomènes chimiques pour lesquels les données sont quasi inexistantes. De façon générale, les travaux se concentrent sur les composés les plus problématiques pour la santé humaine. Par exemple, benzène, 1,3-butadiène, formaldéhyde et acétaldéhyde sont les composés organiques émis par le trafic et étudiés plus spécifiquement aux États-Unis (US-EPA, 2000).

Enfin, l'hydrogène sulfuré et l'ammoniac sont également à compter parmi les substances émises par le trafic automobile (motorisations essence).

Les travaux visant à étudier les effets sur la santé de la pollution automobile retiennent principalement les particules, l'ozone[15] ou les oxydes d'azote comme marqueurs du mélange de polluants émis par le trafic (AFSSE, 2004 ; PEP, 2004 ; OMS, 2005). La société française de santé publique dans son ouvrage de synthèse (SFSP, 1996) traite du CO, des particules, du SO_2, des NO_x, de l'ozone, du benzène, des HAP, du formaldéhyde (le plus prévalent des aldéhydes), de l'acétaldéhyde et de l'acroléine.

5.1.2 Emissions à l'évaporation

L'évaporation des essences[16] génère des composés organiques volatils déjà inventoriés dans le paragraphe précédent parmi les émissions à l'échappement. D'un point de vue quantitatif, si l'évaporation est un phénomène mineur pendant le roulage, elle peut s'avérer prépondérante à l'arrêt des véhicules, donc tout à fait significative dans le contexte particulier des parcs de stationnement couverts.

5.1.3 Emissions dues aux équipements automobiles

Les équipements automobiles que sont les freins, les pneus… doivent être pris en compte lors du recensement des émissions liées au trafic automobile.

---

[14] Du fait, notamment, de l'existence de facteurs d'équivalence toxique de chacun d'eux par rapport à la toxicité du benzo(a)pyrène, le plus toxique d'entre eux pour la santé humaine.

[15] L'ozone, très fréquemment associé à la pollution automobile, est un polluant secondaire issu des réactions photochimiques impliquant les oxydes d'azote et les COV. Dans le contexte des parkings souterrains, en l'absence de photochimie, il n'apparaît pas utile de s'intéresser à ce composé ; c'est la raison pour laquelle il n'est pas évoqué dans le rapport, ni ne figure pas dans la liste des composés en **Annexe 8**.

[16] Les véhicules diesel ne donnent pas lieu à une émission de carburant par évaporation.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Les émissions de poussières par l'usure des pneus et des freins sont loin d'être anecdotiques dans les inventaires d'émission nationaux (UK, 2002) et font l'objet de nombreuses publications (Düring, 2002 ; Warner, 2002). La base de données américaine de l'US-EPA (AP42, 1995) qui fait référence en termes de facteurs d'émissions pour un grand nombre d'installations industrielles, dédie spécifiquement un chapitre aux émissions de poussières par les équipements automobiles. D'après (Delsey, 2002), la responsabilité des particules issues de l'usure des pneus est comprise entre 3 et 7 % en masse des particules totales en suspension. Par ailleurs, les phénomènes de re-suspension des poussières formées sont également à intégrer.

Pour ce qui concerne les métaux, comme évoqué précédemment, leurs émissions sont plutôt dues aux équipements du véhicule (freins…) et aux voiries (glissières de sécurité par exemple, non concernées dans le contexte de cette étude). Ces émissions restent néanmoins d'importance : en effet, si les émissions de poussières à l'échappement sont amenées à diminuer avec l'évolution des carburants et des technologies, ce n'est pas le cas des poussières émises par les freins, les pneus et la route, dont la proportion relative sera ainsi en augmentation (prévision Euro-IV *in.* Ntziachristos et al., 2000).

L'étude plus approfondie des quelques publications disponibles montre que :

- fer, cuivre et plomb d'une part et zinc d'autre part sont respectivement traceurs des émissions liées aux freins et aux pneus (selon OMS, 2005 d'après UNECE/EMEP, 2004 ; Var et al., 2000) ;
- zinc, cuivre, plomb, nickel et vanadium peuvent être considérés comme traceurs de la circulation routière selon des travaux autrichiens récents qui, via l'étude de la qualité de l'air à l'extérieur et à l'intérieur d'un tunnel routier, ont permis de mettre en exergue ces métaux en raison de l'augmentation significative de leurs concentrations dans le tunnel (Laschober et al., 2004) ;
- cuivre, chrome, cadmium, nickel et manganèse sont associés à la circulation automobile d'après (Manalis et al., 2005) ;
- titane, chrome et fer ont été identifiés comme traceurs des émissions des équipements automobiles (Riediker et al., 2004) ;
- plomb, cadmium, cuivre et zinc sont considérés comme traceurs des émissions routières par (Hares et al., 2004) ;
- cuivre, zinc, cadmium, antimoine, baryum et plomb sont traceurs du trafic routier, et plus particulièrement des freins (Westerlund, 2001 ; Sternbeck et al., 2002) ;
- le zinc est le principal composé émis par les huiles de moteur (Cadle et al., 1997).

Par ailleurs, il convient de tenir compte des **métaux rejetés par les pots catalytiques**. Une attention toute particulière leur est portée à ce stade de l'identification des polluants dans la mesure où ils apparaissent comme étant des polluants émergents des émissions automobiles. Une littérature plutôt abondante est d'ailleurs disponible sur le sujet (Palacios et al., 2000 ; Cicolella, 2001 ; Merget et al., 2001 ; Moldovan et al., 2002 ; Gomez et al., 2002 ; Cicchella et al., 2003 ; Hutchinson et al., 2004 ; Ravindra et al., 2004)[17]. Les pots catalytiques ont été introduits aux Etats-Unis dès 1975 et vers la fin des années 80 en Europe, où ils ont été généralisés aux véhicules neufs en 1993. Ils sont constitués principalement de platine, palladium et rhodium, auxquels s'ajoutent des éléments tels que nickel, cérium, baryum, zirconium, lanthane, zinc… en qualité d'adjuvants

[17] Références non exhaustives

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

limitant le phénomène de frittage, stabilisant le support et renforçant l'action catalytique. La proportion des métaux précieux est variable. Un pot catalytique contient en moyenne 1,75 g de métaux précieux. Le platine et le palladium (qui tend d'ailleurs à remplacer le platine) sont utilisés en raison de leur propriété oxydante adaptée au traitement des hydrocarbures et du monoxyde de carbone. Le rhodium est utilisé pour sa capacité à fixer l'oxygène, donc à réduire les oxydes d'azote en azote. En 1997, on estimait à 65 tonnes la quantité mondiale de platine destinée à leur fabrication, dont 16 tonnes pour l'Europe. L'usure des catalyseurs, due principalement aux vibrations du véhicule qui engendrent une abrasion mécanique, contribue aux émissions de métaux précieux dans l'atmosphère. Les autres causes possibles de ces rejets sont la vaporisation d'oxydes de platine suivie d'une réduction métallique ou le dépôt sur des particules d'alumine. La durée de vie d'un pot catalytique est d'environ 5 ans (environ 80 000 km). Compte tenu des taux de recyclage des métaux précieux, on estime que 70 % se retrouvent dans l'environnement.

5.1.4 Emissions par les voiries

Les émissions des voiries (poussières émises par l'usure), de ses aménagements (glissières de sécurité métalliques) et de son entretien (traitement par les phytosanitaires) sont également à prendre en compte dans les inventaires d'émissions liées au trafic routier. **Cependant, dans le contexte des parcs de stationnement couverts, le GT, après avis du CES, a jugé qu'il n'y avait pas lieu de tenir compte de ces émissions**. L'usure des infrastructures des parkings est réelle (usure des revêtements de sol, des peintures murales). Elle reste vraisemblablement peu significative en termes d'émissions compte tenu des rejets directs à l'échappement. Ou bien, si cette usure peut émettre certaines substances (Lamy, 1995), elle génère des poussières minérales moins problématiques pour la santé humaine *a priori* (Ca par exemple).

5.1.5 Emissions futures liées aux évolutions du parc automobile, des technologies et des carburants

Dans la mesure où les travaux du GT serviront de base aux actions de gestion de qualité de l'air des parcs de stationnement couverts pour les prochaines années, il est indispensable d'examiner d'ores et déjà l'évolution des émissions dans le temps. **Les avancées technologiques concernant les moteurs, les dispositifs de post-traitement des effluents et les carburants sont en effet nombreuses. Il s'agit donc de tenir compte de leur influence attendue sur les émissions aussi bien qualitativement que quantitativement.**

L'évolution des carburants est un paramètre à intégrer dans le cadre des travaux du groupe d'autant que l'Union européenne souhaite voir remplacer 20 % des carburants conventionnels par des carburants alternatifs d'ici à 2020. A court et moyen termes, les nouveaux carburants les plus prometteurs sont principalement les biocarburants. Une étude des avantages et inconvénients des carburants alternatifs a été conduite pour le compte de l'Union européenne (DG Énergie) dans le cadre de Auto-Oil (Auto-Oil, 2000). Les principales conclusions peuvent être résumées comme suit :

- le GNV (gaz naturel pour véhicules) est relativement peu émetteur (CO_2, PM) ;
- le GPL (gaz de pétrole liquéfié) émet en quantités significativement plus faibles les mêmes composés chimiques que les combustibles traditionnels ;
- deux filières se partagent actuellement la fourniture de biocarburants (CITEPA, 2006) :

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

- la filière éthanol. L'éthanol issu de la fermentation de cannes à sucre, des betteraves, de céréales ou de bois[18], peut être incorporé *dans l'essence*, soit directement (des mélanges de carburants très riches en éthanol sont destinés aux véhicules dits *Flex Fuel*), soit sous forme d'éthyltertiobutyléther (ETBE). De même, le méthanol peut fournir le méthyltertiobutyléther ou MTBE (Graupner, 1996 ; Poulopoulos et al., 2000). Cependant, l'utilisation de ce dernier est d'ores et déjà remise en question dans certains pays et notamment en Californie pour ses impacts environnementaux (dégradation de la qualité des eaux de boissons en raison de la contamination des eaux souterraines par les fuites d'essence) ;

- la filière huiles végétales. Les esters méthyliques des huiles végétales (EMHV) de colza majoritairement (90 %) et de tournesol, obtenus par transestérification par le méthanol, sont destinés aux véhicules *diesel*[19]. On parle de biodiesel ou de diester.

  L'utilisation de ces composés oxygénés permet de réduire les teneurs en CO et en composés aromatiques, notamment en benzène. Si une baisse de l'ensemble des COV est notée, *a contrario* **les émissions d'oxydes d'azote et d'aldéhydes (formaldéhyde et acétaldéhyde) sont susceptibles d'augmenter** (Chao et al., 2001 ; He et al., 2003) ;

- les émulsions diesel/eau réduisent les rejets des NO_x et PM sans que parallèlement de nouvelles émissions ne soient à rapporter ;

- le « methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl » et l'oxyde de cérium sont également mentionnés au titre des carburants alternatifs (ce sont des additifs). Pour le premier, les impacts sanitaires et environnementaux ne sont cependant pas clairement identifiés en l'état actuel des connaissances et les études semblent contradictoires (Crump, 2000 ; Pfeifer et al., 2004 ; Rollin et al., 2005). Pour le second, les émissions qui lui sont associées ne sont pas détaillées (Auto-oil, 2000).

L'évolution des technologies des véhicules va naturellement, à l'exception du NO_2, dans le sens de la réduction globale des émissions qu'il s'agisse de procédés novateurs visant à l'optimisation de la combustion et à l'amélioration du traitement des gaz d'échappement ou bien de nouvelles technologies de véhicules, les deux principales innovations prometteuses étant la pile à combustible (utilisation d'hydrogène) et les véhicules hybrides (ayant recours alternativement à l'essence ou à l'électricité). Il ne ressort pas des documents consultés (Ntziachristos et al., 2001 ; Graham, 2005 ; Joumard, 2005) que les nouvelles technologies puissent parallèlement être plus particulièrement émettrices d'une substance qui aurait été exclue de l'inventaire établi précédemment. Parallèlement, la mise en œuvre à grande échelle de ces nouvelles technologies ne sera pas effective à court ou moyen terme (DeCicco, 2001). En conséquence, il n'apparaît pas justifié de soustraire une substance à l'inventaire constitué, même si les émissions de cette dernière peuvent se trouver à terme quasiment nulles. Ceci est d'autant plus valable que le parc de véhicules ne se renouvelle pas rapidement, quand bien même les technologies seraient déjà sur le marché. L'âge moyen des voitures particulières en France est en effet de 7,5 ans à 13 ans selon les sources (Géronimi, 2000 ; Girault, 2002) et a tendance à augmenter. Le parc n'est renouvelé qu'en 15 ans.

En conclusion par rapport à l'évolution des émissions, on retient que :

- d'une part, les évolutions attendues touchent plus aux quantités émises qu'à la nature des polluants eux-mêmes ;

---

[18] Dans ce dernier cas, pour le bioéthanol produit à partir de la matière lignocellulosique (résidus de bois, paille, tiges et autres déchets végétaux), on parle de biocarburants de 2ème génération.

[19] L'utilisation d'éthanol à la place du méthanol pour la transestérification (filière EEHV, esters éthyliques d'huiles végétales) est un procédé récent peu développé pour le moment.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

- d'autre part, la pénétration des nouvelles technologies reste lente.

Ainsi, à court et moyen termes, l'évolution des technologies n'est pas susceptible de modifier la liste des polluants d'intérêt retenus dans le cadre du traitement de la saisine.

5.2 Sélection des polluants d'intérêt sanitaire

5.2.1 Méthode

La sélection des substances d'intérêt pour la poursuite des travaux s'est faite en 2 phases distinctes.

5.2.1.1 Phase n°1 : Elimination des composés non pertinents dans le contexte de l'étude

A partir de la liste des polluants émis, cette étape vise à ne retenir que les substances répondant aux critères suivants établis par le GT :

- critère 1 : stables chimiquement dans les ambiances intérieures (telles que parkings couverts) ;
- critère 2 : dont les expositions humaines se font par inhalation ;
- critère 3 : présentant effectivement des dangers pour la santé humaine pour une exposition par inhalation ;
- critère 4 : disposant de valeurs toxicologiques de référence pour l'inhalation aiguë et/ou chronique, condition *sine qua non* à l'élaboration de valeurs cibles ;
- critère 5 : pour lesquelles les concentrations mesurées dans des parkings couverts rapportées dans la littérature, quand elles existent, peuvent être élevées au regard des VTR recensées.

Les substances répondant à ces 5 critères ont ainsi constitué une première liste restreinte de polluants potentiellement d'intérêt pour la poursuite des travaux.

5.2.1.2 Phase n°2 : Hiérarchisation des polluants et sélection finale des substances d'intérêt sanitaire

La réalisation de cette étape de travail n'est possible que pour les substances ayant fait l'objet de mesures à l'occasion des campagnes menées dans le cadre du traitement de cette saisine. Il s'avère que certains polluants répertoriés en phase n°1 n'ont pas été mesurés lors des campagnes[20] ; en effet, même si un large panel de substances a pu être mesuré, certaines ne l'ont pas été du fait de difficultés analytiques, les campagnes de mesure ayant par ailleurs été commanditées par l'Afsset en amont du démarrage des travaux du GT[21]. Les incertitudes liées à la non mesure de ces substances seront discutées dans le paragraphe *5.2.4.2*.

[20] Les substances n'ayant pas fait l'objet de mesure sont : acroléine, 1-3 butadiène, baryum, chrome, cobalt, cuivre, manganèse, acénaphtène, acénaphtylène et fluorène.

[21] Les campagnes ont été commanditées préalablement au démarrage des travaux essentiellement dans le but d'assurer un calendrier de traitement de la saisine réaliste. Par ailleurs, le contrat passé avec le laboratoire prestataire prévoyait la possibilité d'ajustements des campagnes au vu des réflexions menées par le GT ; si cela a pu être le cas pour certains polluants, d'autres n'ont pu être mesurés du fait de limites analytiques propres au laboratoire.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

5.2.1.2.1 Classification des polluants

La méthode de classification retenue est basée sur la prise en compte d'une part des concentrations mesurées dans les parkings couverts issues des campagnes de mesure réalisées, et d'autre part des données de toxicité aiguë et chronique.

Pour chaque polluant, la concentration mesurée est rapprochée de la valeur toxicologique de référence par le calcul d'un score. Les scores calculés ont pour objectif de classer les polluants par ordre de dangerosité intrinsèque décroissante tenant compte simultanément des quantités présentes. Cette méthode est de plus en plus fréquemment utilisée[22], car elle apparaît rigoureuse, transparente et suffisamment discriminante pour faire ressortir de façon satisfaisante les polluants d'intérêt sanitaire.

- Pour les expositions aiguës, on calcule le rapport de la concentration sur la VTR aiguë (valeur seuil);
- Pour les risques chroniques non cancérigènes, on calcule le rapport de la concentration sur la VTR (valeur seuil),
- Pour les risques chroniques cancérigènes, on calcule le produit de la concentration et de la VTR (qui est en règle générale un ERU).

Les scores obtenus par ces calculs ne signifient rien en termes de risque, puisque les concentrations utilisées ne sont pas pondérées par des durées d'exposition adaptées. Cependant, la similitude des modalités de calcul avec celles de l'EQRS, permet d'utiliser leur valeur relative pour hiérarchiser les polluants par type d'exposition (aiguë ou chronique) et nature du danger potentiel (cancérigène, non cancérigène). Ces résultats sont donc à interpréter comme des scores et ne doivent pas faire l'objet d'une autre utilisation que celle prévue ici.

5.2.1.2.2 Sélection finale

Après classification des polluants, ceux *a priori* pertinents pour l'élaboration de valeurs cibles sont sélectionnés.

Cette sélection finale s'opère selon les critères suivants retenus par le GT :

- critère d'ordre 1 : Plausibilité de la survenue de l'effet : plus le score est élevé et plus l'effet est plausible. Par ailleurs, pour les risques aigus et les risques chroniques non cancérigènes l'effet est plausible pour un score supérieur à 1, pour les risques chroniques cancérigènes, le GT a considéré 10^{-5} comme étant le seuil de sélection[23].
- critère d'ordre 2 : Gravité de l'effet.
- critère d'ordre 3 : L'effet a été observé chez l'homme ou chez l'animal.

5.2.2 Mise en œuvre

5.2.2.1 Phase n°1

La base de données HSDB[24] est consultée afin de collecter les données relatives :

---

[22] Notamment dans le contexte des EQRS liées aux activités des installations industrielles

[23] La valeur de 10^{-5} est une valeur repère utilisée en évaluation des risques cancérogènes

[24] http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

- à la stabilité des composés chimiques inventoriés. Les substances dont les temps de ½ vie dans l'air sont inférieurs à l'heure sont supprimées car elles ne sont pas susceptibles de conduire à des expositions des usagers et travailleurs des parcs de stationnement couverts. Il s'avère que ce critère d'exclusion ne permet d'écarter aucune substance ;
- à la plausibilité d'une exposition par inhalation et à la toxicité pour la santé humaine des composés recensés.

Les VTR disponibles pour des expositions aiguës et chroniques par inhalation sont recherchées dans les bases de données toxicologiques internationales (US-EPA/IRIS, ATSDR, OMS, RIVM, Santé Canada et OEHHA). A ce stade des travaux, seules les valeurs numériques existantes sont répertoriées.

Les classifications des cancérogènes du CIRC et de l'Union Européenne sont également consultées.

La présentation synthétique de l'existence de dangers par inhalation et les résultats du recensement des VTR pour cette voie d'exposition sont fournis en **Annexe 9**.

5.2.2.2 Phase n°2

Pour l'ensemble des polluants issus de la phase n°1 (**38 substances** ; cf. liste dans le Tableau 25), le travail de collecte des VTR (voie inhalation) est approfondi. Les bases de données toxicologiques internationales citées ci-dessus sont consultées plus en détail. Elles sont référencées dans la bibliographie.

L'ensemble des VTR collectées (RfC, MRL, VG, REL, TCA ou CAA exprimées en $\mu g/m^3$ s'agissant des effets à seuil – ERU exprimés en $[\mu g/m^3]^{-1}$ pour une exposition vie entière s'agissant des effets sans seuil) est présenté sous la forme de tableaux en **Annexe 10** où figurent par ailleurs :

- le nom de la substance et son numéro d'identification du « Chemical Abstract Service » (CASRN) ;
- l'effet critique observé[25] (pour les substances non cancérogènes) ou la localisation du site tumoral (pour les substances cancérogènes) ;
- l'origine des études ayant permis de dériver les VTR (données humaines ou animales) ;
- le facteur d'incertitude pris en compte pour dériver la VTR ;
- la source d'information (EPA, ATSDR, OMS…) et l'année de l'évaluation ou de la dernière révision.

Pour les polluants "classiques" (NO_2, PM_{10} et $PM_{2,5}$), il n'existe pas de valeur toxicologique de référence à proprement parler[26]. En effet les recommandations de l'OMS ne sont pas à considérer comme correspondant à un risque acceptable mais comme à un niveau correspondant à une amélioration de la situation actuelle. Pour autant il existe un large corpus de connaissances épidémiologiques sur les effets de ces composés, y compris en terme de lien quantitatif entre les concentrations ambiantes et les risques associés pour différents effets. Nous avons donc calculé des excès de risque unitaire à partir de ces observations épidémiologiques (cf **Annexe 11**).

A ce stade et pour l'exercice de classification, il n'a pas été procédé à une expertise des valeurs toxicologiques de référence et la plus pénalisante a été retenue pour chaque substance.

---

[25] L'indication d'effet donnée ici reste générique

[26] Sauf NO_2 aiguë (1h)

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Concernant les concentrations en polluant prises en compte dans les calculs de scores, il s'agit de concentrations maximales pour les expositions aiguës et subaiguës (sur les durées pertinentes), et de concentrations moyennes pour les expositions chroniques, relevées à l'occasion des campagnes de mesure réalisées.

5.2.3 Résultats

5.2.3.1 Résultat intermédiaire à l'issue de la phase n°1

Les substances répondant simultanément aux critères de sélection présentés (stabilité chimique, exposition et effets par inhalation, existence de VTR) sont retenues et constituent une liste restreinte de **38 substances**. Cette liste est présentée dans le Tableau 25.

Tableau 25 : Potentiels polluants d'intérêt sanitaire dans le cadre d'une exposition par inhalation lors de la fréquentation d'un parc de stationnement couvert

Substance	N°CAS	Substance	N°CAS
NO2	**10102-44-0**	Benzo(a)anthracène	**56-55-3**
CO	**630-08-0**	Chrysène	**218-01-9**
PM10	sans objet	Benzo(b)fluoranthène	**205-99-2**
PM2.5	sans objet	Benzo(k)fluoranthène	**207-08-9**
Benzène	**71-43-2**	Benzo(a)pyrène	**50-32-8**
Toluène	**108-88-3**	Dibenzo(a,h)antracène	**53-70-3**
Ethylbenzène	**100-41-4**	Benzo(g,h,i)pérylène	**191-24-2**
Xylènes	**1330-20-7**	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	**193-39-5**
1,3-butadiène	**106-99-0**	Fluorène	**86-73-7**
Formaldéhyde	**50-00-0**	Arsenic	**7440-38-2**
Acétaldéhyde	**75-07-0**	Baryum	**7440-39-3**
Acroléine	**107-02-8**	Cadmium	**7440-43-9**
Napthalène	**91-20-3**	Chrome	**7440-47-3**
Acénaphtylène	**208-96-8**	Cobalt	**7440-48-4**
Acénaphtène	**83-32-9**	Cuivre	**7440-50-8**
Phénantrène	**85-01-8**	Mercure	**7439-97-6**
Anthracène	**120-12-7**	Manganèse	**7439-96-5**
Fluoranthène	**206-44-0**	Nickel	**7440-02-0**
Pyrène	**129-00-0**	Plomb	**7439-92-1**

Remarque relative aux particules Diesel :

Les $PM_{2,5}$ constituent un indicateur plus pertinent que les particules diesel, prises en compte de façon générique et pour lesquelles une VTR de l'US-EPA existe. Celle-ci a été jugée moins solide scientifiquement que les fonctions exposition-risque associées aux $PM_{2,5}$.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

5.2.3.2 Résultat de la classification

La classification des substances via le calcul de scores s'est faite en utilisant les résultats de mesure de la campagne menée dans le Parc 2 essentiellement pour des raisons liées aux calendriers de réalisation des campagnes et d'avancée des travaux du groupe. L'utilisation de ces résultats s'avère par ailleurs pertinente car ce parc est le plus important parmi ceux investigués (en termes de volume et de fréquentation).

Il est à noter cependant que le calcul de scores a, par la suite, été réalisé pour l'ensemble des parkings couverts investigués de façon à réaliser une analyse comparative des résultats de classement. Cela est abordé au paragraphe *5.2.3.3* suivant.

Les tableaux suivants présentent les scores ainsi obtenus pour les différents types d'exposition (aiguë et chronique) et de risque considérés (substances à seuil et sans seuil). L'**Annexe 12** présente dans le détail les éléments relatifs aux calculs de ces scores.

Tableau 26 : Classification des substances pour une exposition aiguë par inhalation

Substance	n° CAS	Score	Rang
CO	630-08-0	2,50E+00	1
NO_2	10102-44-0	2,32E+00	2
Benzène	71-43-2	1,38E+00	3
Toluène	108-88-3	6,42E-01	4
Formaldéhyde	50-00-0	4,47E-01	5
Xylènes	1330-20-7	1,48E-02	6

Tableau 27 : Classification des substances à seuil d'effet pour une exposition chronique par inhalation

Substance	n° CAS	Score	Rang
Formaldéhyde	50-00-0	4,67E+00	1
Benzène	71-43-2	2,68E+00	2
Acétaldéhyde	75-07-0	1,08E+00	3
Xylènes	1330-20-7	8,80E-01	4
Naphtalène	91-20-3	8,33E-01	5
Toluène	108-88-3	4,23E-01	6
Nickel	7440-02-0	3,44E-01	7
Cadmium	7440-43-9	1,00E-01	8
Plomb	7439-92-1	6,40E-02	9
Ethylbenzène	100-41-4	2,86E-02	10
Mercure	7439-97-6	(<LD)	-

Remarque : concernant le mercure, les résultats obtenus sont restés inférieurs à la limite de détection (de l'ordre de 1 $\mu g/m^3$). On ne peut statuer définitivement sur cette substance.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 28 : Classification des substances sans seuil d'effet pour une exposition chronique par inhalation

Substance	n° CAS	Score	Rang
$PM_{2,5}$	-	3,42E-01	1
PM_{10}	-	2,40E-01	2
NO_2	10102-44-0	2,06E-01	3
Benzène	71-43-2	7,54E-04	4
Benzo(a)pyrène	50-32-8	2,09E-04	5
Formaldéhyde	50-00-0	1,82E-04	6
Naphtalène	91-20-3	8,50E-05	7
Acétaldéhyde	75-07-0	2,62E-05	8
Cadmium	7440-43-9	4,90E-06	9
Nickel	7440-02-0	2,36E-06	10
Benzo(b)fluoranthène	205-99-2	2,20E-07	11
Dibenzo(a,h)anthracène	53-70-3	2,20E-07	12
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	193-39-5	2,09E-07	13
Benzo(k)fluranthène	207-08-9	9,46E-08	14
Benzo(g,h,i)pérylène	191-24-2	4,95E-08	15
Phénantrène	85-01-8	3,63E-08	16
Chrysène	218-01-9	3,52E-08	17
Anthracène	120-12-7	1,98E-08	18
Pyrène	129-00-0	1,54E-08	19
Fluoranthène	206-44-0	1,32E-08	20
Benzo(a)anthracène	56-55-3	(<LD)	21

5.2.3.3 Résultat final

Suite aux classifications effectuées, le GT a procédé à la sélection des substances candidates à l'élaboration d'une valeur cible.

On rappelle ici les critères de choix retenus :

- critère d'ordre 1 : Plausibilité de la survenue de l'effet : plus le score est élevé et plus l'effet est plausible. Par ailleurs, pour les risques aigus et les risques chroniques non cancérigènes l'effet est plausible pour un score supérieur à 1, pour les risques chroniques cancérigènes, le GT a considéré que l'effet était plausible pour un score supérieur à 10^{-5}.
- critère d'ordre 2 : Gravité de l'effet.
- critère d'ordre 3 : L'effet a été observé chez l'homme.

Le Tableau 29 qui suit présente les substances d'intérêt retenues in fine par type d'exposition et de risque. L'**Annexe 13** présente la procédure de sélection opérée par le GT.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 29 : Substances retenues pour l'élaboration de valeurs cibles

Substance	Exposition aiguë par inhalation	Exposition chronique par inhalation, avec seuil d'effet	Exposition chronique par inhalation, sans seuil d'effet
Monoxyde de carbone	**X***		
Dioxyde d'azote	**X****		**X**
Benzène		**X**	**X**
Formaldéhyde		**X**	
Benzo(a)pyrène			**X**
Acétaldéhyde		**X**	**X**
Xylènes		**X**	
Naphtalène		**X**	**X**
Particules fines (PM_{10} et $PM_{2,5}$)			**X**

* sur toutes les durées
** sur une 1 heure

A ce stade, une analyse comparative des tables de scores obtenues à partir des résultats de mesures effectuées dans les trois autres parkings couverts investigués est réalisée afin de déterminer si ces nouvelles classifications viennent confirmer ou non les précédentes établies (à partir des résultats de mesure dans le Parc 2), et si elles induisent la prise en compte de substances supplémentaires au vu des critères de choix retenus ici. L'ensemble des tables de scores est présenté en **Annexe 12**.

Cette analyse est résumée dans le Tableau 30.

Tableau 30 : Résultat de l'analyse comparative des différentes tables de scores

	Classement des substances pour une exposition aiguë	Classement des substances à seuil pour une exposition chronique	Classement des substances sans seuil pour une exposition chronique
Parc 1	Les trois premières substances sont les mêmes. La plausibilité de l'effet n'est avérée que pour le NO_2. **Pas de substance supplémentaire à considérer.**	Les cinq premières substances sont les mêmes. La plausibilité de l'effet n'est avérée que pour le formaldéhyde. **Pas de substance supplémentaire à considérer.**	Les huit premières substances sont identiques à celles retenues. **Pas de substance supplémentaire à considérer.**
Parc 3	Le toluène présente un score max. de 1,77. **Le toluène serait à considérer en supplément.**	Les cinq premières substances sont les mêmes. En sixième position, on retrouve le toluène avec un score de 1,22. **Le toluène serait à considérer en supplément.**	Les huit premières substances sont identiques à celles retenues. **Pas de substance supplémentaire à considérer.**

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Parc 4	Les scores les plus élevés correspondent au CO et au NO_2. **Pas de substance supplémentaire à considérer.**	Les cinq premières substances sont les mêmes. **Pas de substance supplémentaire à considérer.**	Les huit premières substances sont identiques à celles retenues. **Pas de substance supplémentaire à considérer.**

Il ressort donc de l'analyse menée que le toluène serait à retenir également pour l'élaboration de valeurs cibles (exposition aigüe et exposition chronique avec seuil d'effet), en lien avec les scores calculés pour le Parc 3. Il est à noter cependant la présence d'une station service avec 2 pompes de distribution au sein du Parc 3. Cette activité particulière pourrait être à l'origine des concentrations en toluène mesurées, supérieures à celles retrouvées dans les autres parcs. Une situation particulière de cette nature ne peut être traitée dans cette expertise qui vise les parkings couverts en général.

Enfin, l'arsenic, faute de mesure valide au cours de la campagne de mesure menée dans le Parc 2, n'avait pu être pris en compte dans la classification. Au regard de la classification de cette substance pour les trois autres parkings couverts et des critères de sélection établis, cette substance n'est pas à retenir pour l'élaboration de valeurs cibles.

5.2.4 Discussion

5.2.4.1 Cas des polluants ne disposant pas de VTR

Le premier niveau de sélection des substances pose en particulier comme critère de choix que les substances doivent disposer de valeurs toxicologiques de référence pour l'inhalation aiguë et/ou chronique, condition *sine qua non* à l'élaboration de valeurs cibles.

Or, si une substance ne dispose pas de valeur toxicologique de référence (ce qui est le cas pour **220 substances** parmi celles inventoriées), cela ne signifie pas pour autant que cette substance n'est pas dangereuse pour la santé. Ce point ici identifié constitue une première limite à l'exercice mené, mais à laquelle il n'y a pas de réponse actuellement. Comme d'autres travaux, la démarche appliquée ici s'inscrit dans un processus continu d'amélioration et d'acquisition de connaissances relatives à la multitude de substances existantes.

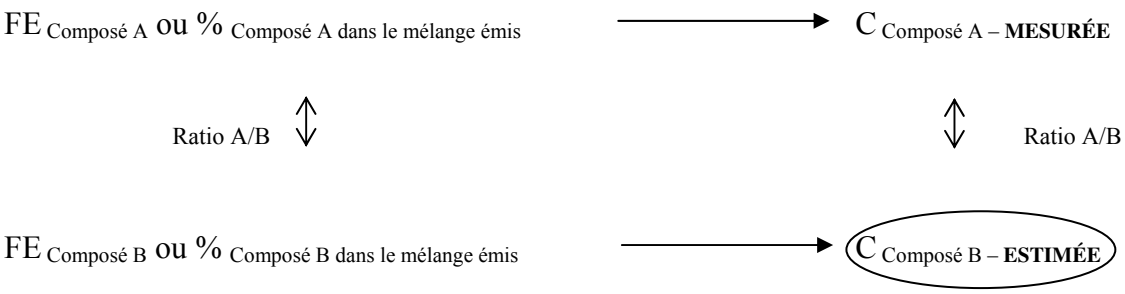
5.2.4.2 Cas des polluants non mesurés dans le cadre de ces travaux

Certains polluants figurant dans la liste des polluants d'intérêt n'ont pas fait l'objet de mesure. Il s'agit de l'acroléine et du 1,3-butadiène (famille des COV), de l'acénaphtène, de l'acénaphtylène et du fluorène (famille des HAP), du chrome, du cobalt, du cuivre, du manganèse et du baryum (famille des métaux). Pour ces polluants-là, on applique une démarche alternative pour estimer les concentrations attendues dans les parkings souterrains et les comparer aux valeurs toxicologiques de référence. Cela permet d'examiner si le fait de ne pas les avoir mesurés, constitue ou non une incertitude majeure de la démarche. Si au regard de la concentration « estimée » et de sa toxicité, un polluant est potentiellement problématique, une recommandation d'investigations complémentaires sera formulée. Dans le cas contraire où les polluants non mesurés apparaissent moins préoccupants que ceux qui le sont, il ne sera alors pas opportun de préconiser de mesures complémentaires.

Dans la mesure où l'on dispose d'un jeu de données de concentrations dans l'air pour une large gamme de composés mesurés dans plusieurs parkings couverts parisiens, on propose d'examiner les corrélations existant entre les émissions des substances. Ainsi, sous l'hypothèse que les polluants,

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

une fois émis dans l'air, ont un comportement diffusif identique (absence de réaction chimique), on peut estimer la concentration d'une substance B non mesurée, à partir de la concentration d'un autre composé A mesuré et connaissant la proportion à l'émission entre A et B. Autrement dit **le ratio des quantités A/B à l'émission est considéré semblable à ce même ratio dans l'air ambiant du parking.**



Légende : FE = Facteur d'émission ; C = concentration

Pour l'identification des proportions à l'émission, on se base, d'une part sur les facteurs d'émission unitaires ou les profils à l'émission proposés par la méthode COPERT, et d'autre part sur les données de la littérature scientifique.

La mise en œuvre de cette démarche est présentée en **Annexe 14**. Au vu des hiérarchisations conduites pour les polluants non mesurés lors des campagnes menées, il apparaît que des substances comme **l'acroléine, le 1,3-butadiène et le manganèse** qui sont classées parmi les premières substances dans les hiérarchisations obtenues doivent faire l'objet de recommandations de travaux complémentaires par le GT.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

6 Construction des Valeurs Cibles de concentrations atmosphériques en polluants dans les parcs de stationnement couverts

6.1 Méthode

6.1.1 Principe

Les Valeurs de Gestion (VG) de concentrations atmosphériques en polluants dans les parcs de stationnement couverts sont des concentrations dont le respect permet (au regard des connaissances actuelles) de limiter (à un niveau fixé explicitement) le risque d'apparition d'effet sanitaire néfaste lié à la fréquentation du parking par un usager et un professionnel. Le polluant faisant l'objet d'une proposition de VG n'est pas forcément toxique lui même (si on prend un indicateur de pollution) mais sa concentration est corrélée à des polluants toxiques également présents mais difficilement mesurables en routine. Ces derniers (les polluants toxiques) font l'objet de valeurs cibles (VC) de concentrations atmosphériques en polluants dans les parcs de stationnement couverts, dont le respect permet de ne pas dépasser un niveau de risque à assumer.

Les VC concernent des polluants mesurés dans l'atmosphère des parkings couverts et présentant un danger par inhalation. Elles sont établies pour les polluants les plus préoccupants au vu des teneurs mesurées et de leur toxicité[27]. Une VC est donc un niveau de concentration à ne pas dépasser pour limiter le risque. Elle est calculée par la démarche désormais classique d'évaluation des risques sanitaires (National Research Council, 1983). Son respect est assuré par le respect de la VG.

L'objectif est la réduction des risques liés aux expositions aiguës et chroniques à des polluants avec ou sans seuil d'effet.

Les VC sont fonction de VTR, de durée d'exposition, et de risque accepté.

La construction de VC suppose ainsi :

- Des scénarios d'exposition : usager et professionnel, avec les durées d'exposition correspondantes ;
- Des valeurs toxicologiques de référence (VTR) par inhalation (relations concentration-risque pour les effets sans seuil, concentrations atmosphériques admissibles pour les effets à seuil) pour les expositions aiguës et chroniques ;
- Un (ou plusieurs) niveau(x) de risque acceptable pour les usagers et les professionnels ;
- Les niveaux d'exposition dans les autres microenvironnements fréquentés par les personnes.

On peut remarquer que la VC ne dépend pas des concentrations présentes, il ne s'agit pas en effet de réaliser une évaluation des risques sanitaires (dans laquelle le risque est estimé en fonction des

[27] Certains polluants potentiellement présents dans un parc de stationnement couvert et présentant un danger par inhalation ne peuvent faire l'objet d'une VC à cause d'un manque d'information sur leur toxicité (absence de valeur toxicologique de référence) ou leur concentration (difficulté de mesure et limite de la modélisation, faute de données adéquates dès lors que l'on sort du champ des polluants classiques). Ces polluants font l'objet de recommandations de travaux complémentaires au vu de leur intérêt potentiel (quantité émise et toxicités relatives).

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

concentrations dans les milieux), mais de se servir de cette démarche pour fixer des critères de qualité de l'air (concentration atmosphérique estimée en fonction du risque choisi).

Les concentrations mesurées servent à :

1/ classer les polluants et permettre ainsi au GT de choisir les polluants devant faire l'objet d'une valeur cible ;

2/ établir la corrélation entre l'indicateur faisant l'objet d'une VG et les polluants faisant l'objet d'une VC.

Remarque sur les valeurs limites en milieu professionnel (VLEP) :

Le GT n'a pas considéré les valeurs d'exposition professionnelle pour l'élaboration des valeurs cibles.

En effet, les valeurs d'exposition professionnelle sont avant tout des valeurs de gestion et non d'évaluation. Contrairement aux VTR, elles intègrent d'autres critères que la protection de la santé, en particulier des critères techniques, sociaux, économiques, voire psychologiques (INRS, 2005).

Par ailleurs, à l'heure actuelle, peu de valeurs d'exposition professionnelles sont réglementaires. Par exemple, pour le monoxyde de carbone et le dioxyde d'azote, les valeurs d'exposition professionnelles répertoriées ne sont pas des valeurs réglementaires mais des valeurs inscrites dans des circulaires ministérielles ; circulaire du 5 mars 1985 pour le monoxyde de carbone et circulaire du 19 juillet 1982 pour le dioxyde d'azote. Pour ce dernier la VLEP est de 6000 µg/m^3 sur 15 minutes alors que la recommandation de l'OMS est de 200 µg/m^3 sur une heure.

6.1.2 Calcul pour les polluants avec seuil d'effet

Ce type d'effets peut concerner les expositions aiguës et chroniques. En évaluation des risques sanitaires on calcule un indicateur de risque, le QD ou Quotient de danger qui exprime la possibilité d'un évènement sanitaire néfaste (si QD > 1).

QD = Cm/CAA

Avec :
- CAA : concentration atmosphérique admissible (VTR) sur la durée d'exposition
- Cm : concentration d'exposition moyennée sur cette même durée

Soit, comme Cm = F.Cp + Ca.(1-F),

Avec :
- Cp : Concentration dans le parc de stationnement couvert
- Ca, concentration ambiante moyenne dans les autres environnements
- F la fraction de temps d'exposition dans le parking, sur la durée pour laquelle est exprimée la valeur toxicologique de référence

Alors, pour QD = 1, VC = Cp et donc :

$$VC = \frac{CAA - Ca(1-F)}{F}$$

Si la durée pour laquelle est établie la valeur toxicologique de référence est inférieure ou égale à la durée d'exposition à l'air du parc de stationnement couvert, Cm est la concentration dans le parking, moyennée sur cette durée.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Si au contraire la durée pour laquelle est établie la valeur toxicologique de référence est supérieure à la durée d'exposition à l'air du parc de stationnement couvert, la concentration dans les autres microenvironnements est à renseigner (en recherchant dans la bibliographie les concentrations ambiantes intérieures et extérieures).

6.1.3 Calcul pour les polluants sans seuil d'effet

Ce type d'effets concerne surtout les expositions chroniques et répétées, même si des études rapportent un risque accru, sans seuil apparent, pour des expositions aigues aux particules et autres indicateurs de pollution atmosphérique (Peters et al., 2001, Peters et al., 2004).

Pour les effets sans seuil, on calcule classiquement un excès de risque pour un individu exposé (ERI = Excès de Risque Individuel).

ERI = Cp x ERU x F/Tp

Avec :

- Cp : Concentration (moyennée sur la durée d'exposition) dans le parc de stationnement couvert ;
- F la fraction de temps d'exposition dans le parking, sur 70 ans ;
- ERU= Excès de Risque Unitaire (valeur toxicologique de référence sans seuil) ;
- Tp = temps de pondération (conventionnellement 70 ans pour les ERU, qui sont exprimés pour cette durée d'exposition).

Pour ce type d'effet la relation dose réponse est considérée comme linéaire ; de ce fait l'excès de risque attribuable au parc de stationnement couvert est indépendant des niveaux de polluants rencontrés dans les autres environnements fréquentés.

6.2 Choix des valeurs toxicologiques de référence

Comme déjà évoqué, les indicateurs "classiques" de pollution atmosphérique urbaine (NO_2, PM_{10} et $PM_{2,5}$) n'ont pas de valeur toxicologique de référence[28] bien qu'il existe un large corpus de connaissances épidémiologiques sur les effets de ces composés, y compris en terme de lien quantitatif entre les concentrations ambiantes et les risques associés pour différents effets. En effet les recommandations de l'OMS ne sont pas à considérer comme correspondant à un risque acceptable mais comme à un niveau correspondant à une amélioration de la situation actuelle (OMS, 2000 ; OMS, 2006), sauf pour le CO (sur 15 min, 30 min, 1h et 8h) et le NO_2 (sur 1h). Pour ces polluants, faute de pouvoir se fonder sur des augmentations absolues de risque, nous calculerons (cf. chapitre correspondant) une VC en fonction de différentes augmentations relatives de risque.

Pour les autres polluants retenus pour l'établissement de VC, la valeur toxicologique de référence la plus appropriée a été choisie par expertise toxicologique (cf. **Annexe 15**) sur la base des critères classiques suivants :

1er groupe de critères : méthodologie et scénarios d'exposition plausibles

- Adéquation des fréquences d'exposition entre les données sources et les scénarios humains retenus : le choix de VTR présentant un NOAEL/LOAEL ou BMDL ajusté (noté « ADJ ») sera privilégié, dans la mesure du possible, étant donné que les valeurs guides « parcs de

[28] Sauf NO_2 aiguë (1h) (OMS, 2000)

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

stationnement couverts » qui seront proposées tiennent compte des expositions dans les autres microenvironnements ;

- Adéquation des données toxicologiques permettant d'élaborer la VTR et des données d'exposition déterminées spécifiquement dans le cadre de l'évaluation des risques (durée d'exposition, voie d'exposition, etc.) ;
- Explication claire et transparente de la méthode appliquée pour établir la VTR et indication des résultats obtenus (mode de calcul et hypothèses explicites) ;

2ème groupe de critères : données sources utilisées

- Privilégier les données humaines aux données animales, si elles sont de qualité correcte et si les expositions sont suffisamment caractérisées ;
- Regarder la date de construction de la VTR et la date de publication de l'étude qui a été exploitée pour sa construction. Il est préférable, dans la mesure du possible, de retenir les VTR et les études critiques les plus récentes.

Enfin, si tous ces critères sont sensiblement égaux (et seulement dans ce cas), on retient la valeur numérique la plus conservatoire pour la santé.

Tableau 31 : Tableau récapitulatif des valeurs toxicologiques de référence retenues pour les expositions chroniques

Polluant	Effet critique	Nature de l'effet	Valeur toxicologique de référence (source)
Acétaldéhyde	dégénérescence de l'épithélium olfactif (chez le rat)	A seuil	9 µg/m^3 (US EPA, OEHHA)
	tumeurs nasales (chez le rat)	Sans seuil	5,8.10^{-7} (µg/m^3)$^{-1}$ (Santé Canada)
Benzène	diminution du nombre de lymphocytes (chez l'homme)	A seuil	9,7 µg/m^3 (ATSDR)
	leucémie (chez l'homme)	Sans seuil	7,8.10^{-6} (µg/m^3)$^{-1}$ (OMS, US EPA)
Benzo(a)pyrène	tumeurs des voies respiratoires (chez le hamster)	Sans seuil	1,1.10^{-3} (µg/m^3)$^{-1}$ (OEHHA)
Formaldéhyde	irritations oculaire et nasale, obstruction nasale, métaplasie squameuse et dysplasie nasales (chez l'homme)	A seuil	3 µg/m^3 (OEHHA)
	carcinomes des cellules squameuses de la cavité nasale (chez le rat)	Sans seuil	6.10^{-6} (µg/m^3)$^{-1}$ (OEHHA)
Napthalène	lésions non néoplasiques de l'épithélium olfactif et de l'épithélium nasal respiratoire (chez le rat)	A seuil	3 µg/m^3 (ATSDR)
	adénomes de l'épithélium respiratoire nasal et neuroblastomes de l'épithélium olfactif (chez le rat)	Sans seuil	3,4.10^{-5} (µg/m^3)$^{-1}$ (OEHHA)
Xylènes	toxicité fœtale (retards d'ossification) (chez le rat et le lapin)	A seuil	180 µg/m^3 (Santé Canada)

Par cohérence avec le travail en cours à l'Afsset sur la toxicité du formaldéhyde (cf avis du CES « Substances chimiques » de l'agence relatif à l'analyse des données toxicologiques disponibles du

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

formaldéhyde, adopté le 1er décembre 2006), il a été décidé de ne pas retenir de valeur toxicologique de référence sans seuil pour ce polluant.

6.3 Scénarios d'exposition

En l'absence d'étude d'observation des expositions dans les parcs de stationnement couverts, nous avons utilisé les scénarios suivants :

- Scénario « travailleur » : une fréquentation de parking de 8 heures/jours, 5 jours/semaine, 10 mois/12 pendant 40 ans, ce qui correspond à une proportion annuelle de temps d'exposition dans le parking de 20% environ.
- Scénario « usager » : une fréquentation de parking de 2 x 15 minutes par jour, 5 jours/semaine, 10 mois/12 pendant 40 ans, ce qui correspond à une proportion annuelle de temps d'exposition dans le parking de 1 % environ. Ce scénario est plausible mais pénalisant puisqu'il correspond à une fréquentation régulière durable.

6.4 Expositions dans les autres micro-environnements

Les valeurs toxicologiques de référence étant exprimées pour une exposition continue (même si dans l'étude source, l'exposition est parfois intermittente), nous devons exprimer les expositions chroniques de manière continue, en tenant donc compte des expositions à l'extérieur des parcs de stationnement couverts. Nous avons, pour simplifier, considéré qu'à l'extérieur des parcs de stationnement couverts les individus étaient exposés aux niveaux observés à l'intérieur des logements, négligeant ainsi le temps passé dehors ou dans les transports. Pour les particules, nous avons estimé la concentration dans les logements en PM d'origine automobile (celles qui nous intéressent ici) égale à la concentration extérieure. En effet les données de la qualité de l'air ambiant extérieur qui caractérisent mieux les sources d'émission correspondant aux parcs de stationnement couverts.

Nous avons retenu les valeurs suivantes, à partir du bilan présenté en **Annexe 17**.

Tableau 32 : Concentrations choisies par le GT pour représenter l'exposition liée au temps passé en dehors des parkings couverts

Polluant	Concentration moyenne représentative de la concentration d'exposition	Source
CO	0,5 (mg/m^3)	Médiane 8h. Campagne « Logements 2003-2005 » OQAI
NO_2	27 (µg/m^3)	Etude APPA « Sentinelles de l'air » (Schadkovski, 2005)
PM_{10}	23 (µg/m^3)	Évolution de la qualité de l'air en France, bilan réalisé par le MEDD (www.ecologie.gouv.fr)
$PM_{2.5}$	16 (µg/m^3)	Évolution de la qualité de l'air en France, bilan réalisé par le MEDD (www.ecologie.gouv.fr)
Acétaldéhyde	12 (µg/m^3)	Campagne « Logements 2003-2005 » OQAI
Benzène	2 (µg/m^3)	Campagne « Logements 2003-2005 » OQAI
Benzo(a)pyrène	0,7 (ng/m^3)	Données américaines à défaut de valeurs françaises (Wilson, 1991)
Formaldéhyde	20 (µg/m^3)	Campagne « Logements 2003-2005 » OQAI
Naphtalène	4 (µg/m^3)	Etude APPA « Sentinelles de l'air » (Schadkovski, 2005)
Xylènes	5 (µg/m^3)	Évolution de la qualité de l'air en France, bilan réalisé par le MEDD (www.ecologie.gouv.fr)

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

6.5 Surcroît d'exposition et de risque et calculs associés

Pour les effets sans seuil, en l'absence de risque acceptable issu d'un débat social ou politique, nous proposons d'exprimer les VC en fonction de niveaux de risque (ERI) acceptables de 10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4} …par analogie avec certains processus de fixation de concentrations maximales admissibles dans les milieux (OMS 2004). Le principe est d'associer, grâce à une relation exposition risque (ou dose réponse), l'exposition au risque correspondant. En pratique on calcule l'exposition correspondant à un excès de risque attribuable à la fréquentation du parc de stationnement couvert.

Si on note :

- Cp la concentration dans le parc ;
- F la fraction de temps d'exposition (sur Tp = 70 ans) dans le parc de stationnement couvert.

Alors : $ERI = Cp \times ERU \times F$ soit $VC = ERI_{acceptable} / (ERU \times F)$

Exemple illustratif :

Pour le benzène, le respect d'un niveau de risque (ERI) acceptable de 10^{-5} pour un travailleur (8 h/j, 5 j/sem, 10 mois/12 pendant 40 ans) correspond à une Valeur Cible à respecter dans le parking de :

$$VC = \frac{10^{-5}}{7{,}8.10^{-6} \times \left(\frac{8}{24} \times \frac{5}{7} \times \frac{10}{12} \times \frac{40}{70} \right)} = 11$$

Cela signifie que pour le benzène le niveau d'excès de risque de 10^{-5} pour les professionnels correspond à une fréquentation d'un parking avec une concentration en benzène de 11 µg/m^3. Autrement dit, pour ne pas dépasser ce niveau de risque, on doit donc fixer une VC de 11 µg/m^3.

Cette approche n'est réalisable que lorsque des excès de risque "acceptables" sont atteignables. Ce n'est pas le cas pour les indicateurs de qualité d'air classiques (NO_2, PM) puisque les niveaux de pollution atmosphérique urbaine sont déjà à l'origine de risques dépassant les repères classiques d'acceptabilité. Ainsi, une étude a montré aux Etats-Unis que les zones ayant des niveaux ambiants de 35 µg/m^3 de $PM_{2,5}$ présentaient une mortalité associée supérieure de 15% comparativement à des zones présentant une concentration ambiante de 10 µg/m^3 (Pope et al., 2002).

La situation est différente (il s'agit d'un effet considéré à seuil) mais comparable pour le formaldéhyde, dont la concentration dans les logements est supérieure à la valeur toxicologique de référence ; on exprimera également les VC en fonction de plusieurs augmentations relatives de l'exposition.

Nous proposons alors d'exprimer les VC en fonction d'augmentations du risque (donc de l'exposition) journalier lié à la pollution atmosphérique.

Si on note :

- *Ca* la concentration ambiante moyenne ;
- *Cp* la concentration dans le parc de stationnement couvert ;
- *F* la fraction de temps d'exposition dans le parc de stationnement couvert ;
- *p* l'augmentation relative de risque (d'exposition) liée à la fréquentation du parc de stationnement couvert ;

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

$$p = \frac{Exposition_usager_parc_-_Exposition_non_usager}{Exposition_non_usager}$$

$$\text{Alors} \quad p = \frac{Ca(1-F)+F.Cp}{Ca} - 1$$

$$\text{D'où} \quad Cp = \frac{Ca}{F}(p+F)$$

Ainsi la concentration (à respecter) dans le parking est exprimable en fonction de la concentration ambiante, de la fraction de temps passée dans le parking et de l'augmentation relative du risque à consentir.

Exemple illustratif :

Pour les PM_{10}, le niveau dans les logements est de 23 µg/m^3. Si l'on souhaite que la fréquentation des parkings couverts par un travailleur n'occasionne pas une augmentation de plus de 10% de l'exposition journalière (des effets sont associés à une exposition journalière), il ne faut pas que la concentration dans le parking excède 30 µg/m^3 (sur 8 heures).

$$VCparking = \frac{23}{\left(\frac{8}{24}\right)} \times \left(0{,}1 + \left(\frac{8}{24}\right)\right) = 30 \text{ µg/m}^3$$

L'exposition moyennée est ici à considérer comme un repère pour guider la décision, et non comme le seul pas de temps pertinent. Ainsi la littérature rapporte des effets liés à des expositions chroniques (Pope et al., 2002), journalières et horaires (Peters et al., 2001) aux particules. L'adoption d'une VC pour l'exposition moyennée, combinée à l'adoption d'une VC pour le NO_2 sur 1h, conduira a réduire l'exposition sur tous les pas de temps, même pour ceux (cas des expositions aiguës au particules) pour lesquels on ne peut directement calculer de VC faute d'excès de risque robuste.

6.6 Résultats : Valeurs Cibles

Les tableaux 33, 35, 37 indiquent les VC calculées. Les tableaux 34, 36 et 38 indiquent les VC à retenir.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 33 : Valeurs cibles* calculées pour des expositions aiguës (<= 8 heures)

Polluant	Scénario	Durée (h) d'exposition continue	Durée (h) d'exposition de la VTR	CAA** (µg/m^3)	C ambiante moyenne (µg/m^3)	VC (µg/m^3)
NO_2	usager	0,25	1	200	27	
	professionnel	8	1	200	27	200
CO	usager	0,25	0,25	100000	467	100000
	professionnel	8	0,25	100000	467	100000
	usager	0,25	0,5	60000	467	240000
	professionnel	8	0,5	60000	467	60000
	usager	0,25	1	30000	467	-
	professionnel	8	1	30000	467	30000
	usager	0,25	8	10000	467	-
	professionnel	8	8	10000	467	10000

* des effets pour des expositions ≤ 8h sont documentés, notamment pour les PM, sans que n'existe de valeur toxicologique de référence permettant un calcul de valeur cible

** source : AQG (OMS)

Tableau 34 : Valeurs cibles à retenir pour les expositions aiguës

Polluant	Durée	VC (µg/m^3)	Population cible
NO_2	1h	200	travailleur
CO	15 min	100 000	travailleur et usager
	30 min	60 000	travailleur
	1h	30 000	travailleur
	8h	10 000	travailleur

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 35 : Valeurs cibles calculées pour les expositions chroniques aux polluants à seuil

Polluant	Scénario	Nb (h) exposition par jour	Nb j/s	Nb mois/an	Fraction de temps d'exposition*	Concentration ambiante moyenne (µg/m^3)	CAA (µg/m^3)	VC** (µg/m^3)
Benzène	usager	0,5	5	10	0,01	2	9,7E+00	6,2E+02
	professionnel	8	5	10	0,20	2	9,7E+00	4,1E+01
Acétaldéhyde	usager	0,5	5	10	0,01	12	9	-2,3E+02
	professionnel	8	5	10	0,20	12	9	-3,1E+00
Formaldéhyde	usager	0,5	5	10	0,01	20	3	-1,4E+03
	professionnel	8	5	10	0,20	20	3	-6,6E+01
Naphtalène	usager	0,5	5	10	0,01	4	3	-7,7E+01
	professionnel	8	5	10	0,20	4	3	-1,0E+00
Xylènes	usager	0,5	5	10	0,01	8	180	1,4E+04
	professionnel	8	5	10	0,20	8	180	8,7E+02

*sur 1 an, les effets pouvant survenir à partir d'un à sept ans d'exposition (soit moins que la durée minimale d'exposition considérée en analyse de sensibilité) selon la valeur toxicologique de référence

**le calcul peut mathématiquement aboutir à une VC négative si la concentration ambiante est supérieure à la concentration admissible

Lorsque la concentration ambiante est supérieure à la valeur toxicologique de référence pour un polluant à seuil d'effet, on ne peut calculer une valeur cible correspondant à une absence d'effet dans les parkings couverts, dans la mesure où l'absence d'effet n'est pas atteignable du fait des concentrations dans les autres environnements. Pour ces polluants (Acétaldéhyde, Formaldéhyde et Naphtalène) la concentration dans les parcs est du même ordre de grandeur que ce qui est observé dans les logements. Nous proposons pour ces polluants de raisonner différemment :

- Pour l'acétaldéhyde et le naphtalène : la valeur toxicologique de référence, la concentration dans les logements, la concentration dans les parkings couverts sont proches et correspondent à un excès de risque (pour les effets sans seuil, cf. partie suivante) inférieur ou égal à 10^{-5} pour les travailleurs et 10^{-6} pour les usagers. Nous proposons de retenir la valeur toxicologique de référence comme VC.
- Pour le formaldéhyde, la valeur toxicologique de référence est inférieure aux concentrations dans les logements et dans les parkings couverts (qui sont similaires). La valeur toxicologique de référence ne paraissant pas atteignable, nous proposons de raisonner en termes de surcroît d'exposition, comme pour les autres polluants (NO_2, Particules) pour lesquels une absence d'effet ou un excès de risque de 10^{-5} ou 10^{-6} n'est pas un objectif atteignable.

Tableau 36 : Valeurs cibles à retenir pour les expositions chroniques aux polluants à seuil

Polluant	VC (µg/m^3)	Durée	Population critique	Remarque
Benzène	41	8h	Professionnelle	
Acétaldéhyde	9	8h	Professionnelle	C ambiante supérieure à VTR
Formaldéhyde	-	8h	Professionnelle	C ambiante supérieure à VTR
Naphtalène	3	8h	Professionnelle	C ambiante supérieure à VTR
Xylènes	870	8h	Professionnelle	

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 37 : Valeurs cibles possibles pour les expositions chroniques aux polluants avec effet sans seuil

Polluant	Scénario	Nb (h) exposition par jour	Nb j/s	Nb mois/an	Nb années	Fraction de temps d'exposition*	ERU $(\mu g/m^3)^{-1}$ *	VC 10^{-6} ($\mu g/m^3$)	VC 10^{-5} ($\mu g/m^3$)
Benzène	usager	0,5	5	10	40	0,01	7,8E-06	1,8E+01	1,8E+02
	professionnel	8	5	10	40	0,11	7,8E-06	1,1E+00	1,1E+01
Acétaldéhyde	usager	0,5	5	10	40	0,01	5,8E-07	2,4E+02	2,4E+03
	professionnel	8	5	10	40	0,11	5,8E-07	1,5E+01	1,5E+02
Benzo(a)pyrène	usager	0,5	5	10	40	0,01	1,10E-03	1,3E-01	1,3E+00
	professionnel	8	5	10	40	0,11	1,10E-03	8,0E-03	8,0E-02
Naphtalène	usager	0,5	5	10	40	0,01	3,4E-05	4,2E+00	4,2E+01
	professionnel	8	5	10	40	0,11	3,4E-05	2,6E-01	2,6E+00

*sur 70 ans

Pour les effets sans seuil, l'exposition professionnelle est la plus critique (en raison de la durée), sauf à consentir un niveau de risque différent selon le type de population.

Pour le benzène le niveau de risque 10^{-5} pour les professionnels correspond à une VC de 10 $\mu g/m^3$ (11 arrondis), qui correspond à un niveau de risque inférieur à 10^{-6} pour les usagers. Cette VC est inférieure à celle précédemment calculée pour les effets à seuil.

Pour l'acétaldéhyde, le niveau de risque 10^{-5} pour les professionnels correspond à une VC de 150 $\mu g/m^3$, qui correspond à un niveau de risque inférieur à 10^{-6} pour les usagers. Compte tenu de l'existence d'une valeur toxicologique de référence "à seuil" de 9 $\mu g/m^3$ et d'une concentration moyenne dans les logements de 12 $\mu g/m^3$, nous proposons une VC de 9 $\mu g/m^3$.

Pour le benzo(a)pyrène, le niveau de risque 10^{-5} pour les professionnels correspond à une VC de 80 ng/m^3, qui correspond à un niveau de risque inférieur à 10^{-6} pour les usagers.

Pour le naphtalène, le niveau de risque 10^{-5} pour les professionnels correspond à une VC de 3 $\mu g/m^3$ (arrondis de 2,6), qui correspond à un niveau de risque inférieur à 10^{-6} pour les usagers, et à la valeur toxicologique de référence à seuil (3 $\mu g/m^3$). Cette valeur semble être du même ordre de grandeur que ce qui est couramment rencontré à l'intérieur des logements.

Pour les $PM_{2.5}$, les PM_{10} et le NO_2 le niveau de risque 10^{-5} n'est pas atteignable ni pour les usagers, ni *a fortiori* pour les professionnels, car très inférieur aux concentrations ambiantes urbaines. En effet, par exemple, une concentration en PM_{10} de 20 $\mu g/m^3$ correspond (concentration d'exposition * nb de jours/an* excès de risque unitaire journalier, cf. **Annexe 11**) à un excès de risque annuel de mortalité de 7.10^{-4} ($20\mu g/m^3$ x 365j/an x $9.10^{-8}(\mu g/m^3)^{-1}.j^{-1}$). Une concentration journalière en NO_2 de 30 $\mu g/m^3$ correspond à un excès de risque annuel d'hospitalisation pour motif cardiaque de 3.10^{-4} ($30\mu g/m^3$ x 365j/an x $3.10^{-8}(\mu g/m^3)^{-1}.j^{-1}$). Autrement dit, la pollution atmosphérique urbaine induit un niveau de risque supérieur aux niveaux de risque acceptables couramment utilisés en gestion des risques. C'est *a fortiori* le cas dans les parcs de stationnement couverts. C'est également le cas pour le formaldéhyde dont les concentrations dans les parcs et les logements sont supérieurs à la valeur toxicologique de référence (effets à seuil).

Si l'on souhaite raisonner en termes d'augmentation relative du risque, donc de l'exposition, le tableau suivant indique la correspondance entre surcroît consenti d'exposition et VC potentielle.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 38 : Valeurs cibles potentielles (µg/m^3) pour différents excès d'exposition moyenne

Polluant	Scénario	Nb (h) exposition par jour	Nb j/s	Nb années	Fraction de temps d'exposition*	Concentration ambiante moyenne (µg/m^3)	VC pas d'excès d'exposition (+0%) (µg/m^3)	VC exposition +10% (µg/m^3)	VC exposition +50% (µg/m^3)	VC exposition +100% (µg/m^3)
Formaldéhyde	usager	0,5	5	40	0,01	20	20	255	1196	2372
Formaldéhyde	professionnel	8	5	40	0,14	20	20	35	94	167
$PM_{2,5}$	usager	0,5	-	-	0,02	16	16	93	400	784
$PM_{2,5}$	professionnel	8	-	-	0,33	16	16	21	40	64
PM_{10}	usager	0,5	-	-	0,02	23	23	133	575	1127
PM_{10}	professionnel	8	-	-	0,33	23	23	30	58	92
NO_2	usager	0,5	-	-	0,02	27	27	157	675	1323
NO_2	professionnel	8	-	-	0,33	27	27	35	68	108

*70 ans pour formaldéhyde, 1 jour pour PM et NO_2, en adéquation avec la valeur toxicologique de référence chronique du formaldéhyde ou la durée d'exposition pouvant produire un effet pour NO_2 et PM, hors expositions aiguës.

N'ayant aucune légitimité pour trancher ou pour assumer l'adoption d'un excès d'exposition correspondant à une augmentation des risques, le GT ne peut que proposer des VG correspondant à plusieurs VC pour ces composés. S'agissant de composés sans seuil, plus faible sera la concentration, plus faible sera l'impact sanitaire.

6.7 Discussion

Il apparaît que les polluants les plus critiques, *i.e.* dont les concentrations sont les plus élevées par rapport aux niveaux de risque, dans les parcs de stationnement couverts du point de vue de la qualité de l'air dans une optique de protection de la santé publique sont le NO_2 et les PM.

6.7.1 Identification des dangers et valeurs toxicologiques de référence

Pour ces polluants les plus critiques, il s'agit d'observations chez l'homme aux niveaux réels d'exposition et il n'y a donc pas d'extrapolation animal/homme ou hautes doses/basses doses comme souvent en évaluation des risques sanitaires. Il demeure cependant les incertitudes liées aux études épidémiologiques sur la pollution atmosphérique urbaine en général, leur adéquation au contexte parking, et leur adéquation aux travailleurs.
En termes d'identification des dangers, le premier élément à prendre en compte est la causalité, en d'autres termes est-ce que l'exposition est bien la cause de l'événement sanitaire étudié. Dans le cadre de la pollution atmosphérique, les critères de causalité ont été largement discutés et ce lien est maintenant admis par la communauté scientifique pour les particules (Filleul et al. 2003), pour les expositions journalières. Pour ce qui est des expositions de plus courte durée, de l'ordre d'une à quelques heures, quelques études sont en faveur d'un effet néfaste d'une exposition au trafic et aux PM en particulier (Peters et al. 2001, Peters et al. 2004). Les relations dose réponse observées ne sont pas applicables dans notre cas du fait de leur construction (durée d'exposition, métrique de l'exposition). Cependant les VC n'utilisent pas de relations dose réponse et sont exprimées en pourcentage d'augmentation de l'exposition. La question à ce stade est de savoir si une augmentation, même de très courte durée, peut être responsable d'un effet. Il ne semble pas y avoir d'argument permettant une réponse négative formelle à l'heure actuelle.

Pour les autres polluants, les incertitudes sont en premier lieu celles liées aux valeurs toxicologiques de référence en général et rappelées en **Annexe 16**. Se pose ensuite la question de l'adéquation à la problématique particulière des parkings couverts, et notamment en termes de périodes d'exposition pour les expositions chroniques. Pour ce qui concerne les travailleurs exposés 8h/j et 5j/7, cela correspond, pour bon nombre de polluants, aux conditions expérimentales (par exemple benzène, formaldéhyde, naphtalène…). Pour les usagers, on fait, faute de mieux, l'hypothèse d'une indépendance entre la réponse de l'organisme et le débit de dose, en considérant que le risque ne dépend que de la dose.

6.7.2 Choix des paramètres des scénarios d'exposition

Le scénario critique est celui du « travailleur » : une fréquentation de parking de 8 heures/jours, 5 jours/semaine, 10 mois/12 pendant 40 ans a été choisie.

Si on considère une durée journalière d'exposition de 8 h pendant 10 ans, cela conduirait, pour les expositions chroniques :

- Acétaldéhyde, Formaldéhyde, Napthalène et Xylènes: pas de changement pour les effets à seuil car la valeur toxicologique de référence est valable pour des expositions inférieures à 10 ans (ex : 1 an pour l'ATSDR, 7 ans pour l'EPA) ;
- Benzène : une durée d'exposition 4 fois inférieure conduirait à une VC 4 fois supérieure (l'effet sans seuil est critique) de l'ordre de 40 $\mu g/m^3$;

- Benzo(a)pyrène : pour les effets sans seuil une durée d'exposition de 10 ans conduit à une VC 4 fois plus élevée, soit de l'ordre de 0,3 µg/m^3 ;
- PM, NO_2 : pas de changement car les risques sont inacceptables (au sens supérieurs au repère de 10^{-5}) pour des expositions inférieures à 10 ans, et les excès d'exposition sont calculés sur une journée.

Si on retient une durée journalière d'exposition inférieure à 8h/j cela conduit :

- Une fréquentation d'une durée inférieure (par exemple deux fois inférieure soit 15 minutes par jour pour les usagers ou 4 heures par jour pour les professionnels) conduirait à des VC deux fois supérieures, sauf pour les expositions aiguës (jusque 1h) au NO_2 et au CO. Elle conduirait également à un excès d'exposition (pour une concentration donnée) deux fois inférieur pour NO_2 et PM. Notons néanmoins que cela n'aurait que peu d'influence en pratique car les expositions sont à réduire le plus possible s'agissant d'effets sans seuil.

En conclusion, considérer un nombre inférieur d'années d'exposition a pour conséquence pratique d'augmenter la VC du benzène à 40 µg/m^3. Considérer une durée journalière d'exposition x fois inférieure revient à multiplier par x les VC (sauf celles sur 1h et moins).

6.7.3 Prise en compte des expositions ubiquitaires

Pour calculer les VC correspondant à plusieurs % d'augmentation des expositions journalières au formaldéhyde, PM et NO_2, nous avons pris comme référence la concentration dans les logements. Or pour PM et NO_2, la concentration moyenne d'exposition hors parcs de stationnement couverts dépend aussi de l'exposition dans le véhicule.

La concentration moyenne d'exposition (hors parcs de stationnement couverts) en considérant divers scénarios "trajet" est indiquée dans le tableau suivant.

Tableau 39 : Sensibilité des Valeurs Cibles aux expositions lors des trajets

Hypothèse d'exposition "trajet"	Concentration logement PM_{10}	Concentration moyenne d'exposition PM_{10}	Concentration logement NO_2	Concentration moyenne d'exposition NO_2
30'/jour à 60 µg/m^3 de NO_2 et 43 µg/m^3 de PM_{10}	23	23 ((23x23,5+43x0,5)/24)	27	28 ((27x23,5+60x0,5)/24)
60'/jour à 80 µg/m^3 de NO_2 et 43 µg/m^3 de PM_{10}	23	24	27	29
120'/jour à 100 µg/m^3 de NO_2 et 43 µg/m^3 de PM_{10}	23	25	27	33

On constate que la concentration moyenne d'exposition (c'est-à-dire la moyenne des concentrations pondérée par le temps d'exposition dans chaque micro-environnement) dépend du temps passé dans le véhicule et de la concentration dans celui-ci. Cependant, du fait des temps respectifs passés au domicile et dans les transports, l'erreur commise sur l'exposition moyenne journalière en négligeant ce point est de l'ordre de 20% au maximum.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Remarque : avec un "scénario du pire" de 2h à 300µg/m^3 de NO_2, ça ferait 100% d'erreur, donc un surcroît d'exposition toléré de 10% ne serait en fait que de 5%, ce qui va dans le sens d'une surestimation du risque.

6.7.4 Niveau de risque accepté

S'agissant de polluants largement répandus du fait de leur émission par les moteurs automobiles, l'approche par excès de risque acceptable, couramment employée notamment dans les décisions relatives aux implantations industrielles ou à la fixation de limites de qualité dans l'eau de boisson, ne couvre qu'une partie de la question de santé publique. En effet le risque attribuable au parking s'ajoute à celui attribuable à l'environnement urbain et à la pollution intérieure. La prise en compte de ce risque global lié aux transports, à l'exposition totale résultante et aux autres expositions dépasse cependant de loin le cadre de la saisine.

Le tableau ci-après présente, pour information, les excès de risque, pour les polluants sans seuil, liés aux expositions ubiquitaires (dans les logements).

Tableau 40 : Excès de risque correspondant aux expositions hors parc de stationnement pour les polluants sans seuil d'effet, hors indicateurs de pollution atmosphérique urbaine

Polluant	Concentration moyenne	Source	ERU $(\mu g/m^3)^{-1}$	Excès de risque individuel
Acétaldéhyde	12 (µg/m^3)	Campagne « Logements 2003-2005 » OQAI	$5{,}8.10^{-7}$	7.10^{-06}
Benzène	2 (µg/m^3)	Campagne « Logements 2003-2005 » OQAI	$7{,}8.10^{-6}$	2.10^{-05}
Benzo(a)pyrène	0,7 (ng/m^3)	Données américaines à défaut de valeurs françaises (Wilson, 1991)	$1{,}1.10^{-3}$	8.10^{-07}
Naphtalène	4 (µg/m^3)	Etude APPA « Sentinelles de l'air » (Schadkovski, 2005)	$3{,}4.10^{-5}$	1.10^{-04}

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

7 Elaboration de Valeur(s) de Gestion

7.1 Principe

Une fois les valeurs cibles définies pour les polluants d'intérêt sanitaire, il convient, au plan opérationnel, de choisir un polluant ou un indicateur de pollution qui permettra de piloter le système de ventilation pour améliorer la qualité de l'air dans le parc de stationnement couvert.

Pour ce polluant ou indicateur de pollution, il convient de calculer un ou plusieurs niveau(x) de concentration (valeur de gestion) qui permette(nt) d'assurer le respect des valeurs cibles pour **l'ensemble des polluants d'intérêt sanitaire, au(x) pas de temps considéré(s)**.

Ce ou ces niveau(x) de concentration à définir pour un polluant correspond(ent) à la (ou aux) valeur(s) de gestion recherchée(s).

Les exploitants devront respecter cette ou ces valeur(s) de gestion (obligation de résultat) sans que celles-ci ne correspondent nécessairement aux valeurs d'asservissement de la ventilation (moyen), qui dépendent aussi de la configuration des parcs et des conditions d'exploitation.

Le respect de cette valeur de gestion (VG) permet donc (au regard des connaissances actuelles) de limiter (à un niveau fixé explicitement) le risque d'apparition d'effets sanitaires néfastes liés à la fréquentation du parc par un usager ou un professionnel.

Si pour les polluants à seuil la démarche est évidente dans son principe, il n'en est pas de même pour les polluants sans seuil. Dans ce dernier cas, il conviendra de choisir le niveau de risque (ou l'excès de risque) admis afin de disposer d'une valeur seuil.

7.2 Critères de sélection du polluant à retenir pour l'élaboration de valeur(s) de gestion

Le polluant dit « de gestion » est le polluant qu'il sera pertinent de surveiller en routine et qui pourra servir à piloter la ventilation des parcs de stationnement couverts.

Le polluant à retenir doit présenter les caractéristiques suivantes :

- *Critère n°1* : Être facilement mesurable en continu par un appareil automatique dont le seuil de détection et la gamme de mesure sont compatibles avec les niveaux de concentration attendus ;
- *Critère n°2* : Être bien corrélé avec les polluants toxiques qui font l'objet d'une valeur cible. Cette corrélation doit être si possible stable à long terme afin de garantir une certaine pérennité à la valeur de gestion. En effet, il apparaît difficile de réguler la qualité de l'air au sein des parcs de stationnement couverts avec un polluant dont l'évolution attendue des émissions conduirait à une baisse significative des teneurs environnementales, voire une disparition quasi complète, alors que les teneurs environnementales des autres polluants critiques auraient peu évolué ;
- *Critère n°3* : Avoir une bonne dynamique car il est plus facile de réguler sur une « amplitude large » plutôt que sur une « amplitude réduite » des concentrations;

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Critère n°4 : Avoir un ratio concentration intérieure/concentration extérieure élevé ; à l'évidence, la présence du polluant à retenir, à une teneur importante dans l'air extérieur, poserait problème pour l'arrêt de la ventilation conduisant, dans certains cas, à poursuivre celle-ci au-delà du temps réellement nécessaire.

Remarque n°1 : On rappelle que l'équation donnant la concentration en polluant dans un espace confiné en présence d'une source intérieure est de la forme :

$$C(\%) = \left[\frac{100 Q_g}{Q_a + Q_g}\right] \text{x} \left[1 - e^{\frac{-(Q_a+Q_g)t}{\text{V}}}\right]$$

Avec :

C : concentration en gaz dans le local en %

Qa : débit de ventilation du local en l/s

Qg : débit des émissions en l/s (conditions normales)

V : volume du local en litres

t : temps écoulé depuis le début des émissions en s.

Cette équation montre que la courbe de concentration est de type asymptotique avec une limite égale au premier terme du produit ; c'est-à-dire que lorsque l'on ventile un local, les équations théoriques montrent que l'on ne pourra descendre en dessous d'un certain seuil de concentration à moins d'augmenter à l'infini le débit d'extraction.

Par ailleurs, « C » est également dépendante de la concentration du polluant dans l'air ambiant.

Remarque n°2 : Nous rappelons également qu'il n'y a aucune objection à prendre un polluant qui ne présente pas d'effets sanitaires pour l'élaboration de valeur de gestion.

7.3 Choix du polluant pour l'élaboration de valeur(s) de gestion

Parmi les quatre critères précédemment énumérés, le premier est absolument nécessaire et tous les polluants non analysables en temps réel et en routine ne peuvent être retenus pour l'élaboration de valeur de gestion : c'est le cas pour les HAM, les HAP et les aldéhydes ainsi que pour les métaux.

En conséquence, seuls quatre polluants présentant *a priori* les qualités requises peuvent être considérés. Le Tableau 41 précise des éléments d'information en lien avec les 4 critères définis précédemment.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 41 : Polluants candidats pour l'élaboration d'une valeur de gestion

	Critère 1			Critère 2	Critère 3	Critère 4
	Mesurable en temps réel et en routine	Gamme de mesure par électrochimie	Gamme de mesure par autre méthode courante	Corrélation avec les polluants avec valeurs cibles	Amplitude de mesure lors des campagnes	Ratio Air int/Air ext
CO	++	0 à 50 ppm (58 mg/m^3)	0 à 20 ppm (NDIR) (23,2mg/m^3)	++	0 à 54 mg/m^3 ++	1.1 à 10 ++
NO	++	0 à 30 ppm (37500 µg/m^3)	0 à x ppm (x µg/m^3) (chimiluminescence)	+++	0 à 3600 µg/m^3 ++	4,4 à 10 ++
NO_2	++	0 à 5 ppm (9600 µg/m^3)	0 à x ppm (x µg/m^3) (chimiluminescence)	+++	0 à 1090 µg/m^3 +	2 à 2,8 -
PM (10 ou 2.5)	+	/	0 à 500 µg/m^3 (élément oscillant, jauge bêta, compteur particules…)	++	10 à 300 µg/m^3 -	1 à 2 -

Commentaires relatifs au tableau ci-dessus :

Le monoxyde de carbone est mesurable par électrochimie (technique présentant l'avantage d'utiliser des détecteurs peu encombrants pouvant être déportés en plusieurs points d'un parc avec une centralisation des résultats en un seul point) dans les gammes des concentrations rencontrées. Toutefois sa dynamique (grande variabilité temporelle des concentrations) a considérablement baissé en regard d'une plus grande diésélisation du parc automobile ; à plus long terme les niveaux doivent encore baisser et seront vraisemblablement moins bien corrélés avec les autres polluants, notamment le NO_2. A noter que les niveaux mesurés sur site donc ceux de la plage permettant le déclenchement des ventilations sont en début de gamme de mesure.

Le monoxyde d'azote est facilement mesurable par chimiluminescence dans les concentrations rencontrées dans les parcs de stationnement couverts ; l'utilisation de détecteurs électrochimiques semble plus problématique. La mesure par chimiluminescence peut être mise en œuvre, même si elle est plus délicate et implique de déporter les points de prélèvement, l'analyseur étant à poste fixe. Ce polluant bénéficie par ailleurs d'une dynamique élevée du fait qu'il s'agit d'un polluant primaire directement lié aux émissions du trafic des véhicules à essence et de type diesel et le ratio concentration intérieure/concentration extérieure est également favorable.

Le dioxyde d'azote est aussi mesurable par chimiluminescence mais présente, par rapport au NO, deux inconvénients : une plus faible dynamique et un ratio concentration intérieure / concentration extérieure défavorable notamment en cas d'épisode de pollution. A noter que, comme pour le NO dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas facile de se prononcer sur une baisse très sensible des niveaux à long terme. La stabilité des niveaux actuels voire l'augmentation est même envisagée par certains experts.

Les particules PM10 ou PM2.5, outre des problèmes métrologiques (par exemple, la mesure des particules par microbalance à élément oscillant pose le problème de la sensibilité de l'appareil aux vibrations et surtout de la nécessité de disposer d'un appareil d'analyse pour chaque point de prélèvement avec une tête assurant la sélection granulométrique ; l'appareil ne semble pas adapté pour cet usage malgré certaines qualités métrologiques), présentent une dynamique encore plus faible que celle du dioxyde d'azote.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

En conclusion, sur la base de ces éléments, le GT préconise la mesure du monoxyde d'azote (NO) pour l'élaboration de valeur(s) de gestion à faire respecter au sein de parcs de stationnement couverts, afin d'assurer le respect des valeurs cibles pour l'ensemble des polluants d'intérêt sanitaire, au(x) pas de temps considéré(s).

7.4 Détermination des valeurs cibles pouvant être contrôlées à partir d'une valeur de gestion sur le monoxyde d'azote (NO)

Les campagnes de mesures réalisées dans le cadre de cette saisine ont concerné quatre parcs de stationnement couverts de typologies et d'usages très différents : une gare routière d'autocars, un parc souterrain desservant une gare ferroviaire, un autre parc souterrain lié à un ensemble commercial et enfin un dernier parc couvert réservé à des employés.

En raison de cette diversité, on fera l'hypothèse que les teneurs mesurées dans les parcs investigués sont dans l'ensemble représentatives et caractéristiques de ces ouvrages en général.

L'analyse détaillée des niveaux de pollution mesurés montre que, pour certains polluants, les valeurs cibles déterminées précédemment sont atteintes ou susceptibles de l'être alors que, pour d'autres, la probabilité d'un dépassement est très faible.

7.4.1 Cas des polluants à seuil d'effet

Le tableau ci-dessous regroupe les valeurs cibles (et pas de temps associé) calculées dans le chapitre précédent pour les polluants avec seuil d'effet identifiés comme polluants d'intérêt sanitaire dans le contexte des parcs de stationnement couverts (cf chapitre 6), ainsi que les maxima mesurés lors des campagnes de mesure menées dans le cadre de ces travaux.

Tableau 42 : **Confrontation des valeurs cibles (polluants avec seuil d'effet) et résultats de mesure**

Polluant et pas de temps associé	Population concernée	Valeur cible (VC)	Maximum atteint
CO sur 15 minutes	usager et travailleur	100 mg/m^3	39 mg/m^3
CO sur 30 minutes	travailleur	60 mg/m^3	36 mg/m^3
CO sur 1h	travailleur	**30 mg/m^3**	32 mg/m^3
CO sur 8h	travailleur	**10 mg/m^3**	25 mg/m^3
NO_2 sur 1h	travailleur	**200 µg/m^3**	491 µg/m^3
Benzène sur 8h	travailleur	**41 µg/m^3**	58 µg/m^3
Xylènes sur 8h	travailleur	870 µg/m^3	383 µg/m^3
Acétaldéhyde sur 8h	travailleur	**9 µg/m^3**	21 µg/m^3
Naphtalène sur 8h	travailleur	3 µg/m^3	1,4 µg/m^3

Au vu de ce tableau, on constate que certaines valeurs cibles n'ont pas été atteintes alors que d'autres l'ont été voire dépassées (ces dernières apparaissent en gras dans le Tableau 42), pour les travailleurs.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

On peut donc considérer à ce stade que les valeurs cibles relatives au CO (sur 15 et 30 minutes), aux xylènes et au naphtalène (sur 8 heures), ne sont pas déterminantes, alors que les autres le sont.

Ainsi, les polluants et pas de temps associés (dans le cas d'effet à seuil) jugés « préoccupants » qui ont été considérés pour la suite, sont :

- Le monoxyde de carbone (CO) sur les durées d'exposition de 1 heure et 8 heures (exposition ponctuelle) ;
- Le dioxyde d'azote (NO_2) sur 1 heure d'exposition (exposition ponctuelle);
- Le benzène sur 8 heures d'exposition (exposition chronique);
- L'acétaldéhyde sur 8 heures d'exposition (exposition chronique).

7.4.2 Cas des polluants sans seuil d'effet

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, en ce qui concerne les polluants d'intérêt sanitaire retenus et pour lesquels il n'est pas connu de seuil d'effet, deux approches ont été utilisées pour la définition de valeurs cibles :

- *Approche 1* : Pour certains polluants sans seuil, le GT a déterminé des valeurs cibles correspondant à des excès de risque individuel (ERI) de 10^{-5}, 10^{-6} (notamment en l'absence de risque acceptable issu d'un débat social ou politique ; 10^{-5} et 10^{-6} étant des valeurs d'excès de risque individuel admis dans certains processus de fixation de concentrations maximales admissibles dans les milieux), compte tenu que ces niveaux de risque pouvaient potentiellement être atteints ; c'est le cas du benzène, de l'acétaldéhyde, du benzo(a)pyrène et du naphtalène.
- *Approche 2* : Pour d'autres, il a pu être établi que cette approche ne pouvait s'appliquer ; c'est en particulier le cas des indicateurs classiques de la qualité de l'air que sont le dioxyde d'azote et les particules, compte tenu du fait que les niveaux de pollution atmosphérique urbaine sont déjà à l'origine de risque dépassant les repères classiques d'acceptabilité. Pour ces polluants, des valeurs cibles ont donc été exprimées non pas en fonction d'un excès de risque individuel admissible, mais en fonction d'augmentation à consentir de l'exposition journalière à ces substances.

Les deux tableaux suivants présentent les valeurs cibles calculées (et pas de temps associés) correspondant à ces deux approches, ainsi que les maxima mesurés lors des campagnes de mesure menées dans le cadre de ces travaux.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 43 : Confrontation des valeurs cibles (polluants sans seuil d'effet) issues de l'approche n°1 et résultats de mesure

Polluant et pas de temps associé	Population concernée	Valeur cible (VC) pour un niveau de risque de 10^{-5}	Valeur cible (VC) pour un niveau de risque de 10^{-6}	Maximum mesuré
Benzène sur 8h	travailleur	**11 µg/m³**	**1,1µg/m³**	58 µg/m³
Benzène sur 30 min	usager	180 µg/m³	**18 µg/m³**	91 µg/m³
Acétaldéhyde sur 30 min	usager	2400 µg/m³	240 µg/m³	32 µg/m³*
Acétaldéhyde sur 8h	travailleur	150 µg/m³	**15 µg/m³**	21 µg/m³
Benzo(a)pyrène sur 30 min	usager	1,3 µg/m³	0,13 µg/m³	0,003 µg/m³**
Benzo(a)pyrène sur 8h	travailleur	0,08 µg/m³	0,008 µg/m³	0,003 µg/m³**
Naphtalène sur 30 min	usager	42 µg/m³	4,2 µg/m³	< 4 µg/m³
Naphtalène sur 8h	travailleur	2,6 µg/m³	**0,26 µg/m³**	1,4 µg/m³

* valeur mesurée sur 1 heure par défaut
** valeur mesurée sur 24h par défaut

De la même manière que pour les polluants à seuil d'effet, on constate que certaines valeurs cibles n'ont pas été atteintes alors que d'autres ont été atteintes voire dépassées (ces dernières apparaissent en gras dans le Tableau 43).

Ainsi, qu'il s'agisse d'un usager ou d'un travailleur (cf durée d'exposition journalière de 30 min ou 8h), au regard des niveaux mesurés, il apparaît que les valeurs cibles correspondant à un niveau de risque de 10^{-5} ne sont ni atteintes ni dépassées à l'exception du benzène sur 8 heures.

Concernant le niveau de risque de 10^{-6}, *a fortiori* le benzène reste préoccupant, les valeurs cibles calculées pour les deux types d'exposition pouvant être dépassées au vu des résultats de mesure obtenus. Pour ce même niveau de risque, il apparaît que les valeurs cibles relatives à l'exposition de travailleurs (8h/j) pour l'acétaldéhyde et le naphtalène ont pu être dépassées lors des mesures réalisées.

On peut donc considérer à ce stade que :

– Les valeurs cibles destinées à protéger les usagers sont vraisemblablement respectées au sein des parcs de stationnement couverts, à l'exception de la valeur cible relative au benzène pour un niveau de risque de 10^{-6} ;

– Les valeurs cibles liées au benzo(a)pyrène n'apparaissent pas déterminantes pour la suite de l'exercice ;

– Les polluants et pas de temps associés (dans le cas d'effet sans seuil) qui ont été considérés pour la suite sont :

- Le benzène sur 8 heures d'exposition (en lien avec des niveaux de risque de 10^{-5} et 10^{-6} pouvant être atteints ou dépassés) ;
- L'acétaldéhyde sur 8 heures d'exposition (en lien avec un niveau de risque de 10^{-6} pouvant être atteint ou dépassé) ;
- Le naphtalène sur 8 heures d'exposition (en lien avec un niveau de risque de 10^{-6} pouvant être atteint ou dépassé).

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau 44 : Confrontation des valeurs cibles (polluants sans seuil d'effet) issues de l'approche n°2 et résultats de mesure

Polluant et pas de temps associé	Population concernée	Valeur cible (VC) correspondant à un excès d'exposition quotidien de 10%	Valeur cible (VC) correspondant à un excès d'exposition quotidien de 50%	Valeur cible (VC) correspondant à un excès d'exposition quotidien de 100%	Maximum mesuré
Formaldéhyde*** sur 30 min	usager	255 µg/m^3	1196 µg/m^3	2372 µg/m^3	42µg/m^3*
Formaldéhyde*** sur 8h	travailleur	35 µg/m^3	94 µg/m^3	167 µg/m^3	36 µg/m^3
NO_2 sur 30 min	usager	**157 µg/m^3**	675 µg/m^3	1323 µg/m^3	532 µg/m^3
NO_2 sur 8h	travailleur	**35 µg/m^3** **	**68 µg/m^3**	**108 µg/m^3**	381 µg/m^3
PM_{10} sur 30 min	usager	**133 µg/m^3**	575 µg/m^3	1127 µg/m^3	216 µg/m^3
PM_{10} sur 8h	travailleur	**30 µg/m^3** **	**58 µg/m^3**	**92 µg/m^3**	140 µg/m^3

* valeur mesurée sur 1 heure par défaut

** valeur proche ou dépassée dans l'air ambiant.

*** polluant à seuil mais dont la VTR est dépassée du fait des concentrations dans les logements : les VC possibles sont exprimées en excès d'exposition quotidien

Enfin, d'après le Tableau 44, il apparaît que :

- Les valeurs cibles relatives au formaldéhyde et correspondant à des excès d'exposition quotidien de 10, 50 et 100%, que ce soit pour un usager ou un travailleur, n'apparaissent pas déterminantes pour la suite de l'exercice ;

- Les valeurs cibles relatives au dioxyde d'azote (NO_2) et aux particules, pour des expositions de 8h/j et pour des excès d'exposition quotidien de 10, 50 et 100% sont susceptibles d'être dépassées ;

- Les valeurs cibles relatives au dioxyde d'azote (NO_2) et aux particules, pour des expositions de 30 min/j et pour des excès d'exposition quotidien de 10% sont susceptibles d'être dépassées.

Au final, dans le contexte spécifique de la pollution rencontrée dans des parcs de stationnement couverts, les polluants à considérer sont :

- **Le monoxyde de carbone (CO) pour des expositions d'une heure et plus (en lien avec des effets à seuil) ;**
- **Le dioxyde d'azote (NO_2) pour des expositions de 30 min/j et 8 heures/j (en lien avec des effets sans seuil), ainsi que pour une exposition continue de 1 heure (risque aigu) ;**
- **Le benzène pour des expositions de 8 heures/j (en lien avec des effets à seuil et sans seuil) ;**
- **Les particules pour des expositions de 30 min/j et 8 heures/j (en lien avec des effets sans seuil).**

En ce qui concerne l'acétaldéhyde et le naphtalène, le niveau de risque de 10^{-6} peut être atteint ou dépassé, le risque de 10^{-5} étant respecté. Rappelons cependant, que les teneurs dans les parcs sont proches de celles des logements (cf **Annexe 17**). Ces substances ne sont donc pas spécifiques des parcs de stationnement couverts. Elles ne sont plus considérées par la suite, étant entendu que le respect des VC pour les autres polluants impliquera *de facto* une baisse des niveaux, y compris pour ces polluants.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

7.5 Valeur(s) de gestion pour le polluant retenu : NO

La (ou les) valeur(s) de gestion (VG) de NO doit(vent) être fixée(s) de façon à ce que la valeur maximale enregistrée pour chaque polluant à considérer soit au plus égale à la valeur cible.

A cette fin, à partir des résultats de mesure, il a été procédé à une détermination des droites de régression linéaire entre les teneurs en NO et les polluants identifiés comme préoccupants ci-dessus, sur différents pas de temps. Il y a lieu de noter que la pente et l'ordonnée à l'origine varient peu en fonction du pas de temps pour lequel la droite de régression a été calculée.

On exploite donc ici les corrélations mises en évidence entre le NO et les différents polluants préoccupants auxquels on s'intéresse :

$$[\text{Substance x}] = a + b\,[\text{NO}]$$

Ainsi, en utilisant ces équations, pour une valeur cible donnée (VC), on identifie la concentration en NO (VG) correspondante.

Les calculs issus des différentes équations n'ont été effectués que lorsque la pente avait une signification au seuil de 95%.

Dans le modèle linéaire appliqué on peut considérer que l'ordonnée à l'origine représente le plus faible niveau de pollution théoriquement atteignable. Ce point important pose les limites de l'exercice mené.

L'exemple ci-dessous illustre cette démarche dans le cas du NO_2. La Figure 14 montre la corrélation linéaire établie entre les données horaires de NO et de NO_2, à partir des résultats de mesure obtenus.

La valeur cible de NO_2 à respecter sur 1 heure est de 200 µg/m^3. La corrélation mise en évidence montre qu'une valeur de l'ordre de 650 µg/m^3 de NO permet le respect de cette valeur cible.

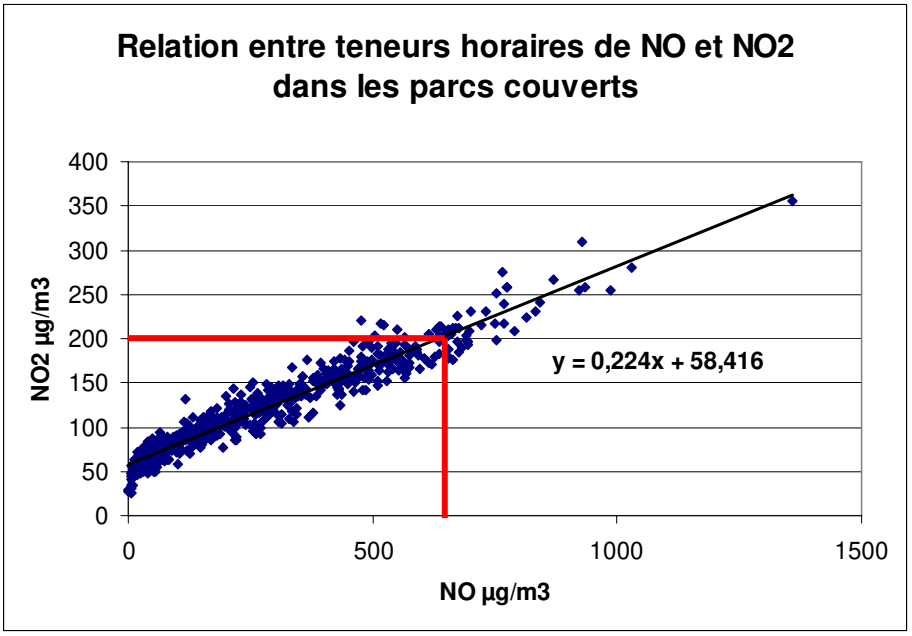


Figure 14 : Exemple de détermination d'une valeur de gestion en NO permettant le respect de la valeur cible de 200 µg/m^3 horaire pour le NO_2

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Cet exercice a été mené pour les différentes valeurs cibles des polluants ci-dessus identifiés comme préoccupants, en utilisant les corrélations mises en évidence (sur les 4 parcs couverts investigués) entre ces polluants et le monoxyde d'azote (NO) pour les différents pas de temps considérés.

Ainsi, le GT a pu estimer des valeurs de NO dont le respect permettrait d'éviter certains effets et/ou de limiter les excès d'exposition.

Le tableau suivant synthétise, pour les 4 polluants identifiés comme préoccupants in fine, les valeurs pouvant être atteintes selon le niveau de NO choisi sur 30 minutes, durée plus adaptée à une gestion de la qualité de l'air visant en particulier à anticiper les situations problématiques. Le respect sur ce pas de temps entraine *de facto* le respect sur un pas de temps plus long.

Tableau 45 : Valeurs de gestion de la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts (sur 30 min) : options* proposées par le GT

Valeur de gestion du NO en µg/m³	*CO obtenu en mg/m³*	*NO_2 obtenu en µg/m³*	*PM_{10} obtenu en µg/m³*	*Benzène obtenu en µg/m³*	*Implications** connues*** en termes de santé publique pour les polluants et durées critiques*
800	[8 – 12]	[180 – 250]	[60 – 80]	[35 – 50]	• Eviter les effets « aigus » liés au CO (travailleurs ; 1h et 8h d'exposition) • Eviter les effets chroniques à seuil liés au benzène (travailleurs ; 8h d'exposition journalière) • Pour les travailleurs (8h d'exposition journalière), tolérance d'une augmentation de l'exposition quotidienne au NO_2 supérieure à 100%, et comprise entre 50 et 100% pour les PM • Pour les usagers, tolérance d'une augmentation (sur la base de 2x15' d'exposition par jour) de l'exposition journalière au NO_2 comprise entre 10 et 50%, et inférieure à 10% pour les PM • Concernant les effets chroniques sans seuil liés au benzène, tolérance d'un excès de risque individuel > 10^{-5} pour un travailleur, et compris entre 10^{-6} et 10^{-5} pour un usager
600	[7 – 9]	[150 – 205]	[50 – 65]	[26 – 38]	• Eviter les effets « aigus » liés au CO (travailleurs ; 1h et 8h d'exposition) • **Eviter les effets « aigus » liés au NO_2 (travailleurs, 1h d'exposition)** • Eviter les effets chroniques à seuil liés au benzène (travailleurs ; 8h d'exposition journalière) • Pour les travailleurs (8h d'exposition quotidienne), tolérance d'une augmentation de l'exposition journalière au NO_2 supérieure à 100% **et de 50% pour les PM** • Pour les usagers, tolérance d'une augmentation (sur la base de 2x15' d'exposition par jour) de l'exposition journalière au NO_2 comprise entre 10 et 50%, et inférieure à 10% pour les PM • Concernant les effets chroniques sans seuil liés au benzène, tolérance d'un excès de risque individuel > 10^{-5} pour un travailleur, et compris entre 10^{-6} et 10^{-5} pour un usager
400	[4 – 6]	[120 – 160]	[38 – 52]	[18 – 26]	• Eviter les effets liés au CO (travailleurs ; 1h et 8h d'exposition) • Eviter les effets « aigus » liés au NO_2 (travailleurs, 1h d'exposition) • Eviter les effets chroniques à seuil liés au benzène (travailleurs ; 8h d'exposition journalière) • Pour les travailleurs (8h d'exposition journalière), tolérance d'une augmentation de l'exposition journalière au NO_2 supérieure à 100% **et comprise entre 10 et 50% pour les PM** • Pour les usagers, tolérance d'une augmentation (sur la base de 2x15' d'exposition par jour) de l'exposition journalière **au NO_2 inférieure à 10%**, et inférieure à 10% pour les PM • Concernant les effets chroniques sans seuil liés au benzène, tolérance d'un excès de risque individuel > 10^{-5} pour un travailleur, et compris entre 10^{-6} et 10^{-5} pour un usager

*le GT ne s'estime pas légitime pour se prononcer sur un niveau de risque acceptable.
**implications exprimées par rapport à la valeur centrale de l'intervalle, valeur la plus probable.
***certains dangers ou niveaux de risques ne sont pas connus ou déterminables au vu des connaissances épidémiologiques ou toxicologiques disponibles. De surcroît la démarche d'évaluation des risques sanitaires suivie par le GT ne permet pas la prise en compte de situation exceptionnelle ou accidentelle.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Note 1 : les éléments de texte figurant en gras dans le tableau, correspondent aux « protections » supplémentaires induites par une valeur de gestion de NO donnée par rapport à la valeur de gestion de la ligne supérieure.

Note 2 : les intervalles présentés dans le Tableau 45 tiennent compte uniquement des incertitudes liées à la mesure. Les incertitudes sont donc sous-estimées car elles ne prennent en compte ni l'incertitude sur la corrélation inter-polluants, ni l'extrapolation des résultats obtenus dans les 4 parcs investigués à l'ensemble des parcs de stationnement couverts.

7.6 Discussion

7.6.1 Les limites de l'exercice

L'exercice mené tend à montrer que 2 substances sont plus préoccupantes que les autres :

- le benzène, en ce qui concerne les effets sans seuil (exposition chronique de travailleurs), et pour les valeurs cibles en lien avec des excès de risque individuels de 10^{-5} ou 10^{-6} ;
- le dioxyde d'azote (NO_2), en ce qui concerne l'excès d'exposition quotidien de 10% pour des travailleurs, et même 50 et 100% vu les niveaux très faibles de NO qu'il faudrait respecter.

Cela s'explique en particulier via les droites de régression linéaire établies entre ces deux substances, benzène et NO_2, et le monoxyde d'azote (NO), qui montrent respectivement des ordonnées à l'origine de 16 µg/m^3 et 58 µg/m^3. Ces ordonnées à l'origine correspondent aux plus faibles niveaux de benzène et de NO_2 théoriquement atteignables, sur la base des campagnes de mesure menées et prises comme référence ici.

Ces niveaux semblent s'expliquer d'une part par le phénomène d'évaporation en ce qui concerne le benzène, un parc de stationnement couverts concentrant un nombre important de véhicules à l'arrêt qui constituent une source de pollution continue et constante. Par ailleurs, le benzène, polluant stable (peu réactif) dans l'air aura tendance à s'accumuler alors que le monoxyde d'azote réagira notamment avec l'oxygène de l'air pour former du NO_2. L'on peut ainsi continuer d'observer des concentrations de NO_2 en l'absence de NO, le niveau de NO_2 résiduel étant de plus lié au niveau de NO_2 dans l'air ambiant extérieur.

Ces aspects posent les limites propres de la ventilation.

7.6.2 Cas du monoxyde de carbone (CO)

Nous avons pu voir dans les paragraphes précédents que les valeurs cibles relatives au CO pour des expositions de courtes durées (de 15 minutes à 30 minutes) ne semblent plus pouvoir être atteintes, les niveaux maxima rencontrés y étant restés inférieurs.

Toutefois, compte tenu de la particularité de ce polluant, il y a lieu de savoir, si pour un seuil de suivi donné pour le monoxyde d'azote (NO), le risque d'intoxication oxycarbonée aiguë est probable dans le contexte des parcs de stationnement couverts. Par construction, et par lecture des niveaux de CO mesurés dans l'air ambiant de ces ouvrages, ce cas s'avère théoriquement improbable en regard des niveaux de CO atteint sur 30 minutes avec par exemple une valeur à 600 µg/m^3 de NO pour déclencher des ventilations. On ne peut toutefois pas totalement exclure, bien que ce cas ne soit pas décrit, une situation accidentelle imprévisible. Ainsi, dans les parcs de stationnement couverts équipés, la mesure du CO peut être maintenue en complément.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

7.7 Conclusion

Au vu de l'ensemble des éléments présentés ci-dessus, il apparaît les éléments suivants :

- Dans le contexte particulier des parcs de stationnement couverts, les polluants préoccupants sont in fine le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde d'azote (NO_2), les particules (PM) et le benzène.
- Ces quatre substances présentent des risques pour la santé essentiellement dans le contexte de travailleurs travaillant au sein de parcs de stationnement couverts (hors locaux spécifiquement ventilés) ;
- Parmi ces substances, le benzène et le dioxyde d'azote apparaissent comme étant les plus problématiques ;
- Il apparaît que certaines valeurs cibles ne peuvent techniquement être atteintes, ce point soulignant ici que la ventilation a ses propres limites.

Ainsi, le groupe de travail propose de présenter une gamme de valeurs de gestion relatives au NO ; il s'agit du Tableau 45 précédent. Pour chaque valeur, le niveau attendu pour les 4 polluants identifiés in fine comme préoccupants dans le contexte des parcs de stationnement couverts est présenté et les implications en termes de santé publique sont déclinées.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

8 Conclusions et recommandations du GT

8.1 Résultats synthétiques des travaux et constats

Le GT rappelle que la pollution atmosphérique urbaine est à l'origine d'effets sanitaires très documentés, et que ceux-ci surviennent dès les faibles niveaux de pollution (inférieurs aux valeurs limites réglementaires en air ambiant extérieur). La fréquentation d'un parc de stationnement couvert, milieu plus ou moins confiné ne peut dès lors qu'augmenter l'exposition de leurs usagers à la pollution automobile.

1. de nombreux polluants sont émis par les véhicules, et sont donc susceptibles d'être présents dans les parcs de stationnement couverts ;
    a. on ne connaît les dangers que de certains d'entre eux ;
    b. certains polluants sont dangereux par inhalation, pour des expositions aiguës ou chroniques ;

Le GT a ainsi :

- recensé 275 substances émises par les véhicules légers ;
- listé 38 substances d'intérêt sanitaire et pour lesquels une quantification du risque est possible (élimination des substances pour lesquelles les dangers ne sont pas documentés et/ou pour lesquelles il n'existe pas de valeur toxicologique de référence).
- hiérarchisé ces 38 substances pour identifier celles pouvant être problématiques au vu des concentrations mesurées dans 4 parkings couverts investigués : le monoxyde de carbone, le dioxyde d'azote, le benzène, le benzo(a)pyrène, le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, les xylènes, le naphtalène, les particules (PM_{10}, $PM_{2,5}$).
- modélisé les concentrations des polluants non mesurés et estimé que l'acroléine, le 1,3 butadiène et le manganèse mériteraient des investigations complémentaires.

2. La démarche d'évaluation des risques adoptée par le groupe de travail a permis d'élaborer, en regard de l'exposition des usagers et de l'exposition des personnes travaillant dans des parcs de stationnement couverts, des valeurs cibles (VC) de qualité de l'air de ces enceintes pour les 9 polluants ci-dessus.

Les valeurs cibles élaborées par le GT correspondent à des concentrations de polluants, qui, si elles étaient respectées au sein des parcs de stationnement couverts, permettraient d'éviter ou limiter les effets sur la santé associés aux substances concernées, compte tenu des scénarios d'exposition considérés.

3. Au vu des mesures réalisées, on constate que les niveaux d'exposition sont :
    a. supérieurs aux valeurs cibles (durées courtes) :

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

- NO_2 : sur 1h, le maximum atteint a été de 491 µg/m^3 pour une valeur de cible de 200 µg/m^3
- CO : sur 8h, le maximum atteint a été de 25 mg/m^3 pour une valeur cible de 10 mg/m^3

b. proches ou supérieurs aux valeurs cibles pour des expositions chroniques professionnelles (acétaldéhyde, formaldéhyde, naphtalène), sans que les niveaux relevés ne soient très supérieurs à ceux des logements ;

c. correspondant à des niveaux de risque supérieurs aux repères usuels d'acceptabilité (Excès de risque individuel de 10^{-5}), pour les usagers et travailleurs :

- NO_2, le maximum atteint sur 8 heures a été de 381 µg/m^3
- PM_{10}, le maximum atteint sur 8 heures a été de 150 µg/m^3
- benzène, le maximum atteint sur 8 heures a été de 58 µg/m^3

In fine, cette mise en relation des valeurs cibles et des niveaux de polluants mesurés a permis de mettre en évidence 4 polluants jugés préoccupants :

- monoxyde de carbone (CO)
- dioxyde d'azote (NO_2)
- particules (PM_{10})
- benzène

4. Aujourd'hui le monoxyde d'azote (NO) semble être, au vu des critères de sélection retenus (métrologie, corrélation inter-polluant…), la substance la plus appropriée pour gérer la qualité de l'air des parcs de stationnement couverts, et notamment piloter la ventilation.

8.2 Conclusion

Les risques sanitaires liés aux expositions dans les parcs de stationnement couverts ne sont que très peu documentés. Les investigations menées dans quatre parcs tendent à montrer que leur qualité d'air est insuffisante au regard de la protection de la santé des usagers et surtout des professionnels exerçant une activité régulière dans les parcs de stationnement couverts (exception faite des personnels d'exploitation dont les locaux de travail sont ventilés séparément, ce qui limite leur exposition moyenne quotidienne).

8.3 Recommandations d'action

- Intégrer la problématique de la qualité de l'air lors de la conception de nouveaux parcs de stationnement ;
- Pour les parcs de stationnement couverts existants, respecter les critères de qualité de l'air (valeurs de gestion) proposés dans le Tableau 46 au moyen de l'indicateur de pollution NO. Ces propositions visent, pour les usagers et les professionnels, à :
  - Eviter les effets liés aux expositions de courte durée (CO et NO_2) ;
  - Eviter les effets liés aux expositions aux polluants pour lesquels on considère qu'il existe un seuil d'effet ;

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

- Limiter l'augmentation de l'exposition moyenne aux polluants sans seuil, pour lesquels les niveaux usuels de risque accepté ne sont pas atteignables dans un parc de stationnement couvert (NO_2 en tant qu'indicateur de pollution automobile, PM, benzène).

Tableau 46 : Valeurs de gestion de la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts : options* proposées par le GT

Indicateur de qualité d'air	Concentration ($\mu g/m^3$) sur 30 minutes	Implications** en termes de risque sanitaire pour les polluants et durées critiques
NO	800	• Eviter les effets « aigus » liés au CO (travailleurs ; 1h et 8h d'exposition) • Eviter les effets chroniques à seuil liés au benzène (travailleurs ; 8h d'exposition journalière) • Pour les travailleurs (8h d'exposition journalière), tolérance d'une augmentation de l'exposition quotidienne au NO_2 supérieure à 100%, et comprise entre 50 et 100% pour les PM • Pour les usagers, tolérance d'une augmentation (sur la base de 2x15' d'exposition par jour) de l'exposition journalière au NO_2 comprise entre 10 et 50%, et inférieure à 10% pour les PM • Concernant les effets chroniques sans seuil liés au benzène, tolérance d'un excès de risque individuel > 10^{-5} pour un travailleur, et compris entre 10^{-6} et 10^{-5} pour un usager
NO	600	• Eviter les effets « aigus » liés au CO (travailleurs ; 1h et 8h d'exposition) • Eviter les effets « aigus » liés au NO_2 (travailleurs, 1h d'exposition) • Eviter les effets chroniques à seuil liés au benzène (travailleurs ; 8h d'exposition journalière) • Pour les travailleurs (8h d'exposition quotidienne), tolérance d'une augmentation de l'exposition journalière au NO_2 supérieure à 100% et de 50% pour les PM • Pour les usagers, tolérance d'une augmentation (sur la base de 2x15' d'exposition par jour) de l'exposition journalière au NO_2 comprise entre 10 et 50%, et inférieure à 10% pour les PM • Concernant les effets chroniques sans seuil liés au benzène, tolérance d'un excès de risque individuel > 10^{-5} pour un travailleur, et compris entre 10^{-6} et 10^{-5} pour un usager
NO	400	• Eviter les effets liés au CO (travailleurs ; 1h et 8h d'exposition) • Eviter les effets « aigus » liés au NO_2 (travailleurs, 1h d'exposition) • Eviter les effets chroniques à seuil liés au benzène (travailleurs ; 8h d'exposition journalière) • Pour les travailleurs (8h d'exposition journalière), tolérance d'une augmentation de l'exposition journalière au NO_2 supérieure à 100% et comprise entre 10 et 50% pour les PM • Pour les usagers, tolérance d'une augmentation (sur la base de 2x15' d'exposition par jour) de l'exposition journalière au NO_2 inférieure à 10%, et inférieure à 10% pour les PM • Concernant les effets chroniques sans seuil liés au benzène, tolérance d'un excès de risque individuel > 10^{-5} pour un travailleur, et compris entre 10^{-6} et 10^{-5} pour un usager

* le GT ne s'estime pas légitime pour se prononcer sur un niveau de risque acceptable
** certains dangers ou niveaux de risques ne sont pas connus ou déterminables au vu des connaissances épidémiologiques ou toxicologiques disponibles. De surcroît la démarche d'évaluation des risques sanitaires suivie par le GT ne permet pas la prise en compte de situations exceptionnelles ou accidentelles.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

- Limiter l'exposition dans les parcs de stationnement couverts :
    - Recommander l'installation des activités professionnelles sédentaires dans des zones spécifiquement ventilées, et limiter la durée des activités professionnelles au strict nécessaire dans les zones de stationnement et de trafic ;
    - Prendre toute disposition utile (ex : cheminement piéton dans des zones de meilleure qualité d'air…) pour les usagers.
- Engager une réflexion sur la pertinence d'une information des personnes exposées sur les risques identifiés ;
- S'assurer d'une surveillance médicale adaptée des professionnels exposés ;
- Evaluer périodiquement la qualité de l'air des parcs en fonction de l'évolution attendue des émissions ;
- Réviser en fonction des éléments précédents les présentes recommandations.

8.4 Recommandations d'études ou de recherche

- Mieux caractériser la population exposée (travailleurs et usagers) ainsi que ses modalités d'exposition, notamment la durée ;
- Mieux estimer les contributions des différents micro-environnements (dont les parcs de stationnements) à l'exposition totale aux polluants d'origine automobile ;
- Exercer une veille bibliographique sur les effets des expositions de courte durée aux polluants d'origine automobile ;
- Mieux caractériser la qualité de l'air des parcs de stationnement couverts, notamment en mesurant les concentrations en acroléine 1,3 butadiène et manganèse.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

9 Bibliographie

9.1 Publications

Ayoko G.A., Morawska L., Kokot S. and Gilbert D. *et al.* **(2004)** Application of multicriteria decision making methods to air quality in the microenvironments of residential houses in Brisbane, Australia, Environmental Science & Technology 38(9): 2609-2616.

Batterman S., Hatzivasilis G. and Jia C. (2006) Concentrations and emissions of gasoline and other vapors from residential vehicle garage, Atmospheric Environment, 40: 1828-1844.

Cadle S.H., Mulawa P.A., Ball J. *et al.* **(1997)** Particulate emission rates from high emitting vehicles recruited in Orange County, California, Env. Sc. & Tech., 31: 3405-3412.

Chan M.Y., Burnett J. and Chow W.K. (1997) Personal Exposure to Carbon Monoxide in Underground Car Parks in Hong-Kong, Indoor + Built Environment, 6:350-357.

Chan M.Y. and Chow W.K. (2004) Car park ventilation system: performance evaluation, Building and Environment 39(6): 635-643.

Chao M.R., Lin T-L., Chao H-R. *et al.* **(2001)** Effects of methanol-containing additive on emission characteristics from a heavy-duty diesel engine. Science of the Total Environment, 279 (1-3) :167–179.

Chow W.K. (1995-a) On ventilation design for underground car parks, Tunneling and Underground Space Technology, 10(2): 225–245.

Chow W.K. and Fung W.Y. (1995-b) Survey on the indoor environment of enclosed car parks in Hong Kong, Tunnelling and Underground Space Technology, 10(2): 247-255.

Chow W.K. (1996-a) Simulation of carbon monoxide level in enclosed car parks using an air flow network program, Tunnelling and Underground Space Technology, 11(2): 237-240.

Chow W.K., Wong L.T. and Fung W.Y. (1996-b) Field study on the indoor thermal environment and carbon monoxide levels in a large underground car park, Tunnelling and Underground Space Technology, 11(3): 333-343.

Cicchella D., De Vivo B. and Lima A. (2003) Palladium and platinum concentration in soils from the Napoli metropolitan area, Italy: possible effects of catalytic exhausts, The Science of the Total Environment, 308: 121-131.

Colbeck I. (1998) Nitrogen dioxide in the workplace environment, Environmental Monitoring and Asessement, 52: 123-130.

Crump K.S. (2000) Manganese exposures in Toronto during use of gasoline additive methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, 10: 227-239.

Duci A., Papakonstantinou K., Chaloulakou A., and Markatos N. (2004) Numerical approach of carbon monoxide concentration dispersion in an enclosed garage, Building and Environment 39(9): 1043-1048.

El Fadel M. Alamedine I., Kazopoulo M *et al.* **(2001)** Carbon monoxide and volatile organic compounds as indicators of indoor air quality in underground parking facilities, Indoor + Built Environment, 10: 70-82.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Filleul L., Medina S., and Cassadou S. (2003) Urban particulate air pollution : from epidemiology to health impact in public health, Rev. Epidémiologie Santé Publique, 51 (5) : 527-42.

Gomez B., Palacios M.A., Gomez M. *et al.* **(2002)** Levels and risk assessment for humans and ecosystems of platinum-group elements in the airborne particles and road dust of some European cities, The Science of the Total Environment, 299: 1-19.

Graham L.A., Noseworthy L.,Fugler D. *et al* **(2004)** Contribution of vehicle emissions from an attached garage to residential indoor air pollution levels, Journal of the Air & Waste Management Association 54(5): 563-584.

Graham L. (2005) Chemical characterisation of emissions from advanced technology light-duty vehicles, Atmospheric Environment, 39, 2385-98.

Graupner J.O. (1996) The effect of MTBE in gasolines on regulated exhaust emissions from current European vehicles. Warrendale, PA, Society of Automotive Engineers (SAE Paper No. 962025).

Hares R.J. and Ward N.I. (2004) Sediment accumulation in newly constructive vegetative treatment facilities along a new major road, The Science of the Total Environment, 334-335, 473-9.

He B.Q., Wang J-X., Hao J-M. *et al.* **(2003)** A study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels. Atmospheric Environment, 37:949–957.

Ho J.C., Xue H. and Tay K.L. (2004) A field study on determination of carbon monoxide level and thermal environment in an underground car park, Building and Environment, 39(1): 67-75.

Höglund P.G. (2004) Parking, energy consumption and air pollution, Science of the Total Environment, 334-35: 39-45.

Hutchinson E.J. and Pearson P.J.G. (2004) An evaluation of the environmental and health effects of vehicle exhaust catalysts in the United Kingdom, Environmental Health Perspectives, 112(2): 132-141.

Jo W-K. and Song K-B. (2001) Exposure to volatile organic compounds for individuals with occupations associated with potential exposure to motor vehicle exhaust and/or gasoline vapor emissions, The Science of The Total Environment, 269 (1-3): 25-37.

Joumard R. (2005) The stakes of air pollution in the transport sector, from the French case, Atmospheric Environment, 39, 2491-7.

Kuusimaki L., Peltonen K., Mutanen P. *et al.* **(2003)** Analysis of particle and vapour phase PAHs from the personal air samples of bus garage workers exposed to diesel exhaust, Annals of Occupational Hygiene, 47(5): 389-398.

Laschober C., Limbeck A., Rendl J. and Puxbaum H. (2004) Particulate emissions from on-road vehicles in the Kaisermühlen-tunnel, Vienna, Austria, Atmospheric Environment, 38: 2187-2195.

Lavoie J., Roberge B., Lambert J., and Lazure L. (1993) Establishment of an Air-Quality Indicator for Bus Diesel Exhaust in Garages, American Industrial Hygiene Association Journal, 54(8): 426-431.

Lee S.C., Chan L.Y. and Chiu M.Y. (1999) Indoor and outdoor air quality investigation at 14 public places in Hong Kong, Environment International, 25 (4): 443-450.

Leitl B. and Schatzmann M. (2000) Physical modeling of emissions from naturally ventilated underground parking garages, Environmental Monitoring and Assessment, 65(1-2): 221-229.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Manalis N., Grivas G., Protonotarios V. *et al.* **(2005)** Toxic metal content of particulate matter (PM10) within the Greater Area of Athens, Chemosphere, 60(4): 557-566.

Mann H.S. and Brown V. (2001) Personal exposure to benzene and the influence of attached and integral garages, Journal of The Royal Society for the Promotion of Health 121(1): 38-46.

Marchand C., Bulliot B., Le Calvé S. and Mirabel P. (2006) Aldehyde measurements in indoor environments in Strasbourg, France, Atmospheric Environment, 40: 1336-1345.

Merget R. and Rosner G. (2001) Evaluation of the health risk of platinum group metal emitted from automotive catalytic converters, The Science of the Total Environment, 270: 165-173.

Moldovan M., Palacios M.A. and Gomez M.M. (2002) Environmental risk of particulate and soluble platinum group elements released from gasoline and diesel engine catalytic converters, The Science of the Total Environment, 296: 199-208.

Ntziachristos L. and Samaras Z. (2000) Speed-dependent representative emission factors for catalyst passenger cars and influencing parameters. Atmospheric Environment, 34:4611–19.

Ntziachristos L. and Samaras Z. (2001) An empirical method for predicting exhaust emissions of regulated pollutants from future vehicle technologies. Atmospheric Environment, 35:1985–99.

Palacios M.A., Gomez M., Moldovan M. and Gomez B. (2000) Assessment of environmental contamination risk by Pt, Rh and Pd from automobile catalyst, Microchemical Journal, 67 : 105-113.

Papakonstantinou K., Chaloulakou A., Duci A. *et al.* **(2003)** Air quality in an underground garage: computational and experimental investigation of ventilation effectiveness, Energy and Buildings 35(9): 933-940.

Peters A, Dockery DW, Muller JE and Mittelman MA (2001) Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction, Circulation, 103(23) : 2810-2815.

Peters A, Von Klot S, Heier M, *et al.* **(2004)** Exposure to traffic and the onset of myocardial infarction. N Engl J Med, 351(17) : 1721-1730.

Pfeifer G.D., Roper J.M., Dorman D. and Lynam D.R. (2004) Health and environmental testing of manganese exhaust products from use of methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl in gasoline, Science of the Total Environment, 334-35: 397-408 Sp. Iss. SI.

Phillips M.L., Esmen N.A., Hall T.A. and Lynch R. (2005) Determinants of exposure to volatile organic compounds in four Oklahoma cities, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 15(1): 35-46.

Pope CA, Burnett RT, Thun MJ. *et al* **(2002)** Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution, JAMA, 287(9) : 1132-1141.

Poulopoulos S. and Philippopoulos C. (2000) Influence of MTBE addition into gasoline on automotive exhaust emissions. Atmospheric Environment, 34:4781–4786.

Ravindra K., Bencs L. and Van Grieken R. (2004) Platinum group elements in the environment and their health risk, The Science of the Total Environment, 318: 1-43.

Riediker M., Devlin R.B., Griggs T.R. *et al.* **(2004)** Cardiovascular effects in patrol officers are associated with fine particulate matter from brake wear and engine emissions, Particle and Fibre Technology, BioMed, 1:2.

Rollin H., Mathee A., Levin J. *et al.* **(2005)** Blood manganese concentrations among first-grade schoolchildren in two South African cities, Environmental Research, 97(1): 93-99.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Sternbeck J., Sjödin A.A. and Andréasson K. (2002) Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension—results from two tunnel studies, Atmospheric Environment, 36(30): 4735-44.

Tsai P.-Y. (2000) Penetration of Evaporative Emissions into a Home from an M85-Fueled Vehicle Parked in an Attached Garage, Journal of the Air & Waste Management Association 50: 371-377.

Var F., Narita Y. and Tanaka S. (2000) The concentration, trend and seasonal variation of metals in the atmosphere in 16 Japanese cities shown by the results of National Air Surveillance Network (NASN) from 1974 to 1996, Atmospheric Environment, 34(17): 2755-70.

Wong Y. (2002) Assessment of the Air Quality in indoor car parks, Indoor+Built Environment, 11(3): 134-145.

Xue H. and Ho J.C. (2000) Modelling of heat and carbon monoxide emitted from moving cars in an underground car park, Tunelling and Underground Space Technology, 15(1): 101-115.

Zenger A. and Rau M. (2002) A screening model to assess air quality in the vicinity of car parks, Transport and Air Pollution 11th International Symposium, 19-21 June 2002, Graz, VKM-TDH Mitteilungen, Volume I, p 125-129.

9.2 Rapports, ouvrages, thèses

AFSSE (2004) Impact de la pollution atmosphérique urbaine, Agence française de sécurité sanitaire environnementale. http://www.afsse.fr

Air Pays de La Loire (2003) Mesures de la qualité de l'air à l'intérieur du parking du Ralliement à Angers, 6 juin au 5 juillet 2002, rapport référencé E-FDz040048-FDz. http://www.airpl.org

Air Pays de La Loire (2004) Mesures de la qualité de l'air à l'intérieur du parking Graslin à Nantes, 13 octobre au 3 décembre 2003, rapport référencé E-FDz02921-FDz-CBt. http://www.airpl.org

AP42 (1995) United States-Environmental Protection Agency, Compilation of air pollutant Emission factors. AP42, fifth edition, volum 1 : stationary point and area source. US-EPA, Office or Air Quality, Planning and Standards. http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html

APPA (2003) Les « Sentinelles de l'air », Étude de l'exposition individuelle aux NO_x, CO et BTEX dans les agglomérations de Lille et de Dunkerque Bilan de deux campagnes de mesures. Corinne Schadkowski et Valérie Malrieu.

ASPA (2005) Campagne de mesure dans les lieux publics sur l'agglomération mulhousienne, Rapport relatif à la campagne de mesures qui s'est déoulée du 21 février au 20 avril 2005. Rapport référencé ASPA05113001-ID. http://www.atmo-alsace.net/

ATMO PC (2003) La qualité de l'air dans le parking de la Place de Verdun à La Rochelle, Vent d'Ouest N°20, p3. http://www.atmo-poitou-charentes.org

Atmosf'Air Bourgogne (2001) Parking Tremouille, Résultats des mesures : Mai/juin 2001. http://www.atmosfair-bourgogne.asso.fr

Auto-Oil (2000) A Technical Study on Fuels Technology related to the Auto-Oil II Programme, Final report, Volume II, Alternative Fuels, December 2000.
http://europa.eu.int/comm/energy/oil/fuels/doc/alternative_fuels_en.pdf

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Cicolella A. (2001) Risques pour la santé et l'environnement liés aux métaux utilisés dans les pots catalytiques, INERIS, étude conduite pour le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement.

CONCAWE (2005) Evaluation of automotive polycyclic hydrocarbons emissions, Report No 4/05, Conservation of Clean Air and Water in Europe.

COPERT III (2000) Computer programme to calculate emissions from road transport, Methodology and emission factors, Version 2.1, European Environment Agency. Technical Report No 49. http://reports.eea.eu.int/Technical_report_No_49/en/tech49.pdf

CSHPF (1998) Qualité de l'air dans les ouvrages souterrains ou couverts, Conseil supérieur d'hygiène publique de France, Section des milieux de vie, Ministère de l'emploi et de la solidarité.

DeCicco J.M. (2001) Fuel cell vehicles. Technology, market, and policy issues. Warrendale, PA, Society of Automotive Engineers, Inc. (Research Report, RR-010).

DGS (2004) Sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures routières, Institut de veille sanitaire. http://www.sante.gouv.fr

Delsey J. (2002) Quels sont les facteurs influençant les émissions des véhicules ? Primequal-Predit 1995-2000.

EEA (2002) National and central estimates for air emissions from road transport, European Environment Agency. http://www.eea.eu.int/

EMEP/CORINAIR (2005) Emission Inventory Guidebook, Group 7 Road Transport, http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en/page016.html

Géronimi J-L. (2000) Le monoxyde de carbone, Éditions Tec & Doc.

Giroult E. (2002) Pollution de l'air et transports, Étude sur l'interrelation réelle entre les émissions provenant des transports et la qualité de l'air, compte tenu des évolutions techniques prévisibles et la transposition des directives européennes sur la qualité de l'air, Conseil Général des Ponts et Chaussées, Rapport n°2000-0089-01.

Gritsch T. (2001) Tiefgaragenabluft – Analyse und Bewertung der Luftqualität, TÜV Süddeutschland Bau und Betrieb GmBH, München.

INRS (2005) Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. INRS, editor, ND 2098, 1-21, Paris, France, INRS, Notes documentaires.

Krarti M., Ayari A. and Grot R.A. (1999) Evaluation of fixed and variable rate ventilation system requirements for enclosed parking facilities. Final report for ASHRAE Project 945-RP.

Krarti M. and Ayari A. (2001) Ventilation for enclosed parking garages, ASHRAE Journal, February 2001.

Lamy S. (1995) Qualité de l'air intérieur dans les parcs de stationnements souterrains au Canada, Santé Canada

National Research Council (1983) Risk assessment in the Federal Government : Managing the process. Washington, DC : National Academy Press.

OMS (2000) Air Quality Guidelines for Europe, 2nd Edition. Geneva, World Health Organization. Consultable sur Internet : http://www.who.dk/document/e71922.pdf

OMS (2004) Guidelines for drinking water quality – Recommandations, 3rd Edition. Geneva, World Health Organization.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

OMS (2005) Health effects of transport-related air pollution, edited by Michal Krzyzanowski, World Health Organization, Europe Office.

OMS (2006) WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global update 2006, Summary of risk assessment. http://www.who.dk/

PEP (2004) Transport, Health and Environment Pan-European Programme, Transport-related Health Effects with a Particular Focus on Children, Air Pollution.

SFSP (1996) La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique, Bilan de 15 ans de recherche internationale, Société française de santé publique. Collection Santé et Société.

UK (2002) United Kingdom Road Transport Emission Inventory, NECTEN. http://www.aeat.co.uk/

US-EPA (2000) Technical Support Document: Control of Emissions of Hazardous Air Pollutants from Motor Vehicles and Motor Vehicle, Fuels Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality, U.S. Environmental Protection Agency. EPA420-R-00-023.

Westerlund K.G. (2001) Metal emissions from Stockholm traffic-wear of brake linings. Report from SLB. Analys.No 3.

9.3 Textes réglementaires

Arrêté du 9 mai 2006 (paru au Journal officiel de la République Française du 8 juillet 2006) portant approbation de dispositions complétant et modifiant le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public (parcs de stationnement couverts).

9.4 Communications, actes de conférences

Düring I. (2002) Estimation of the "non-exhaust pipe" PM10 emissions of streets for pratical traffic air pollution modelling. In TAP, 2002, Vol. I, pp 309-316.

TAP (2002) Transport and Air Pollution 11th International Symposium, 19-21 June 2002, Graz, VKM-TDH Mitteilungen.

Warner L.R. (2002) Non-exhaust particle emissions from road transport. In TAP, 2002, Vol. I, pp 265-272.

9.5 Sites web

AP42 (1995) United States-Environmental Protection Agency, Compilation of air pollutant Emission factors. AP42, fifth edition, volum 1 : stationary point and area source. US-EPA, Office or Air Quality, Planning and Standards. http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) US. http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html

UK (2002) United Kingdom Road Transport Emission Inventory, NECTEN.http://www.aeat.co.uk/

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

IRIS (Integration Risk Information System), US EPA, Etats-Unis.
http://www.epa.gov/iris/subst/index.html

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment). http://www.oehha.ca.gov/air.html

OMS (Organisation Mondiale de la Santé). http://www.who.int/fr/index.html

RIVM (Risjkslnstituut voor Volksgezondheid en Milieu). http://www.rivm.nl/

Santé Canada. http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Notes

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

afsset

agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail

Recommandations pour la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts

Saisine n°2005/006

ANNEXES AU RAPPORT

du groupe de travail Afsset
« Parcs de stationnement couverts »

janvier 2007

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1A : Lettre de saisine.....3

Annexe 1B : Premier avis du CES et premier avis de l'AFSSET.....3

Annexe 2 : Synthèse des déclarations publiques d'intérêt 3

Annexe 3 : Inventaire des niveaux de concentration intérieure mesurés dans les parcs de stationnement couverts.....3

Annexe 4 : Résultat d'interrogation de la base de données COLCHIC.....3

Annexe 5 : Tableau récapitulatif des dispositifs de mesure et méthode d'analyse mis en œuvre 3

Annexe 6 : Résultats complémentaires de mesure relatifs aux HAP et aldéhydes 3

Annexe 7 : Evolution des polluants (CO, NO, NO_2 et PM_{10}) en fonction du trafic (ex. du Parc 3) 3

Annexe 8 : Liste des composés émis par le trafic automobile et disponibilité de mesure de concentrations dans des parcs de stationnement couverts.....3

Annexe 9 : Recensement des dangers par inhalation des substances émises....3

Annexe 10 : Tableaux synthétiques des VTR existantes pour les substances de la liste restreinte (non exhaustifs) 3

Annexe 11 : Note de calcul des excès de risque unitaires liés à la pollution atmosphérique urbaine à partir des risques relatifs des études épidémiologiques 3

Annexe 12 : Tables de calcul des scores pour classement des substances.....3

Annexe 13 : Sélection finale des substances d'intérêt 3

Annexe 14 : Cas des polluants non mesurés 3

Annexe 15 : Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence 3

Annexe 16 : Limites des Valeurs Toxicologiques de Référence 3

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 17 : Concentrations ubiquitaires dans différents « micro-environnements » 3

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 1A : Lettre de saisine

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

COURRIER REÇU LE
10 JUIN 2005
10978

MINISTERE DE L'ECOLOGIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE
Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale

MINISTERE DES SOLIDARITES, DE LA SANTE ET DE LA FAMILLE
Direction générale de la santé

Le directeur général de la santé

Le directeur des études économiques et de l'évaluation environnementale

à

Madame la directrice
Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale
27-31 Avenue du Général Leclerc
94701 MAISONS ALFORT

D3

Paris, le 08 JUIN 2005

Saisine
→ Tour CODIR
→ prochain CTS

OBJET : valeurs limites de concentration en polluants dans les parcs de stationnement couverts

PJ : 2

Madame la directrice générale,

La suppression depuis le 1er janvier 2005 (décret n° 2004-645 du 30 juin 2004 modifiant la nomenclature des installations classées) du régime déclaratif relatif aux parcs de stationnement couverts a conduit le Ministère de l'Intérieur, de la Sécurité Intérieure et des Libertés Locales à préparer un projet d'arrêté définissant les dispositions relatives à la sécurité incendie et au risque de panique dans ces établissements, dans lequel seraient intégrées des règles techniques destinées à éviter tout risque sanitaire pour ces établissements recevant du public.

Dans le cadre de cet arrêté, le Ministère chargé de l'Intérieur propose notamment pour ce qui concerne le monoxyde de carbone (CO) et les oxydes d'azote (NOx) de fixer les valeurs limites de concentration ci-dessous :

- *La teneur moyenne calculée sur toute période de huit heures ne doit pas dépasser 30 ppm (60 mg/m3) pour le CO ;*
- *La teneur moyenne calculée sur toute période de quinze minutes ne doit pas dépasser 90 ppm (100 mg/m3) pour le CO ;*
- *La teneur instantanée ne doit pas dépasser 150 ppm (170 mg/m3) pour le CO, 1.6 ppm pour le NO2, ce seuil sera réduit à 0.8 ppm à partir de 2012. Il pourra être vérifié que ce seuil n'est pas atteint par la mesure en continu de NO en appliquant un rapport NO/NO2 de 5, soit 8 ppm (4 ppm à partir du 1er janvier 2012).*

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Le Ministère chargé de l'Intérieur a demandé l'avis de la Direction Générale de la Santé sur cette proposition. Aussi, nous vous demandons d'expertiser les critères de qualité de l'air applicables aux parcs de stationnement couverts et en particulier d'évaluer le risque sanitaire lié aux teneurs proposées en NOx et CO d'une part, pour les usagers et d'autre part, pour les employés.

Dans un deuxième temps, nous souhaiterions que vous réalisiez une revue des données existantes françaises et internationales relatives aux concentrations en polluants atmosphériques dans les parcs de stationnement couverts.

En outre, nous vous signalons que le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France a rendu un avis en date du 14 décembre 1998, concernant *"la qualité de l'air dans les ouvrages souterrains ou couverts"* . A toutes fins utiles, vous voudrez bien trouver ci-joint cet avis, ainsi que le rapport d'experts ayant servi de base à sa rédaction.

Compte tenu de l'urgence concernant la publication de cet arrêté, nous vous serions reconnaissants de nous communiquer votre avis, durant l'été, sur les valeurs proposées par le Ministère de l'Intérieur en CO et NOx, sachant que le rapport final devra nous être transmis en fin d'année 2005.

Nos services se tiennent à votre disposition pour de plus amples renseignements.

Nous vous prions d'agréer, Madame la directrice générale, l'assurance de notre considération distinguée.

Le directeur général de la santé
Pour le ministre et par délégation
Le Directeur Général de la Santé

Professeur Didier HOUSSIN

Le directeur des études économiques et de l'évaluation environnementale

Le directeur des études économiques
et de l'évaluation environnementale

Guillaume SAINTENY

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 1B : Premier avis du CES et premier avis de l'AFSSET

Saisine n° 2005/006

afsset • agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail

Avis préliminaire

du Comité d'Experts Spécialisés

« Evaluation des risques liés aux milieux aériens »

adopté à l'unanimité le 14 octobre 2005

relatif aux

« Valeurs limites de concentration en polluants dans les parcs de stationnement couverts »
&
au rapport préliminaire préparé par l'Afsset

(saisine conjointe des ministères en charge de la santé et de l'environnement)

Avis élaboré par le Comité d'Experts Spécialisé « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » en séance plénière du 14 octobre 2005.
Le CES est présidé par M. Christian Elichegaray.

1/3

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Dans un courrier en date du 8 juin 2005, la Direction générale de la santé (DGS) et la Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale (D4E) ont saisi l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) dans le but d'expertiser les critères de qualité de l'air applicables aux parcs de stationnement couverts et, en particulier, d'évaluer le risque sanitaire lié aux teneurs proposées en NO_2 et CO pour les usagers et pour les employés.

En effet, le ministère chargé de l'Intérieur propose, par l'intermédiaire d'un arrêté, pour ce qui concerne ces deux polluants, de fixer les valeurs limites de concentration ci-dessous :

- *« La teneur moyenne calculée sur toute période de huit heures ne doit pas dépasser 30 ppm (60 mg/m^3) pour le CO*
- *La teneur moyenne calculée sur toute période de quinze minutes ne doit pas dépasser 90 ppm (100 mg/m^3) pour le CO*
- *La teneur instantanée ne doit pas dépasser 150 ppm (170 mg/m^3) pour le CO, 1,6 ppm pour le NO_2, ce seuil sera réduit à 0,8 ppm à partir de 2012. Il pourra être vérifié que ce seuil n'est pas atteint par la mesure en continu de NO en appliquant un rapport NO/NO_2 de 5, soit 8 ppm (4 ppm à partir du 1er janvier 2012) »*

Compte tenu de l'urgence concernant la publication de cet arrêté, il a été demandé à l'Afsset de communiquer un avis préliminaire durant l'été sur les valeurs de gestion proposées par le ministère de l'Intérieur pour le CO et le NO_2.

L'Afsset a réalisé, au cours de l'été 2005, un rapport préliminaire correspondant à un travail de commentaire général relatif aux valeurs de référence proposées sur la base de la littérature disponible et des normes et valeurs de référence déjà existantes.

Trois membres du CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » ont accepté, sur désignation du président du CES, d'effectuer une relecture critique de ce rapport préliminaire. Il s'agit de Madame Séverine Kirchner et de Messieurs Philippe Glorennec et René Alary.

A l'occasion de la séance plénière du CES tenue le 14 octobre 2005, l'Afsset a présenté le rapport préliminaire cité. Les membres du CES en charge de la relecture critique de ce document ont fait part de leurs commentaires lors de cette même séance.

Considérant que la saisine relative « aux valeurs limites de concentration en polluants dans les parcs de stationnement couverts » relève de son champ de compétences ;

Considérant l'ensemble des informations porté à connaissance

Le CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens »

– Reprend à son compte les principales conclusions du rapport préliminaire préparé par l'Agence :

> *« Les études des concentrations atmosphériques en CO et NO_2 dans les parcs de stationnement sont peu nombreuses. Cependant ces concentrations peuvent être relativement élevées et se pose d'ores et déjà la question d'une meilleure connaissance de la qualité de l'air dans ces microenvironnements dans un objectif d'évaluation du risque.*

2/3

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

La valeur sur 8 heures (60 mg/m^3) proposée pour le CO ne semble pas protectrice de la santé des populations concernées, en particulier les salariés.

La proposition faite pour le NO_2, tant en termes de valeur, de durée que de caractérisation des concentrations, ne semble pas justifiée sur la base des premiers éléments collectés.

Enfin, on peut regretter que seuls le CO et le NO_2 soient visés par l'arrêté du ministère chargé de l'Intérieur. En effet, dès 1998, le CSHPF considérait dans son avis relatif aux ouvrages souterrains les particules fines en suspension comme un indicateur important de la qualité de l'air mais ne pouvant alors pas être mesurées de façon satisfaisante. Il conviendrait de remettre cette question en perspective des avancées technologiques et de mieux documenter la qualité de l'air par la mesure outre de PM10 ou PM2.5 de certains HAM (benzène, toluène notamment). A noter que dans le cas de substances sans seuil d'action (cancérogène comme le benzène par exemple), la fixation de valeurs limites impliquerait d'être en mesure de statuer sur l'acceptabilité du risque (...).

Il convient enfin de s'interroger, au-delà des textes stricto sensu de la saisine concernant les parcs de stationnement couverts, d'une part sur le domaine d'application de ces valeurs (visent elles également les parcs de stationnement privés d'immeuble d'habitation quel que soit le nombre de véhicules?), d'autre part sur l'intérêt d'une telle réflexion, d'ailleurs évoqués dans les travaux du CHSPF, pour d'autres environnements « clos » soumis à la pollution par gaz d'échappement de véhicules motorisés (...). »

– Considère comme n'assurant pas un niveau suffisant de protection de la santé du public fréquentant les parcs de stationnement souterrains, et les personnels, les valeurs proposées pour le CO (8 heures) et le NO_2, au regard notamment de la littérature disponible et des recommandations de l'OMS en particulier ;

– Recommande une mesure directe des valeurs de NO_2 plutôt qu'une évaluation via le ratio NO/NO_2 ;

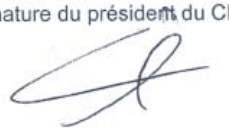
– Attire l'attention des ministères concernés sur la nécessité de prendre également en compte d'autres polluants atmosphériques que le CO et le NO_2 en vue de prévenir les risques sanitaires liés à la qualité de l'air des parkings, notamment les particules et le benzène ;

– Préconise que le rapport final s'intéresse également aux modalités de gestion de la ventilation.

Par ailleurs, à l'occasion de ses réflexions, le CES souligne l'intérêt de prendre en considération, d'autres types d'espaces confinés soumis à des émissions de véhicules équipés de moteur à combustion interne.

Date : le 24 octobre 2005

Signature du président du CES



3/3

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

afsset • agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail

Avis de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail

relatif au projet d'arrêté relatif aux parcs de stationnement couverts proposant en particulier des valeurs limites de concentration en polluants

Saisine Afsset n° 2005/006

L'AFSSET a été saisie le 8 juin 2005, par les ministères chargés de la santé et de l'environnement, d'une demande d'avis sur un projet d'arrêté relatif aux parcs de stationnement couverts proposant en particulier des valeurs limites de concentration en polluants.

La demande concerne un projet d'arrêté du ministère de l'intérieur, de la sécurité intérieure et des libertés locales définissant les dispositions relatives à la sécurité incendie et au risque de panique dans ces établissements, dans lequel seraient intégrées des règles techniques destinées à éviter tout risque sanitaire pour ces établissements recevant du public.

L'instruction de cette saisine a été confiée par l'Agence à son Comité d'Experts Spécialisés « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » (CES). Compte tenu du degré d'urgence relatif à la publication de l'arrêté suscité, l'instruction s'effectue en deux temps :

- Dans un premier temps (à l'automne 2005), des recommandations initiales au regard des valeurs limites proposées dans le projet d'arrêté, sur la base, par ailleurs, d'un rapport préliminaire préparé par l'agence ;
- Dans un second temps (pour la fin 2006), des travaux plus approfondis visant à fournir des recommandations relatives à des valeurs de référence pour ce type d'enceinte ;

On notera la détection d'une erreur dans le texte de la saisine transmise à l'Agence (60 mg/m^3 de CO correspondent à 50 ppm et non à 30 ppm) et son interprétation par l'agence et le CES comme erreur dactylographique, posant comme hypothèse que la valeur de 60 mg/m^3 (50 ppm) est la valeur proposée dans le projet d'arrêté.

La séance plénière du CES du 14 octobre 2005, en partie consacrée à cette saisine, a donné lieu à la production de l'avis du CES suivant :

Considérant que la saisine relative « aux valeurs limites de concentration en polluants dans les parcs de stationnement couverts » relève de son champ de compétences ;

Considérant l'ensemble des informations portées à sa connaissance ;

253 Avenue du Général Leclerc - 94701 MAISONS-ALFORT CEDEX
☎ 01 56 29 19 30 - 🖷 01 43 96 37 67 - http://www.afsset.fr

© Afsset

Le CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » :

– Reprend à son compte les principales conclusions du rapport préliminaire préparé par l'Agence :

> *« Les études des concentrations atmosphériques en CO et NO_2 dans les parcs de stationnement sont peu nombreuses. Cependant ces concentrations peuvent être relativement élevées et se pose d'ores et déjà la question d'une meilleure connaissance de la qualité de l'air dans ces microenvironnements dans un objectif d'évaluation du risque.*
>
> *La valeur sur 8 heures (60 mg/m^3) proposée pour le CO ne semble pas protectrice de la santé des populations concernées, en particulier les salariés.*
>
> *La proposition faite pour le NO_2, tant en termes de valeur, de durée que de caractérisation des concentrations, ne semble pas justifiée sur la base des premiers éléments collectés.*
>
> *Enfin, on peut regretter que seuls le CO et le NO_2 soient visés par l'arrêté du ministère chargé de l'Intérieur. En effet, dès 1998, le CSHPF considérait dans son avis relatif aux ouvrages souterrains les particules fines en suspension comme un indicateur important de la qualité de l'air mais ne pouvant alors pas être mesurées de façon satisfaisante. Il conviendrait de remettre cette question en perspective des avancées technologiques et de mieux documenter la qualité de l'air par la mesure outre de PM10 ou PM2.5 de certains HAM (benzène, toluène notamment). A noter que dans le cas de substances sans seuil d'action (cancérogène comme le benzène par exemple), la fixation de valeurs limites impliquerait d'être en mesure de statuer sur l'acceptabilité du risque (...).*
>
> *Il convient enfin de s'interroger, au-delà des textes stricto sensu de la saisine concernant les parcs de stationnement couverts, d'une part sur le domaine d'application de ces valeurs (visent elles également les parcs de stationnement privés d'immeuble d'habitation quel que soit le nombre de véhicules?), d'autre part sur l'intérêt d'une telle réflexion, d'ailleurs évoqués dans les travaux du CHSPF, pour d'autres environnements « clos » soumis à la pollution par gaz d'échappement de véhicules motorisés (...). »*

– Considère comme n'assurant pas un niveau suffisant de protection de la santé du public fréquentant les parcs de stationnement souterrains, et les personnels, les valeurs proposées pour le CO (8 heures) et le NO_2, au regard notamment de la littérature disponible et des recommandations de l'OMS en particulier ;

– Recommande une mesure directe des valeurs de NO_2 plutôt qu'une évaluation via le ratio NO/NO_2 ;

– Attire l'attention des ministères concernés sur la nécessité de prendre également en compte d'autres polluants atmosphériques que le CO et le NO_2 en vue de prévenir les risques sanitaires liés à la qualité de l'air des parkings, notamment les particules et le benzène ;

– Préconise que le rapport final s'intéresse également aux modalités de gestion de la ventilation.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Par ailleurs, à l'occasion de ses réflexions, le CES souligne l'intérêt de prendre en considération, d'autres types d'espaces confinés soumis à des émissions de véhicules équipés de moteur à combustion interne.

Avis de l'Agence :

Avis conforme de l'AFSSET s'agissant des conclusions et des recommandations émises par son Comité d'Experts Spécialisés « Evaluation des risques liés aux milieux aériens ».

L'Agence précise par ailleurs qu'un groupe de travail issu du CES « Evaluation des risques liés aux milieux aériens » a été mis en place, sur la base des recommandations du comité, dans le but de :

- ***Collecter et analyser des données récentes relatives aux concentrations de polluants rencontrées dans les parcs de stationnement couverts ;***
- ***Proposer de nouvelles valeurs de référence en polluants relatives aux parcs de stationnement couverts.***

Ces travaux donneront lieu à l'émission d'un second avis de la part du CES et de l'agence.

Michèle Froment-Védrine
Directrice générale de l'AFSSET

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 2 : Synthèse des déclarations publiques d'intérêt

RAPPEL DES RUBRIQUES DE LA DECLARATION PUBLIQUE D'INTERETS

IP-A	Interventions ponctuelles : autres
IP-AC	Interventions ponctuelles : activités de conseil
IP-CC	Interventions ponctuelles : conférences, colloques, actions de formation
IP-RE	Interventions ponctuelles : rapports d'expertise
IP-SC	Interventions ponctuelles : travaux scientifiques, essais, etc.
LD	Liens durables ou permanents (Contrat de travail, rémunération régulière …)
PF	Participation financière dans le capital d'une entreprise
SR	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Parents salariés dans des entreprises visées précédemment)
SR-A	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Participation à conseils d'administration, scientifiques d'une firme, société ou organisme professionnel)
VB	Activités donnant lieu à un versement au budget d'un organisme

DECLARATIONS PUBLIQUES D'INTERETS DES MEMBRES

NOM	Prénom *Rubrique de la DPI* Description de l'intérêt	Date de déclaration des intérêts
ALARY	**René** ***IP-A*** COFRAC (Audits Qualité)	1er juin 2004 mise à jour le 20 juin 2005
BLANCHARD	**Olivier** ***LD*** INERIS (employeur)	1er juillet 2003
DUPAS	**Dominique** Aucun lien déclaré	25 novembre 2005

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

NOM	Prénom *Rubrique de la DPI* Description de l'intérêt	Date de déclaration des intérêts
FILLEUL	**Laurent** ***IP-SC*** Laboratoire Santé Travail Environnement (recherches épidémiologiques) ***IP-CC*** Participation à divers colloques et congrès (pollution atmosphérique et Santé-épidémiologie) Formations dispensées en écoles et universités (Epidémiologie et Environnement) ***SR-A*** AIRAQ (Conseil d'administration)	17 juin 2003 mise à jour le 21 décembre 2005
GLORENNEC	**Philippe** ***PF*** Gaz de France Legris SA (épargne salariale) ***LD*** ENSP (CDD en cours) AIR BREIZH (Conseil d'administration) ***IP-SC*** Multiples (analyses d'eau, d'air…par labo de l'ENSP) ***IP-RE*** Multiples (travaux d'autres enseignants, chercheurs, experts de l'ENSP) ***IP-AC*** INSERM (expertise collective « Dépistage du saturnisme infantile) InVS (groupes de travail et validation de documents) ***IP-CC*** INERIS (Commission scientifique – 2002 à 2005) METALEUROP (Conseil scientifique -2003 à 2006) ***IP-A*** Multiples (formations continues ENSP) Collectivités territoriales, syndicats de traitement de déchets, Universités, entreprises, associations (Cours et conférences) ***SR*** LEGRIS SA (conjoint) Ville de Rennes (frère)	4 juillet 2003, mise à jour le 23 novembre 2006

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

NOM	Prénom *Rubrique de la DPI* Description de l'intérêt	Date de déclaration des intérêts
LE MOULLEC	**Yvon** ***IP-CC*** Table ronde sur la santé environnementale (Véolia Environnement) ***VB*** RATP, SNCF, SAGEP	22 août 2005
MANDIN	**Corinne** Aucun lien déclaré	14 novembre 2005
MILLET	**Maurice** ***VB*** Thèses, conventions de recherches scientifiques (Total, UIPP) (Centre de Géochimie de la surface UMR 7517 CNRS-Université Louis Pasteur)	12 juin 2003, mise à jour le 25 octobre 2005
MORIN	**Jean-Paul** Aucun lien déclaré	29 juin 2004, mise à jour le 18 octobre 2005

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 3 : Inventaire des niveaux de concentration intérieure mesurés dans les parcs de stationnement couverts

Concentration en µg/m³ quand l'unité n'est pas précisée

Substance	Min	Moyenne	a / g	Max	T°	HR	Nb prélèvements	Taille du parking	Taux d'occupation	Ventilation	Date	Pays	Réf. biblio
CO													
CO (ppm)	?	10		25 matin et 43 soir (instant.)			Mesures en continu 5 * 1 semaine au niveau -1	30 000 m² = 1242 places sur 3 niveaux (bureaux)	830 veh./jour	naturelle	hiver 93/94	France	CSHPF, 1998
CO (ppm)	?	21		131 sur 15 minutes			Mesures en continu pendant 3 jours au niveau -2	1 200 m² = 591 places sur 8 niveaux (bureaux)	300 veh./jour	mécanique	janv-94	France	CSHPF, 1998
CO (ppm)	0.5	4		6.5			Mesures en continu (capteurs électrochimiques) au -3	9 200 m², soit 80 places de bus	?	mécanique asservie	juil-94	France	CSHPF, 1998
CO (ppm)	0.6	1.5		2.2			Mesures en continu (capteurs électrochimiques) au -3	9 200 m², soit 80 places de bus	?	mécanique permanente	août-95	France	CSHPF, 1998
CO (mg/m³)	?	6.4		p98 = 31.6 ; max. 30 min. = 39.6			Mesures en continu pendant 45 heures	240 places sur 2 niveaux, immeuble de bureaux	?	mécanique	1998	Allemagne	Gritsch, 2001
CO (mg/m³)	?	4.5		p98 = 16.3 ; max. 30 min. = 19.4			Mesures en continu pendant 42 heures	310 places sur ? niveaux, parking d'hôpital	?	mécanique	nov-98	Allemagne	Gritsch, 2001
CO (ppm)	3	4.2		6	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
CO (ppm)	<1	2.1		4	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
CO (ppm)	7	11		18	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
CO (ppm)	21	24		44	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
CO (ppm)	10	15		26	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
CO (ppm)	14	16		29	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
NOx													
NO (ppb)	?	160		440 matin et 450 soir (instant.)			Mesures en continu 5 * 1 semaine au niveau -1	30 000 m² = 1242 places sur 3 niveaux (bureaux)	830 veh./jour	naturelle	hiver 93/94	France	CSHPF, 1998
NO (ppb)	?	382		756 sur 1 heure			Mesures en continu pendant 3 jours au niveau -2	1 200 m² = 591 places sur 8 niveaux (bureaux)	300 veh./jour	mécanique	janv-94	France	CSHPF, 1998
NO (ppb)	0	1500		3000			Mesures en continu (capteurs électrochimiques) au -3	9 200 m², soit 80 places de bus	?	mécanique asservie	juil-94	France	CSHPF, 1998
NO (ppb)	0	450		850			Mesures en continu (capteurs électrochimiques) au -3	9 200 m², soit 80 places de bus	?	mécanique permanente	août-95	France	CSHPF, 1998
NO	?	92		p98 = 409 ; max. 30 min. = 495			Mesures en continu pendant 45 heures	240 places sur 2 niveaux, immeuble de bureaux	?	mécanique	1998	Allemagne	Gritsch, 2001

NO	?	92	p98 = 329 ; max. 30 min. = 356			Mesures en continu pendant 42 heures	310 places sur ? niveaux, parking d'hôpital	?	mécanique	nov-98	Allemagne	Gritsch, 2001
NO_2 (ppb)	?	38	45 matin et 49 soir (instant.)			Mesures en continu 5 * 1 semaine au niveau -1	30 000 m² = 1242 places sur 3 niveaux (bureaux)	830 veh./jour	naturelle	hiver 93/94	France	CSHPF, 1998
NO_2 (ppb)	?	92	172 sur 1 heure			Mesures en continu pendant 3 jours au niveau -2	1 200 m² = 591 places sur 8 niveaux (bureaux)	300 veh./jour	mécanique	janv-94	France	CSHPF, 1998
NO_2 (ppb)	30	350	660			Mesures en continu (capteurs électrochimiques) au -3	9 200 m², soit 80 places de bus	?	mécanique asservie	juil-94	France	CSHPF, 1998
NO_2 (ppb)	20	150	250			Mesures en continu (capteurs électrochimiques) au -3	9 200 m², soit 80 places de bus	?	mécanique permanente	août-95	France	CSHPF, 1998
NO_2	?	74	?	?	?	1 tube passif exposé 15 jours au niveau -1	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
NO_2	?	102	p98 = 168 ; max. 30 min. = 183			Mesures en continu pendant 45 heures	240 places sur 2 niveaux, immeuble de bureaux	?	mécanique	1998	Allemagne	Gritsch, 2001
NO_2	?	31	p98 = 122 ; max. 30 min. = 300			Mesures en continu pendant 42 heures	310 places sur ? niveaux, parking d'hôpital	?	mécanique	nov-98	Allemagne	Gritsch, 2001
NOx (ppm)	0.3	?	0.9	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
NOx (ppm)	0.4	?	1.5	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
NOx (ppm)	0.8	?	1.4	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
NOx (ppm)	0.7	?	1.4	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
SO_2												
SO_2 (ppb)	?	36	112 sur 10 minutes			Mesures en continu pendant 3 jours au niveau -2	1 200 m² = 591 places sur 8 niveaux (bureaux)	300 veh./jour	mécanique	janv-94	France	CSHPF, 1998
SO_2 (ppb)	?	29	124 sur 10 minutes			Mesures en continu (capteurs électrochimiques) au -3	9 200 m², soit 80 places de bus	?	mécanique asservie	juil-94	France	CSHPF, 1998
SO_2 (ppb)	?	12	81 sur 10 minutes			Mesures en continu (capteurs électrochimiques) au -3	9 200 m², soit 80 places de bus	?	mécanique permanente	août-95	France	CSHPF, 1998
SO_2	?	5	p98 = 15 ; max. 30 min. = 17			Mesures en continu pendant 45 heures	240 places sur 2 niveaux, immeuble de bureaux	?	mécanique	1998	Allemagne	Gritsch, 2001
SO_2	?	LD	toutes mesures inférieures à LD			Mesures en continu pendant 42 heures	310 places sur ? niveaux, parking d'hôpital	?	mécanique	nov-98	Allemagne	Gritsch, 2001
SO_2	inférieur à la limite de détection de 0.2 ppm en tout point de mesure						1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
H_2S												
H_2S	?	2	p98 = 7 ; max. 30 min. = 8			Mesures en continu pendant 45 heures	240 places sur 2 niveaux, immeuble de bureaux	?	mécanique	1998	Allemagne	Gritsch, 2001
H_2S	?	LD	toutes mesures inférieures à LD			Mesures en continu pendant 42 heures	310 places sur ? niveaux, parking d'hôpital	?	mécanique	nov-98	Allemagne	Gritsch, 2001
Ammoniac	?	?	42			Métrologie non renseignée	2 parkings (240 et 310 places ; bureaux et hôpital)	?	mécanique	1999	Allemagne	Gritsch, 2001
Poussières totales												
Poussières totales	30	206	449	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Poussières totales	103	345	554	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Poussières totales	40	202	470	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Poussières totales	41	176	397	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
PM10												
PM10	?	?	57			Métrologie non renseignée	2 parkings (240 et 310 places ; bureaux et hôpital)	?	mécanique	1999	Allemagne	Gritsch, 2001
PM10	99	166	237	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
PM10	72	108	183	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
PM2.5												
PM2.5	65	120	166	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
PM2.5	51	82	145	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
COV												
Benzène												
Benzène	?	20	?	?	?	1 tube passif exposé 15 jours au niveau -1	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Benzène	?	94	p98 = 279 ; max. 30 min. = 288			Mesures en continu pendant 45 heures	240 places sur 2 niveaux, immeuble de bureaux	?	mécanique	1998	Allemagne	Gritsch, 2001
Benzène	?	42	p98 = 110 ; max. 30 min. = 141			Mesures en continu pendant 42 heures	310 places sur ? niveaux, parking d'hôpital	?	mécanique	nov-98	Allemagne	Gritsch, 2001
Benzène	8.79	29.4	131	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Benzène	0.86	2.36	4.16	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Benzène	47	58	63	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Benzène	67	93	132	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Benzène	45	69	88	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Benzène	38	51	78	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Toluène												
Toluène	?	151	?	?	?	1 tube passif exposé 15 jours au niveau -1	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Toluène	?	645	887 sur 1 heure			Mesures en continu pendant 3 jours au niveau -2	1 200 m² = 591 places sur 8 niveaux (bureaux)	300 veh./jour	mécanique	janv-94	France	CSHPF, 1998
Toluène	?	162	359 sur 3 heures			Mesures en continu (capteurs électrochimiques) au -3	9 200 m², soit 80 places de bus	?	mécanique asservie	juil-94	France	CSHPF, 1998
Toluène	?	347	p98 = 828 ; max. 30 min. = 908			Mesures en continu pendant 45 heures	240 places sur 2 niveaux, immeuble de bureaux	?	mécanique	1998	Allemagne	Gritsch, 2001
Toluène	?	134	p98 = 359 ; max. 30 min. = 524			Mesures en continu pendant 42 heures	310 places sur ? niveaux, parking d'hôpital	?	mécanique	nov-98	Allemagne	Gritsch, 2001
Toluène	140	597	2370	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Toluène	10.8	26.5	46.1	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Toluène	97	128	160	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie,	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-	Canad	Lamy,

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

						3*/semaine pdt 3 mois				fév. 95	a	1995
Toluène	155	218	317	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Toluène	97	162	199	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Toluène	94	126	184	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Ethylbenzène												
Ethylbenzène	4.55	36.8	219	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Ethylbenzène	0.59	1.33	1.33	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Ethylbenzène	15	24	30	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Ethylbenzène	31	42	77	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Ethylbenzène	19	30	38	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Ethylbenzène	18	25	35	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
m,p-xylènes												
m,p-xylènes	?	123	p98 = 380 ; max. 30 min. = 487			Mesures en continu pendant 45 heures	240 places sur 2 niveaux, immeuble de bureaux	?	mécanique	1998	Allemagne	Gritsch, 2001
m,p-xylènes	?	69	p98 = 186 ; max. 30 min. = 239			Mesures en continu pendant 42 heures	310 places sur ? niveaux, parking d'hôpital	?	mécanique	nov-98	Allemagne	Gritsch, 2001
m,p-xylènes	15.3	87.0	256	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
m,p-xylènes	0.64	2.93	6.02	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
m,p-xylènes	60	89	110	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
m,p-xylènes	106	145	226	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
m,p-xylènes	69	105	136	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
m,p-xylènes	55	88	123	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
o-xylène												
o-xylène	?	69	p98 = 192 ; max. 30 min. = 224			Mesures en continu pendant 45 heures	240 places sur 2 niveaux, immeuble de bureaux	?	mécanique	1998	Allemagne	Gritsch, 2001
o-xylène	?	23	p98 = 25 ; max. 30 min. = 79			Mesures en continu pendant 42 heures	310 places sur ? niveaux, parking d'hôpital	?	mécanique	nov-98	Allemagne	Gritsch, 2001
o-xylène	6.43	28.9	97.0	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
o-xylène	0.24	0.82	1.88	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
o-xylène	25	36	46	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
o-xylène	50	59	95	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

o-xylène	28	46	59	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
o-xylène	23	36	57	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
1,2,4-triméthylbenzène												
1,2,4-triméthylbenzène	13.0	40.1	118	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
1,2,4-triméthylbenzène	0.12	0.55	1.49	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
1,2,4-triméthylbenzène	23	36	53	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
1,2,4-triméthylbenzène	47	70	101	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
1,2,4-triméthylbenzène	30	53	81	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
1,2,4-triméthylbenzène	30	38	61	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Méthane												
Méthane	?	1100	p98 = 1200 ; max.30min. = 1300			Mesures en continu pendant 45 heures	240 places sur 2 niveaux, immeuble de bureaux	?	mécanique	1998	Allemagne	Gritsch, 2001
Méthane	?	1200	p98 = 1200 ; max.30min. = 1300			Mesures en continu pendant 42 heures	310 places sur ? niveaux, parking d'hôpital	?	mécanique	nov-98	Allemagne	Gritsch, 2001
Méthane	1078	1331	3981	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Méthane	1019	1384	2372	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Méthane	1502	2014	3110	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Méthane	1050	1523	3389	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Ethane												
Ethane	19	31	294	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Ethane	32	43	131	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Ethane	34	67	173	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Ethane	32	47	347	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Propane												
Propane	0.89	6.47	14.5	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Propane	0.64	4.94	15.7	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Propane	6	14	26	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Propane	12	18	42	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Propane	18	23	32	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Propane	11	16	53	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
n-butane												
n-butane	?	?	32			Métrologie non renseignée	2 parkings (240 et 310 places ; bureaux et hôpital)	?	mécanique	1999	Allemagne	Gritsch, 2001
n-butane	4.74	48.6	156	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
n-butane	0.45	1.91	4.81	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
n-butane	92	281	498	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
n-butane	135	281	448	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
n-butane	428	608	761	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
n-butane	127	335	625	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
n-pentane												
n-pentane	?	?	539			Métrologie non renseignée	2 parkings (240 et 310 places ; bureaux et hôpital)	?	mécanique	1999	Allemagne	Gritsch, 2001
n-pentane	18.7	67.9	146	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
n-pentane	0.59	3.69	9.01	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
n-pentane	35	60	94	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
n-pentane	47	68	104	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
n-pentane	80	113	142	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
n-pentane	40	71	111	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Isopentane (2-méthylbutane)												
Isopentane (2-méthylbutane)	43.2	185	397	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Isopentane (2-méthylbutane)	6.63	17.3	30.8	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Isopentane (2-méthylbutane)	56	124	183	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Isopentane (2-méthylbutane)	74	129	191	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Isopentane (2-méthylbutane)	170	223	273	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Isopentane (2-méthylbutane)	54	141	186	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
n-hexane												
n-hexane	?	?	385			Métrologie non renseignée	2 parkings (240 et 310 places ; bureaux et hôpital)	?	mécanique	1999	Allemagne	Gritsch, 2001
n-hexane	7.65	67.2	320	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

n-hexane	1.65	4.46	7.96	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
n-hexane	20	27	40	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
n-hexane	27	37	53	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
n-hexane	29	43	52	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
n-hexane	20	28	45	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
n-heptane												
n-heptane	2.62	13.1	89.7	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
n-heptane	0.19	0.58	1.48	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
n-heptane	10	15	19	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
n-heptane	17	25	36	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
n-heptane	13	19	23	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
n-heptane	11	14	22	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Isobutane												
Isobutane	1.37	19.2	88.8	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Isobutane	0.18	0.74	1.86	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Isobutane	25	117	182	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Isobutane	31	100	153	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Isobutane	150	208	280	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Isobutane	43	134	148	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Iso-octane (2,2,4-triméthylpentane)												
Iso-octane (2,2,4-triméthylpentane)	4.48	14.3	34.7	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Iso-octane (2,2,4-triméthylpentane)	LD	0.76	1.70	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Iso-octane (2,2,4-triméthylpentane)	17	25	30	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Iso-octane (2,2,4-triméthylpentane)	29	38	59	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Iso-octane (2,2,4-	19	35	41	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv.,	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-	Canad	Lamy,

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

triméthylpentane)						3*/semaine pdt 3 mois				fév. 97	a	1995
Iso-octane (2,2,4-triméthylpentane)	15	22	44	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
3-méthylheptane												
3-méthylheptane	0,31	2,06	7,97	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
3-méthylheptane	LD	LD	LD	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
n-octane												
n-octane	0.25	3.25	30.9	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
n-octane	LD	0.17	0.34	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
n-octane	5	9	12	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
n-octane	9	12	24	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
n-octane	6	10	14	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
n-octane	6	8	11	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
nonane												
nonane	4	4	5	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
nonane	4	5	10	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
nonane	4	4	19	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
décane												
décane	0.67	19.8	263	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
décane	LD	0.27	0.60	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
décane	7	10	17	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
décane	7	15	40	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
décane	4	8	80	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
décane	4	8	19	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
undécane												
undécane	0.77	14.8	189	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
undécane	LD	0.70	1.54	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
2,2-diméthylbutane												
2,2-	0.91	3.30	7.58	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux :	96%	mécanique	août-déc.	Hong-	Wong,

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

diméthylbutane						mois	26 places/niveau			2000	Kong	2002
2,2-diméthylbutane	LD	1.32	3.26	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
2,2-diméthylbutane	5	11	18	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
2,2-diméthylbutane	8	15	49	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
2,2-diméthylbutane	14	17	22	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
2,2-diméthylbutane	10	14	15	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
2,3-diméthylbutane												
2,3-diméthylbutane	2.33	14.2	32.4	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
2,3-diméthylbutane	0.21	1.72	5.41	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
2-méthylpentane												
2-méthylpentane	11.3	57.9	117	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
2-méthylpentane	1.09	3.90	8.79	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
2-méthylpentane	33	48	67	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
2-méthylpentane	42	63	86	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
2-méthylpentane	52	76	89	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
2-méthylpentane	31	53	76	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
3-méthylpentane												
3-méthylpentane	8.08	41.2	99.1	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
3-méthylpentane	0.89	2.68	6.14	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
3-méthylpentane	19	31	45	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
3-méthylpentane	27	41	54	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
3-méthylpentane	34	48	55	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
3-méthylpentane	22	33	47	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
2-méthylhexane												
2-méthylhexane	4.13	12.8	42.8	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
2-méthylhexane	0.13	0.51	1.03	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
3-méthylhexane												
3-méthylhexane	3.32	11.5	42.9	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

3-méthylhexane	0.13	0.48	1.06	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Cyclopentane												
Cyclopentane	1.84	8.19	22.5	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Cyclopentane	0.09	1.25	3.58	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Cyclopentane	6	8	12	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Cyclopentane	7	11	15	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Cyclopentane	11	14	17	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Cyclopentane	7	10	13	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Méthylcyclopentane												
Méthylcyclopentane	1.69	8.90	23.8	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Méthylcyclopentane	LD	0.75	1.91	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Méthylcyclopentane	16	24	30	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Méthylcyclopentane	22	32	41	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Méthylcyclopentane	23	32	37	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Méthylcyclopentane	14	24	35	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Cyclohexane												
Cyclohexane	0.76	9.18	65.4	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Cyclohexane	0.11	1.48	5.31	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Cyclohexane	5	8	12	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Cyclohexane	8	10	15	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Cyclohexane	6	10	12	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Cyclohexane	6	7	15	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Styrène												
Styrène	0.35	1.63	6.37	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Styrène	LD	0.18	0.40	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Isopropylbenzène (=cumène)												
Isopropylbenzène (=cumène)	0.34	1.36	5.37	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Isopropylbenzèn	LD	LD	LD	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50	99%	naturelle	août-déc.	Hong-	Wong,

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

e (=cumène)						mois	places/niveau		(semi-ouvert)	2000	Kong	2002
3-éthyltoluène												
3-éthyltoluène	3.32	17.5	47.9	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-	Wong, 2002
3-éthyltoluène	LD	LD	LD	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-	Wong, 2002
1,3-butadiène												
1,3-butadiène	?	?	4			Métrologie non renseignée	2 parkings (240 et 310 places ; bureaux et hôpital)	?	mécanique	1999	Allema gne	Gritsch, 2001
1,3-butadiène	0.38	1.70	10.1	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-	Wong, 2002
1,3-butadiène	LD	0.04	0.05	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-	Wong, 2002
1,3-butadiène	4	5	9	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canad a	Lamy, 1995
1,3-butadiène	12	16	24	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canad a	Lamy, 1995
1,3-butadiène	4	6	10	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canad a	Lamy, 1995
1,3-butadiène	6	8	10	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canad a	Lamy, 1995
Ethylène												
Ethylène	37	114	152	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canad a	Lamy, 1995
Ethylène	85	195	308	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canad a	Lamy, 1995
Ethylène	67	126	316	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canad a	Lamy, 1995
Ethylène	103	134	307	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canad a	Lamy, 1995
Isobutylène												
Isobutylène	5.28	29.0	104	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-	Wong, 2002
Isobutylène	0.08	0.30	0.63	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-	Wong, 2002
Isobutylène	18	33	42	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canad a	Lamy, 1995
Isobutylène	35	52	76	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canad a	Lamy, 1995
Isobutylène	38	54	62	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canad a	Lamy, 1995
Isobutylène	29	36	51	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canad a	Lamy, 1995
t-2-butène												
t-2-butène	1.87	14.5	36.5	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-	Wong, 2002
t-2-butène	LD	0.13	?	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-	Wong, 2002
t-2-butène	10	24	31	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canad a	Lamy, 1995

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

t-2-butène	15	28	42	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
t-2-butène	30	42	48	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
t-2-butène	21	27	36	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
c-2-butène												
c-2-butène	2.81	17.3	44.8	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
c-2-butène	0.02	0.09	0.22	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
c-2-butène	8	17	23	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
c-2-butène	11	19	29	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
c-2-butène	22	31	37	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
c-2-butène	11	20	26	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
1-pentène												
1-pentène	2.04	11.3	23.8	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
1-pentène	0.07	0.23	0.57	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
t-2-pentène												
t-2-pentène	3.94	31.3	84.5	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
t-2-pentène	LD	0.28	0.46	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
t-2-pentène	7	11	19	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
t-2-pentène	9	15	30	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
t-2-pentène	15	22	27	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
t-2-pentène	8	14	20	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
c-2-pentène												
c-2-pentène	3.42	18.9	45.3	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
c-2-pentène	0.08	0.26	0.59	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
c-2-pentène	5	8	11	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
c-2-pentène	5	8	27	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
c-2-pentène	8	13	15	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
c-2-pentène	6	9	11	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

2-méthyl-1-butène												
2-méthyl-1-butène	3.53	38.0	92.0	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
2-méthyl-1-butène	0.11	0.41	0.89	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
2-méthyl-2-butène												
2-méthyl-2-butène	8.45	52.0	133	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
2-méthyl-2-butène	0.10	0.39	0.78	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
2-méthyl-2-butène	9	15	25	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
2-méthyl-2-butène	17	22	39	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
2-méthyl-2-butène	19	28	36	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
2-méthyl-2-butène	13	18	29	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
4-méthyl-2-pentène (cis)												
4-méthyl-2-pentène (cis)	0.79	6.18	18.3	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
4-méthyl-2-pentène (cis)	LD	LD	LD	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
4-méthyl-2-pentène (c/t)	9	14	20	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
4-méthyl-2-pentène (c/t)	12	18	25	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
4-méthyl-2-pentène (c/t)	16	23	25	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
4-méthyl-2-pentène (c/t)	11	15	20	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
1-heptène												
1-heptène	7.05	28.7	65.6	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
1-heptène	LD	2.28	5.10	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
c-3-heptène (cis)												
c-3-heptène (cis)	1.05	19.2	95.2	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
c-3-heptène (cis)	LD	0.44	0.81	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Cyclopentène												
Cyclopentène	1.68	11.5	54.0	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Cyclopentène	LD	0.14	0.29	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Cyclopentène	4	5	6	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Cyclopentène	4	6	7	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Cyclopentène	4	5	7	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Cyclopentène	4	4	5	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Cyclohexène												
Cyclohexène	0.11	0.95	2.72	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Cyclohexène	LD	0.07	0.08	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Cyclohexène	16	23	28	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Cyclohexène	25	35	46	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Cyclohexène	18	31	36	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Cyclohexène	16	21	39	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Acétylène												
Acétylène	23	45	113	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Acétylène	92	181	244	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Acétylène	29	51	107	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Acétylène	46	96	167	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Propylène												
Propylène	1.94	10.6	54.3	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Propylène	0.24	0.83	2.12	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Propylène	11	20	30	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Propylène	42	55	97	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Propylène	15	24	33	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Propylène	20	26	43	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Propyne												
Propyne	LD	0,77	6,48	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Propyne	LD	LD	LD	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Propyne	6	9	40	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Propyne	8	17	26	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

1-butyne												
1-butyne	LD	0.26	0.98	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
1-butyne	LD	LD	LD	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
2-butyne												
2-butyne	10	13	20	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
2-butyne	6	17	33	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
2-butyne	18	24	31	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
2-butyne	14	16	20	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Aldéhydes												
Formaldéhyde												
Formaldéhyde	?	37	51 sur 1 heure			Mesures en continu pendant 3 jours au niveau -2	1 200 m² = 591 places sur 8 niveaux (bureaux)	300 veh./jour	mécanique	janv-94	France	CSHPF, 1998
Formaldéhyde	17.9	19.2	20.6			4 prélèvements actifs sur cartouches DNPH	35 places sur 1 niveau (bureaux)	voitures à l'arrêt	naturelle	été 2004	France	Marchand, 2006
Formaldéhyde	54.0	63.9	73.8			2 prélèvements actifs sur cartouches DNPH	35 places sur 1 niveau (bureaux)	1 voiture allumé	naturelle	été 2004	France	Marchand, 2006
Formaldéhyde	?	?	19			Métrologie non renseignée	2 parkings (240 et 310 places ; bureaux et hôpital)	?	mécanique	1999	Allemagne	Gritsch, 2001
Formaldéhyde	8.24	40.82	117	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Formaldéhyde	48.53	71.91	189	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Formaldéhyde	34.40	109	228	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Formaldéhyde	56.83	106	314	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Acétaldéhyde												
Acétaldéhyde	4.4	8.3	10.4			4 prélèvements actifs sur cartouches DNPH	35 places sur 1 niveau (bureaux)	voitures à l'arrêt	naturelle	été 2004	France	Marchand, 2006
Acétaldéhyde	25.9	28.6	31.4			2 prélèvements actifs sur cartouches DNPH	35 places sur 1 niveau (bureaux)	1 voiture allumé	naturelle	été 2004	France	Marchand, 2006
Acétaldéhyde	?	?	19			Métrologie non renseignée	2 parkings (240 et 310 places ; bureaux et hôpital)	?	mécanique	1999	Allemagne	Gritsch, 2001
Acétaldéhyde	4.64	6.19	10.29	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Acétaldéhyde	10.58	14.34	21.19	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Acétaldéhyde	6.29	9.61	14.85	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Acétaldéhyde	5.79	8.67	16.10	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Benzaldéhyde	0.84	1.42	3.58	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995

2-butanone = méthyl-éthyl-cétone (MEK)

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

2-butanone = méthyl-éthyl-cétone (MEK)	0.83	0.91	0.99	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
2-butanone = méthyl-éthyl-cétone (MEK)	0.65	1.02	2.23	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
2-butanone = méthyl-éthyl-cétone (MEK)	0.64	0.72	0.77	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
2-butanone = méthyl-éthyl-cétone (MEK)	0.67	0.76	0.77	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Méthyl-isobutyl-cétone (MIBK)												
Acroléine												
Acroléine	?	?	58			Métrologie non renseignée	2 parkings (240 et 310 places ; bureaux et hôpital)	?	mécanique	1999	Allemagne	Gritsch, 2001
Acroléine	0.59	0.98	2.21	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Acroléine	1.03	2.08	4.40	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Acroléine	0.82	1.42	4.27	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Acroléine	0.72	1.06	1.89	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Propionaldéhyde												
Propionaldéhyde	?	?	32			Métrologie non renseignée	2 parkings (240 et 310 places ; bureaux et hôpital)	?	mécanique	1999	Allemagne	Gritsch, 2001
Propionaldéhyde	?	0.99	1.21	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Propionaldéhyde	1.19	1.77	2.80	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Propionaldéhyde	0.90	1.23	1.93	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Propionaldéhyde	0.67	1.28	2.26	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Butyraldéhyde												
Hexaldéhyde	0.95	0.95	0.95	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Acétone												
Acétone	3.79	8.39	11.40	?	?	Pvlt 7h30-9h30, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 95	Canada	Lamy, 1995
Acétone	8.58	11.62	124	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Acétone	6.02	7.49	9.42	?	?	Pvlt 7h30-9h30, rampe entre 2 niv., 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 97	Canada	Lamy, 1995
Acétone	5.91	7.02	47.78	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. , 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 98	Canada	Lamy, 1995
Méthacroléine	0.58	1.02	1.62	?	?	Pvlt 15h00-17h00, entrée/sortie, 3*/semaine pdt 3 mois	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-fév. 96	Canada	Lamy, 1995
Acétophénone	1.23	1.23	1.23	?	?	Pvlt 15h00-17h00, rampe entre 2 niv. ,	1 655 places sur 3 niveaux	?	mécanique	déc. 94-	Canad	Lamy,

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

	3*/semaine pdt 3 mois									fév. 98	a	1995
Valéraldéhyde (= pentanal)												
Crotonaldéhyde												
HAP												
Napthalène												
Napthalène	?	?	0.012			Métrologie non renseignée	2 parkings (240 et 310 places ; bureaux et hôpital)	?	mécanique	1999	Allemagne	Gritsch, 2001
Napthalène	1.31	5.56	14.3	29.1	72.9	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	15.5 * 35.5 * 2.8 m ; 2 niveaux : 26 places/niveau	96%	mécanique	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Napthalène	0.63	2.22	5.47	27.1	85.7	de 10h à 12h, 4 fois/mois pendant 5 mois	30 * 50 * 5 m ; 6 niveaux : 50 places/niveau	99%	naturelle (semi-ouvert)	août-déc. 2000	Hong-Kong	Wong, 2002
Acénaphtylène												
Acénaphtène												
Phénantrène												
Anthracène												
Fluoranthène												
Pyrène												
Benzo(a)anthracène												
Benzo(a)anthracène	?	0.0015	?	?	?	2 ; prélèvem[t] actif sur filtres "fibres de quartz" avec DIGITEL	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Chrysène												
Chrysène	?	0.0009	?	?	?	2 ; prélèvem[t] actif sur filtres "fibres de quartz" avec DIGITEL	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Benzo(b)fluoranthène												
Benzo(b)fluoranthène	?	0.0014	?	?	?	2 ; prélèvem[t] actif sur filtres "fibres de quartz" avec DIGITEL	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Benzo(k)fluoranthène												
Benzo(k)fluoranthène	?	0.001	?	?	?	2 ; prélèvem[t] actif sur filtres "fibres de quartz" avec DIGITEL	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Benzo(a)pyrène												
Benzo(a)pyrène	?	0.0028	?	?	?	2 ; prélèvem[t] actif sur filtres "fibres de quartz" avec DIGITEL	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Benzo(a)pyrène	?	?	0.0011			Métrologie non renseignée	2 parkings (240 et 310 places ; bureaux et hôpital)	?	mécanique	1999	Allemagne	Gritsch, 2001
Dibenzo(a,h)antracène												
Dibenzo(a,h)antracène	?	0.0003	?	?	?	2 ; prélèvem[t] actif sur filtres "fibres de quartz" avec DIGITEL	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Benzo(g,h,i)pérylène												
Benzo(g,h,i)pérylène	?	0.0048	?	?	?	2 ; prélèvem[t] actif sur filtres "fibres de quartz" avec DIGITEL	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Indéno(1,2,3-cd)pyrène												
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	?	0.003	?	?	?	2 ; prélèvem[t] actif sur filtres "fibres de quartz" avec DIGITEL	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Fluorène												
Métaux												

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Arsenic												
Arsenic	?	0.0037	?	?	?	2 ; prélèvemt actif sur filtres "fibres de quartz" avec DIGITEL	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Baryum												
Cadmium												
Cadmium	?	0.0004	?	?	?	2 ; prélèvemt actif sur filtres "fibres de quartz" avec DIGITEL	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Chrome												
Chrome	?	0.011	?	?	?	2 ; prélèvemt actif sur filtres "fibres de quartz" avec DIGITEL	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Cobalt												
Cuivre												
Cuivre	?	0.044	?	?	?	2 ; prélèvemt actif sur filtres "fibres de quartz" avec DIGITEL	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Etain												
Fer												
Mercure												
Manganèse												
Nickel												
Nickel	?	0.0061	?	?	?	2 ; prélèvemt actif sur filtres "fibres de quartz" avec DIGITEL	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Plomb												
Plomb	?	0.041	?	?	?	2 ; prélèvemt actif sur filtres "fibres de quartz" avec DIGITEL	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
Platine												
Palladium												
Rhodium												
Zirconium												
Cérium												
Sélénium												
Titane												
Vanadium												
Zinc												
Zinc	?	0.085	?	?	?	2 ; prélèvemt actif sur filtres "fibres de quartz" avec DIGITEL	?	?	?	printemps 2005	France	ASPA, 2005
élément Na												
élément Al												
élément Si												
élément Cl												
élément Ca												
Dioxines/furanes												
2,3,7,8-TCDD/F (pg/m^3)	?	?	0.003			Métrologie non renseignée	2 parkings (240 et 310 places ; bureaux et hôpital)	?	mécanique	1998	Allemagne	Gritsch, 2000
PCDD/F (pg/m^3)	?	?	0.032	I-TEQ		Métrologie non renseignée	2 parkings (240 et 310 places ; bureaux et hôpital)	?	mécanique	1999	Allemagne	Gritsch, 2001

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 4 : Résultat d'interrogation de la base de données COLCHIC

Niveaux d 'exposition dans les parkings couverts

Les résultats sont exprimés en µg/m^3 pour les mesures concernant les niveaux d'exposition dans les parkings couverts. Les prélèvements ont été effectués sur des filtres en fibres de quartz calcinés, 37 mm, non tarés et analysés par coulométrie.

Tableau 2 : Résultats des prélèvements d'ambiance pour les parkings couverts (code risque : 632AA)

Agent chimique	Nb de mesures	Moy. Arithm.	Etendue	Moy. Géom.	Médiane	Percentile		
						25	75	90
Particules diesel, carbone organique	15	41,53	1,00-103,00	29,72	34,00	25,00	60,00	80,00
Particules diesel, carbone élémentaire	15	49,27	7,00-92,00	39,84	55,00	25,00	67,00	80,00
Particules diesel, carbone total	15	90,53	5,00-129,00	73,36	99,00	76,00	117,00	128,00

Le Responsable du rapport
Date : 2 février 2006

Nom : B. SAVARY

Les données de la base COLCHIC sont issues des résultats d'évaluation d'exposition professionnelle obtenus par les laboratoires interrégionaux de chimie des caisses régionales d'assurance maladie et des laboratoires spécialisés de l'INRS. Ces résultats ont pu être obtenus dans des conditions d'exposition particulières et ne peuvent prétendre être dans tous les cas représentatifs d'un secteur professionnel donné. Ils sont destinés à l'usage exclusif du demandeur dans un but de prévention des maladies professionnelles. Toute communication à des tiers nécessite l'approbation préalable de l'INRS.

Annexe 5 : Tableau récapitulatif des dispositifs de mesure et méthode d'analyse mis en œuvre

Types de mesure	Polluants	Dispositifs utilisés	Méthode analytique
Mesures automatiques (analyseurs spécifiques)	CO	CO Mahiak Modèle 610N	Spectrométrie absorption IR NF EN 14626
	NOx	NOx Megatec Modèle 42C	Chimiluminescence NF EN 14211
	PM_{10}	TEOM 1400AB	PM10 : particules de ∅ <10µm mesurées par gravimétrie à l'aide d'une microbalance à élément effilé oscillant NF EN 12341
	CO_2	CO2 Mahiak Modèle FINOR	Spectrométrie absorption IR NF X 20-361
Prélèvements actifs	Métaux	Préleveur PM10 Partisol Plus Filtres quartz	Absorption atomique four NF EN 14902
	HAP	Pompe TECORA PM10 Filtres fibre de verre Résine XAD-2	Chromatographie liquide Détecteur fluorimètre ISO 16362
	COV	Pompe à débit constant Tubes SKC (charbon actif) Tubes 3 couches (Carbotrap, Carbotrap C et Carboxen)	Chromatographie gazeuse Détecteur FID NF X 43-510-1 et 3
	Aldéhydes	Pompe à débit constant Cartouches Sep-Pak (DNPH)	Chromatographie liquide Détecteur UV ISO 16000-3
	Mercure	Pompe à débit constant Tubes HYDRAR (charbon actif)	Fiche INRS Métropol 079 Absorption atomique
Prélèvements passifs	COV	Tubes Radiello code 130 (charbon actif)	Chromatographie gazeuse Détecteur FID NF X 43-280 NF X 43-510-4
	NO_2	Tubes Passam (triéthanolamine)	Spectrophotométrie visible Méthode Griess Saltzman λ= 542 nm NF X 43-280
	Aldéhydes	Tubes Radiello code 165 (DNPH)	Chromatographie liquide Détecteur UV ISO 16000-4

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

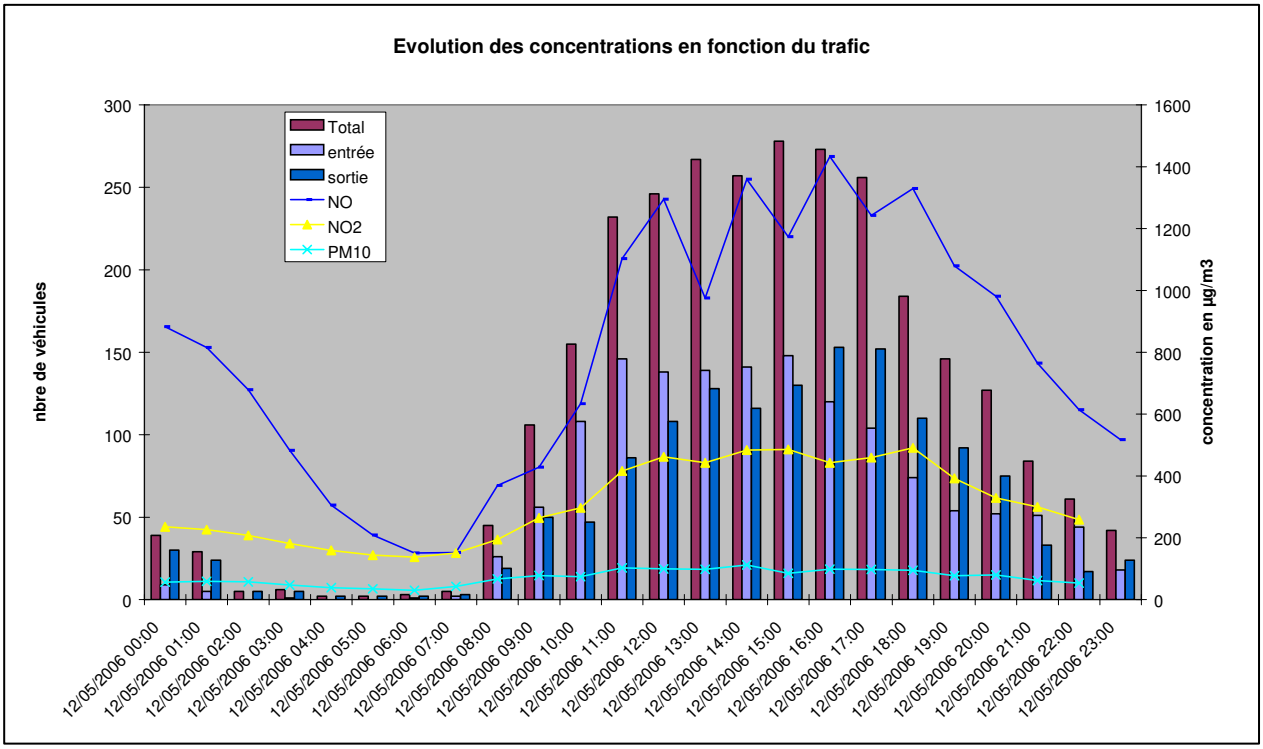
Annexe 6 : Résultats complémentaires de mesure relatifs aux HAP et aldéhydes

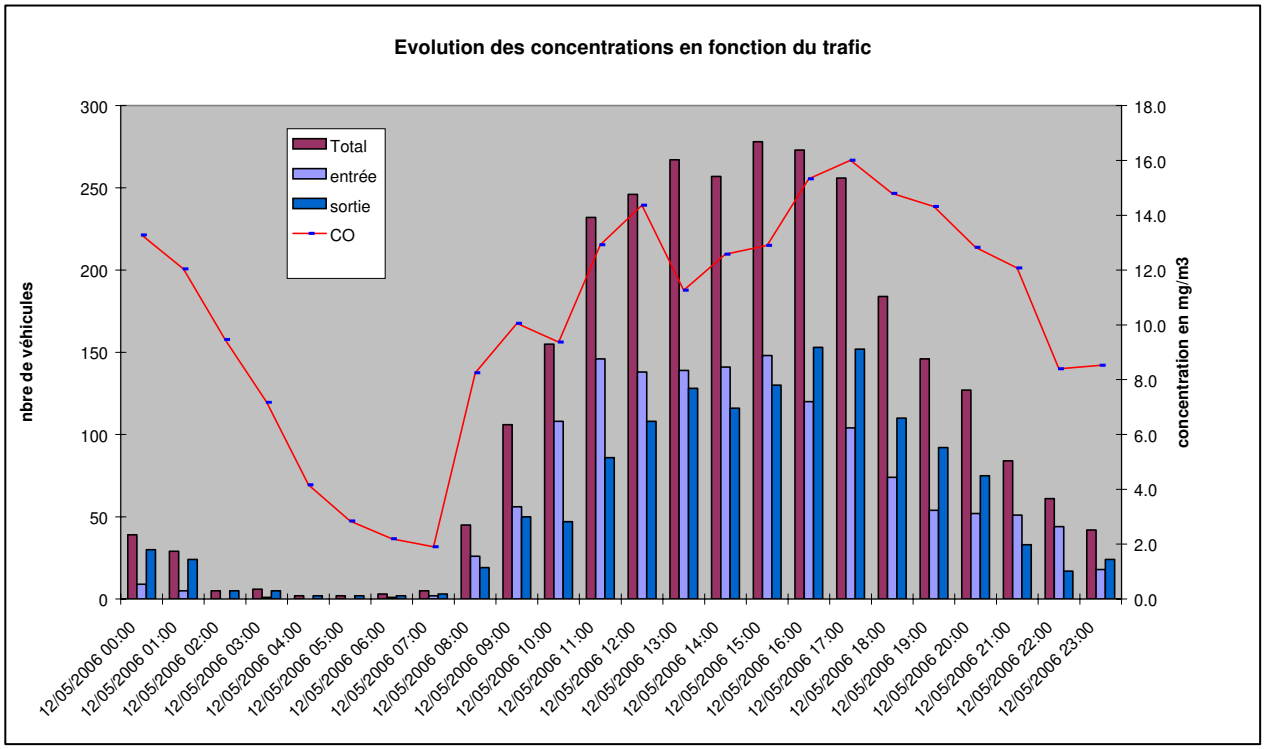
Moyenne de l'étude	Pas de temps	Parc 1	Parc 2	Parc 3	Parc 4
Fluoranthène (ng/m3)	24h	4,6	12	15	9,9
Pyrène (ng/m3)	24h	4,9	14	17	9,0
Benzo(a)anthracène (ng/m3)	24h	< 0,86	< 2,6	< 2,6	0,86
Benzo(k)fluoranthène (ng/m3)	24h	0,41	0,87	0,35	0,24
Benzo(b)fluoranthène (ng/m3)	24h	0,92	2,1	0,9	0,58
Chrysène (ng/m3)	24h	1,0	3,2	1,8	1,0
Benzo(g,h,i)pérylène (ng/m3)	24h	1,5	4,5	3,2	1,8
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène (ng/m3)	24h	0,74	1,9	1,2	0,70
Dibenzo(a,h)anthracène (ng/m3)	24h	0,11	0,20	0,07	0,05

Moyenne de l'étude	Pas de temps	Parc 1	Parc 2	Parc 3	Parc 4
Hexaldéhyde (µg/m3)	1h	< 8,5 (30min)	< 8,5	< 2,7	< 4,1
	8h	< 1,0	0,74 (15h)	1,2	0,9
Propionaldéhyde (µg/m3)	1h	< 8,5 (30min)	< 8,5	< 8,9	< 8,7
	8h	< 1,1	3,5 (15h)	3,3	1,7
Benzaldéhyde (µg/m3)	1h	< 8,5 (30min)	< 8,5	< 8,9	< 8,7
	8h	< 1,1	0,79 (15h)	4,8	1,9

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 7 : Evolution des polluants (CO, NO, NO_2 et PM_{10}) en fonction du trafic (ex. du Parc 3)





© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 8 : Liste des composés émis par le trafic automobile et disponibilité de mesure de concentrations dans des parcs de stationnement couverts

		Concentrations mesurées dans les parcs de stationnement			
	N°CAS	**Littérature étrangère**	**France**	**LCPP 2006**	**T 1/2 vie**
GAZ INORGANIQUES					
SO2	**7446-05-5**	**X**	**X**		
NOx	**10102-44-0**	**X**	**X**	**X**	
N2O	**10024-97-2**				
CO	**630-08-0**	**X**	**X**	**X**	
H_2S	**7783-06-4**	**X**	**X**		
Ammoniac	**7664-41-7**				
Particules					
Poussières totales	so	**X**			
PM10	so	**X**	**X**	**X**	
PM2.5	so	**X**		**X**	
Particules ultra-fines (<100 nm)	so				
COV					
Benzène	**71-43-2**	**X**	**X**	**X**	13 jours
Toluène	**108-88-3**	**X**	**X**	**X**	3 jours
Ethylbenzène	**100-41-4**	**X**		**X**	55 heures
Xylènes	**1330-20-7**	**X**		**X**	1-2 jours
1,2,4-triméthylbenzène	**95-63-6**	**X**		**X**	
1,2,3-triméthylbenzène	**526-73-8**				
1,3,5-triméthylbenzène	**108-67-8**				
Méthane	**74-82-8**	**X**			
Ethane	**74-84-0**	**X**			
Propane	**74-98-6**	**X**			
Diméthylpropane	**463-82-1**				
n-butane	**106-97-8**	**X**			
n-pentane	**109-66-0**	**X**			

Isopentane (2-méthylbutane)	**78-78-4**	**X**			
n-hexane	**110-54-3**	**X**		**X**	3 jours
n-heptane	**142-82-5**	**X**		**X**	
Isobutane	**75-28-5**	**X**			
Iso-octane (2,2,4-triméthylpentane)	**540-84-1**	**X**			
2-méthylheptane	**592-27-8**				
3-méthylheptane	**589-81-1**	**X**			
4-méthylheptane	**589-53-7**				
n-octane	**111-65-9**	**X**			
Nonane	**111-84-2**	**X**			
Méthylnonane	**63335-87-5**				
Décane	**124-18-5**	**X**			
Undécane	**1120-21-4**	**X**			
Dodécane	**112-40-3**				
Tridécane	**629-50-5**				
Tetradécane	**629-59-4**				
Pentadecane	**629-62-9**				
Hexadécane	**544-76-3**				
Heptadécane	**629-78-7**				
Octadécane	**593-45-3**				
Nonadécane	**629-92-5**				
Icosane	**112-95-8**				
Henicosane	**629-94-7**				
Docosane	**629-97-0**				
Tricosane	**638-67-5**				
Méthyl-Tertiobutyl-Ether (MTBE)	**1634-04-4**				5,5 - 50 jours
Ethyl-Tertiobutyl-Ether (ETBE)	**637-92-3**				
Méthyl-Tertio-Amyl-Ether (TAME)	**994-05-8**				
2,2-diméthylbutane	**75-83-2**	**X**			
2,3-diméthylbutane	**79-29-8**	**X**			
2-méthylpentane	**107-83-5**	**X**			
3-méthylpentane	**96-14-0**	**X**			
2,4-diméthylpentane	**108-08-7**				
2,3-diméthylpentane	**565-59-3**				
2,2-diméthylpentane	**590-35-2**				
2,2,3-triméthylbutane	**464-06-2**				
3,3-diméthylpentane	**562-49-2**				
Triméthylpentane	**29222-48-8**				

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

3-éthylpentane	**617-78-7**				
2-méthylhexane	**591-76-4**	**X**			
3-méthylhexane	**589-34-4**	**X**			
2,2-diméthylhexane	**590-73-8**				
2,3-diméthylhexane	**584-94-1**				
2,4-diméthylhexane	**589-43-5**				
2,5-diméthylhexane	**592-13-2**				
3,4-diméthylhexane	**583-48-2**				
Cyclopentane	**287-92-3**	**X**			
Méthylcyclopentane	**96-37-7**	**X**			
Ethylcyclopentane	**1640-89-7**				
Cyclohexane	**110-82-7**	**X**			45 heures
Méthylcyclohexane	**108-87-2**				
1,2-diméthylcyclohexane	**583-57-3**				
1,3-diméthylcyclohexane	**591-21-9**				
1,4-diméthylcyclohexane	**589-90-2**				
Butylcyclohexane	**1678-93-9**				
Cycloheptane	**291-64-5**				
Méthyloctane	**61193-19-9**				
Styrène	**100-42-5**	**X**		**X**	7 à 16 heures
Isopropylbenzène (=cumène)	**98-82-8**	**X**			2,5 jours
Propylbenzène	**103-65-1**				
2-éthyltoluène	**611-14-3**				
3-éthyltoluène	**620-14-4**	**X**			
4-éthyltoluène	**622-96-8**				
1,3-butadiène	**106-99-0**	**X**			14-37 heures
Ethylène	**74-85-1**	**X**			
Propadiène	**463-49-0**				
Isobutylène = isobutène	**115-11-7**	**X**			
1-butène	**106-98-9**				
t-2-butène (2-butène = 107-01-7)	**624-64-6**	**X**			
c-2-butène	**590-18-1**	**X**			
1-pentène	**109-67-1**	**X**			
t-2-pentène	**646-04-8**	**X**			
c-2-pentène	**627-20-3**	**X**			
Isopentène	**563-45-1**				
2-méthyl-1-butène	**563-46-2**	**X**			
2-méthyl-2-butène	**513-35-9**	**X**			

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

2,3,3-triméthyl-1-butène	**594-56-9**				
2-méthyl-2-pentène	**625-27-4**				
3-méthyl-1-pentène	**760-20-3**				
2-méthyl-1-pentène	**763-29-1**				
c-3-méthyl-2-pentène	**922-62-3**				
t-3-méthyl-2-pentène	**616-12-6**				
c-4-méthyl-2-pentène	**691-38-3**				
4-méthyl-2-pentène	**4461-48-7**	**X**			
1-hexène	**592-41-6**				
c-2-hexène	**7688-21-3**				
t-2-hexène	**4050-45-7**				
t-3-hexène	**13269-52-8**				
Diméthylhexène	**78820-82-3**				
1-heptène	**592-76-7**	**X**			
t-2-heptène	**14686-13-6**				
c-3-heptène	**7642-10-6**	**X**			
2-méthyl-1,4-pentadiène	**763-30-4**				
t-2-méthyl-1,3-pentadiène	**926-54-5**				
Octène	**111-66-0**				
t-2-octène	**13389-42-9**				
c-2-octène	**7642-04-8**				
1-nonène	**124-11-8**				
c-4-nonène	**10405-84-2**				
t-4-nonène	**10405-85-3**				
t-3-nonène	**20063-92-7**				
1-undécène	**821-95-4**				
1-dodécène	**112-41-4**				
Cyclopentène	**142-29-0**	**X**			
Cyclohexène	**110-83-8**	**X**			
2-méthyl-1-hexène	**6094-02-6**				
3-méthyl-1-hexène	**3404-61-3**				
4-méthyl-1-hexène	**3769-23-1**				
5-méthyl-1-hexène	**3524-73-0**				
1-méthylcyclopentène	**693-89-0**				
Cycloheptène	**628-92-2**				
Cylcopentadiène	**542-92-7**				
Acétylène	**74-86-2**	**X**			
Propylène (ou propène)	**115-07-1**	**X**			

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Isoprène	**78-79-5**				
Propyne	**74-99-7**	**X**			
1-butyne	**107-00-6**	**X**			
2-butyne	**503-17-3**	**X**			
Butylbenzène	**104-51-8**				
tert-butylbenzène	**98-06-6**				
isobutylbenzène	**538-93-2**				
sec-butylbenzène	**135-98-8**				
Cymène	**99-87-6**				
Indane	**496-11-7**				
1,2-diéthylbenzène	**135-01-3**				
1,3-diéthylbenzène	**141-93-5**				
Méthyl-indane	**27133-93-3**				
1,4-diéthylbenzène	**105-05-5**				
1-méthyl-3-propylbenzène	**1074-43-7**				
1-méthyl-3-isopropylbenzène	**535-77-3**				
1-méthyl-4-propylbenzène	**1074-55-1**				
1,4-diméthyl-2-éthylbenzène	**1758-88-9**				
1,3-diméthyl-4-éthylbenzène	**874-41-9**				
1,2-diméthyl-4-éthylbenzène	**934-80-5**				
1,3-diméthyl-2-éthylbenzène	**2870-04-4**				
1,2-diméthyl-3-éthylbenzène	**933-98-2**				
1,2,4,5-tétraméthylbenzène	**95-93-2**				
1,2,3,5-tétraméthylbenzène	**527-53-7**				
1,2,3,4-tétraméthylbenzène	**488-23-3**				
1,2-dibromoéthane	**106-93-4**				
1-bromométhane	**74-83-9**				
1,2-dichloroéthane	**107-06-2**				
ALDEHYDES / CETONES					
Formaldéhyde	**50-00-0**	**X**	**X**	**X**	41 heures
Acétaldéhyde	**75-07-0**	**X**	**X**	**X**	24 heures
Benzaldéhyde	**100-52-7**	**X**		**X**	
2-butanone = méthyl-éthyl-cétone (MEK)	**78-93-3**	**X**			14 jours
Méthyl-isobutyl-cétone (MIBK)	**108-10-1**	**X**			27 heures
Acroléine	**107-02-8**	**X**			20h, 15j, 28j
Propionaldéhyde	**123-38-6**	**X**		**X**	
Butyraldéhyde	**123-72-8**	**X**			

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Hexaldéhyde	**66-25-1**	**X**		**X**	
Acétone	**67-64-1**	**X**			71 jours
Méthacroléine	**78-85-3**	**X**			
Acétophénone	**98-86-2**	**X**			
Valéraldéhyde (= pentanal)	**110-62-3**	**X**			
Crotonaldéhyde	**4170-30-3**	**X**			
Isobutanaldéhyde	**78-84-2**				
Isovaleraldéhyde	**590-86-3**				
o-tolualdéhyde	**529-20-4**				
m-tolualdéhyde	**620-23-5**				
p-tolualdéhyde	**104-87-0**				
2,5-diméthylbenzaldéhyde	**5779-94-2**				
1,2-éthanedione	**107-22-2**				
propanedione	**78-98-8**				
méthylvinylcétone	**78-94-4**				
HAP (16 US-EPA + 10)					
Napthalène	**91-20-3**	**X**		**X**	
Acénaphtylène	**208-96-8**				
Acénaphtène	**83-32-9**				
Phénantrène	**85-01-8**			**X**	
Anthracène	**120-12-7**			**X**	
Fluoranthène	**206-44-0**			**X**	
Pyrène	**129-00-0**			**X**	
Benzo(a)anthracène	**56-55-3**		**X**	**X**	
Chrysène	**218-01-9**		**X**	**X**	
Benzo(b)fluoranthène	**205-99-2**		**X**	**X**	
Benzo(k)fluoranthène	**207-08-9**		**X**	**X**	
Benzo(a)pyrène	**50-32-8**	**X**	**X**	**X**	
Dibenzo(a,h)antracène	**53-70-3**		**X**	**X**	
Benzo(g,h,i)pérylène	**191-24-2**		**X**	**X**	
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	**193-39-5**		**X**	**X**	
Fluorène	**86-73-7**				
Pérylène	**198-55-0**				
Anthantrène	**191-26-4**				
Benzo(b)fluorène	**243-17-4**				
Benzo(e)pyrène	**192-97-2**				
Triphénylène	**217-59-4**				

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Benzo(j)fluoranthène	**205-82-3**				
Dibenzo(a,j)antracène	**224-41-9**				
Dibenzo(a,l)pyrène	**191-30-0**				
3,6-diméthylphénanthrène	**1576-67-6**				
Coronène	**191-07-1**				
2-méthylnaphtalène	**91-57-6**				
1-méthylnaphtalène	**90-12-0**				
2-éthylnaphtalène	**939-27-5**				
2-isopropylnaphtalène	**2027-17-0**				
Méthyléthylnaphtalène	**29253-36-9**				
Triméthylnaphtalène	**28652-77-9**				
Phénylméthane	**101-81-5**				
1-nitronaphtalène	**86-57-7**				
2-nitronaphtalène	**581-89-5**				
2-nitrofluorène	**607-57-8**				
9-nitroanthracène	**602-60-8**				
Thiofène	**110-02-1**				
Benzo(a)fluorène	**238-84-6**				
Benzo(ghi)fluoranthène	**4670-86-4**				
Benzo(c)phénanthrène	**195-19-7**				
Cyclopenta(cd)pyrène	**27208-37-3**				
Dibenzo(a,e)pyrène	**192-65-4**				
Dibenzo(a,h)pyrène	**189-64-0**				
1,4-diméthylphénantrène	**22349-59-3**				
2-méthylchrysène	**3351-32-4**				
3-méthylchrysène	**3351-31-3**				
4-méthylchrysène	**3351-30-2**				
5-méthylchrysène	**3697-24-3**				
6-méthylchrysène	**1705-85-7**				
1-méthylphénanthrène	**832-69-9**				
3,7-dinitrofluoranthène	**105735-71-5**				
3,9-dinitrofluoranthène	**22506-53-2**				
1-nitropyrène	**5522-43-0**				
3-nitrofluoranthène	**892-21-7**				
1,3-dinitropyrène	**75321-20-9**				
1,6-dinitropyrène	**42397-64-8**				
1,8-dinitropyrène	**42397-65-9**				

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

6-nitrobenzo(a)pyrène	**63041-90-7**				
METAUX					
Arsenic	**7440-38-2**		**X**	**X**	
Baryum	**7440-39-3**				
Cadmium	**7440-43-9**		**X**	**X**	
Chrome	**7440-47-3**		**X**		
Cobalt	**7440-48-4**				
Cuivre	**7440-50-8**		**X**		
Etain	**7440-31-5**				
Fer	**7439-89-6**				
Manganèse	**7439-97-6**				
Mercure	**7439-96-5**			**X**	
Nickel	**7440-02-0**		**X**	**X**	
Plomb	**7439-92-1**		**X**	**X**	
Platine	**7440-06-4**				
Palladium	**7440-05-3**				
Rhodium	**7440-16-6**				
Zirconium	**7440-67-7**				
Cérium	**7440-45-1**				
Sélénium	**7782-49-2**				
Titane	**7440-32-6**				
Vanadium	**7440-62-2**				
Zinc	**7440-66-6**		**X**		
élement Na	**7440-23-5**				
élement Al	**7429-90-5**				
élement Si	**7440-21-3**				
élement Cl	**7782-50-5**				
élement Ca	**7440-70-2**				
DIOXINES/FURANES					
2,3,7,8-TCDD	**1746-01-6**	**X**			
PCDD/F	**mélange**	**X**			

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 9 : Recensement des dangers par inhalation des substances émises

EXPOSITION PAR INHALATION	N°CAS	HSDB danger inhalation	Existence d'une VTR pour l'inhalation?	aiguë / chronique
GAZ INORGANIQUES				
SO2	**7446-05-5**	**OUI**	**OUI**	**ai/ch**
NOx	**10102-44-0**	**OUI**	**OUI**	**ai/ch**
N2O	**10024-97-2**	pas d'effets rapportés	NON	
CO	**630-08-0**	**OUI**	**OUI**	**ai/ch**
H_2S	**7783-06-4**	**OUI**	**OUI**	**ai/ch**
Ammoniac	**7664-41-7**	**OUI**	**OUI**	**ai/ch**
Particules				
Poussières totales	so	**OUI**	NON	
PM10	so	**OUI**	**OUI**	**ai/ch**
PM2.5	so	**OUI**	**OUI**	**ch**
Particules ultra-fines (<100 nm)	so	**OUI**	NON	
COV				
Benzène	**71-43-2**	**OUI**	**OUI**	**ai/ch**
Toluène	**108-88-3**	**OUI**	**OUI**	**ai/ch**
Ethylbenzène	**100-41-4**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Xylènes	**1330-20-7**	**OUI**	**OUI**	**ai/ch**
1,2,4-triméthylbenzène	**95-63-6**	T	NON	
1,2,3-triméthylbenzène	**526-73-8**	PAS DANS HSDB	NON	
1,3,5-triméthylbenzène	**108-67-8**	T	NON	
Méthane	**74-82-8**	effets mineurs	NON	
Ethane	**74-84-0**	effets à de fortes C	NON	
Propane	**74-98-6**	A	NON	
Diméthylpropane	**463-82-1**	pas d'effets rapportés	NON	
n-butane	**106-97-8**	effets à de fortes C	NON	
n-pentane	**109-66-0**	effets à de fortes C	NON	
Isopentane (2-méthylbutane)	**78-78-4**	effets à de fortes C	NON	
n-hexane	**110-54-3**	**OUI**	**OUI**	**ch**

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

n-heptane	**142-82-5**	effets mineurs	NON	
Isobutane	**75-28-5**	pas d'effets rapportés	NON	
Iso-octane (2,2,4-triméthylpentane)	**540-84-1**	pas d'effets rapportés	NON	
2-méthylheptane	**592-27-8**	PAS DANS HSDB	NON	
3-méthylheptane	**589-81-1**	pas d'effets rapportés	NON	
4-méthylheptane	**589-53-7**	PAS DANS HSDB	NON	
n-octane	**111-65-9**	T	NON	
Nonane	**111-84-2**	effets mineurs - irritation	NON	
Méthylnonane	**63335-87-5**	PAS DANS HSDB	NON	
Décane	**124-18-5**	effets à de fortes C	NON	
Undécane	**1120-21-4**	effets mineurs - irritation	NON	
Dodécane	**112-40-3**	pas d'effets rapportés	NON	
Tridécane	**629-50-5**	effets mineurs - irritation	NON	
Tetradécane	**629-59-4**	T	NON	
Pentadecane	**629-62-9**	effets mineurs - irritation	NON	
Hexadécane	**544-76-3**	T	NON	
Heptadécane	**629-78-7**	PAS DANS HSDB	NON	
Octadécane	**593-45-3**	PAS DANS HSDB	NON	
Nonadécane	**629-92-5**	PAS DANS HSDB	NON	
Icosane	**112-95-8**	PAS DANS HSDB	NON	
Henicosane	**629-94-7**	PAS DANS HSDB	NON	
Docosane	**629-97-0**	PAS DANS HSDB	NON	
Tricosane	**638-67-5**	PAS DANS HSDB	NON	
Méthyl-Tertiobutyl-Ether (MTBE)	**1634-04-4**	**OUI**	**OUI**	**ai/ch**
Ethyl-Tertiobutyl-Ether (ETBE)	**637-92-3**	PAS DANS HSDB	NON	
Méthyl-Tertio-Amyl-Ether (TAME)	**994-05-8**	PAS DANS HSDB	NON	
2,2-diméthylbutane	**75-83-2**	pas d'effets rapportés	NON	
2,3-diméthylbutane	**79-29-8**	pas d'effets rapportés	NON	
2-méthylpentane	**107-83-5**	effets mineurs - irritation	NON	
3-méthylpentane	**96-14-0**	pas d'effets rapportés	NON	
2,4-diméthylpentane	**108-08-7**	PAS DANS HSDB	NON	
2,3-diméthylpentane	**565-59-3**	PAS DANS HSDB	NON	
2,2-diméthylpentane	**590-35-2**	PAS DANS HSDB	NON	
2,2,3-triméthylbutane	**464-06-2**	PAS DANS HSDB	NON	
3,3-diméthylpentane	**562-49-2**	PAS DANS HSDB	NON	
Triméthylpentane	**29222-48-8**	PAS DANS HSDB	NON	
3-éthylpentane	**617-78-7**	PAS DANS HSDB	NON	
2-méthylhexane	**591-76-4**	PAS DANS HSDB	NON	

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

3-méthylhexane	**589-34-4**	PAS DANS HSDB	NON	
2,2-diméthylhexane	**590-73-8**	PAS DANS HSDB	NON	
2,3-diméthylhexane	**584-94-1**	PAS DANS HSDB	NON	
2,4-diméthylhexane	**589-43-5**	PAS DANS HSDB	NON	
2,5-diméthylhexane	**592-13-2**	PAS DANS HSDB	NON	
3,4-diméthylhexane	**583-48-2**	PAS DANS HSDB	NON	
Cyclopentane	**287-92-3**	modérémment toxique	NON	
Méthylcyclopentane	**96-37-7**	effets mineurs - irritation	NON	
Ethylcyclopentane	**1640-89-7**	PAS DANS HSDB	NON	
Cyclohexane	**110-82-7**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Méthylcyclohexane	**108-87-2**	effets mineurs - irritation	NON	
1,2-diméthylcyclohexane	**583-57-3**	PAS DANS HSDB	NON	
1,3-diméthylcyclohexane	**591-21-9**	PAS DANS HSDB	NON	
1,4-diméthylcyclohexane	**589-90-2**	PAS DANS HSDB	NON	
Butylcyclohexane	**1678-93-9**	PAS DANS HSDB	NON	
Cycloheptane	**291-64-5**	effets mineurs	NON	
Méthyloctane	**61193-19-9**	PAS DANS HSDB	NON	
Styrène	**100-42-5**	**OUI**	**OUI**	**ai/ch**
Isopropylbenzène (=cumène)	**98-82-8**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Propylbenzène	**103-65-1**	effets mineurs - irritation	NON	
2-éthyltoluène	**611-14-3**	PAS DANS HSDB	NON	
3-éthyltoluène	**620-14-4**	PAS DANS HSDB	NON	
4-éthyltoluène	**622-96-8**	PAS DANS HSDB	NON	
1,3-butadiène	**106-99-0**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Ethylène	**74-85-1**	effets anesthésiants	NON	
Propadiène	**463-49-0**	pas d'effets rapportés	NON	
Isobutylène = isobutène	**115-11-7**	pas d'effets rapportés	NON	
1-butène	**106-98-9**	effets à de fortes C	NON	
t-2-butène (2-butène = 107-01-7)	**624-64-6**	effets mineurs - irritation	NON	
c-2-butène	**590-18-1**	effets mineurs - irritation	NON	
1-pentène	**109-67-1**	pas d'effets rapportés	NON	
t-2-pentène	**646-04-8**	pas d'effets rapportés	NON	
c-2-pentène	**627-20-3**	pas d'effets rapportés	NON	
Isopentène (3-méthyl-1-butène)	**563-45-1**	pas d'effets rapportés	NON	
2-méthyl-1-butène	**563-46-2**	pas d'effets rapportés	NON	
2-méthyl-2-butène	**513-35-9**	pas d'effets rapportés	NON	
2,3,3-triméthyl-1-butène	**594-56-9**	PAS DANS HSDB	NON	
2-méthyl-2-pentène	**625-27-4**	PAS DANS HSDB	NON	

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

3-méthyl-1-pentène	**760-20-3**	PAS DANS HSDB	NON
2-méthyl-1-pentène	**763-29-1**	PAS DANS HSDB	NON
c-3-méthyl-2-pentène	**922-62-3**	PAS DANS HSDB	NON
t-3-méthyl-2-pentène	**616-12-6**	PAS DANS HSDB	NON
c-4-méthyl-2-pentène	**691-38-3**	PAS DANS HSDB	NON
4-méthyl-2-pentène	**4461-48-7**	PAS DANS HSDB	NON
1-hexène	**592-41-6**	effets mineurs - irritation	NON
c-2-hexène	**7688-21-3**	PAS DANS HSDB	NON
t-2-hexène	**4050-45-7**	PAS DANS HSDB	NON
t-3-hexène	**13269-52-8**	PAS DANS HSDB	NON
Diméthylhexène	**78820-82-3**	PAS DANS HSDB	NON
1-heptène	**592-76-7**	pas d'effets rapportés	NON
t-2-heptène	**14686-13-6**	PAS DANS HSDB	NON
c-3-heptène	**7642-10-6**	PAS DANS HSDB	NON
2-méthyl-1,4-pentadiène	**763-30-4**	PAS DANS HSDB	NON
t-2-méthyl-1,3-pentadiène	**926-54-5**	PAS DANS HSDB	NON
Octène	**111-66-0**	effets mineurs - irritation	NON
t-2-octène	**13389-42-9**	PAS DANS HSDB	NON
c-2-octène	**7642-04-8**	PAS DANS HSDB	NON
1-nonène	**124-11-8**	effets mineurs - irritation	NON
c-4-nonène	**10405-84-2**	PAS DANS HSDB	NON
t-4-nonène	**10405-85-3**	PAS DANS HSDB	NON
t-3-nonène	**20063-92-7**	PAS DANS HSDB	NON
1-undécène	**821-95-4**	effets mineurs - irritation	NON
1-dodécène	**112-41-4**	effets mineurs - irritation	NON
Cyclopentène	**142-29-0**	PAS DANS HSDB	NON
Cyclohexène	**110-83-8**	effets mineurs - irritation	NON
2-méthyl-1-hexène	**6094-02-6**	PAS DANS HSDB	NON
3-méthyl-1-hexène	**3404-61-3**	PAS DANS HSDB	NON
4-méthyl-1-hexène	**3769-23-1**	PAS DANS HSDB	NON
5-méthyl-1-hexène	**3524-73-0**	PAS DANS HSDB	NON
1-méthylcyclopentène	**693-89-0**	PAS DANS HSDB	NON
Cycloheptène	**628-92-2**	PAS DANS HSDB	NON
Cylcopentadiène	**542-92-7**	effets mineurs - irritation	NON
Acétylène	**74-86-2**	effets à de fortes C	NON
Propylène (ou propène)	**115-07-1**	pas d'effets rapportés	NON
Isoprène	**78-79-5**	effets à de fortes C	NON
Propyne	**74-99-7**	effets à de fortes C chez T	NON

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

1-butyne	**107-00-6**	PAS DANS HSDB	NON	
2-butyne	**503-17-3**	PAS DANS HSDB	NON	
Butylbenzène	**104-51-8**	pas d'effets rapportés	NON	
tert-butylbenzène	**98-06-6**	pas d'effets rapportés	NON	
isobutylbenzène	**538-93-2**	PAS DANS HSDB	NON	
sec-butylbenzène	**135-98-8**	pas d'effets rapportés	NON	
Cymène	**99-87-6**	effets mineurs - irritation	NON	
Indane	**496-11-7**	PAS DANS HSDB	NON	
1,2-diéthylbenzène	**135-01-3**	effets à de fortes C	NON	
1,3-diéthylbenzène	**141-93-5**	effets à de fortes C	NON	
Méthyl-indane	**27133-93-3**	PAS DANS HSDB	NON	
1,4-diéthylbenzène	**105-05-5**	effets à de fortes C	NON	
1-méthyl-3-propylbenzène	**1074-43-7**	PAS DANS HSDB	NON	
1-méthyl-3-isopropylbenzène	**535-77-3**	pas d'effets rapportés	NON	
1-méthyl-4-propylbenzène	**1074-55-1**	PAS DANS HSDB	NON	
1,4-diméthyl-2-éthylbenzène	**1758-88-9**	PAS DANS HSDB	NON	
1,3-diméthyl-4-éthylbenzène	**874-41-9**	PAS DANS HSDB	NON	
1,2-diméthyl-4-éthylbenzène	**934-80-5**	PAS DANS HSDB	NON	
1,3-diméthyl-2-éthylbenzène	**2870-04-4**	PAS DANS HSDB	NON	
1,2-diméthyl-3-éthylbenzène	**933-98-2**	PAS DANS HSDB	NON	
1,2,4,5-tétraméthylbenzène	**95-93-2**	PAS DANS HSDB	NON	
1,2,3,5-tétraméthylbenzène	**527-53-7**	PAS DANS HSDB	NON	
1,2,3,4-tétraméthylbenzène	**488-23-3**	PAS DANS HSDB	NON	
1,2-dibromoéthane	**106-93-4**	**OUI**	**OUI**	**ch**
1-bromométhane	**74-83-9**	**OUI**	**OUI**	**ch/ai**
1,2-dichloroéthane	**107-06-2**	**OUI**	**OUI**	**ch**
ALDEHYDES / CETONES				
Formaldéhyde	**50-00-0**	**OUI**	**OUI**	**ai/ch**
Acétaldéhyde	**75-07-0**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Benzaldéhyde	**100-52-7**	**OUI**	NON	
2-butanone = méthyl-éthyl-cétone (MEK)	**78-93-3**	**OUI**	**OUI**	**ai/ch**
Méthyl-isobutyl-cétone (MIBK)	**108-10-1**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Acroléine	**107-02-8**	**OUI**	**OUI**	**ai/ch**
Propionaldéhyde	**123-38-6**	**OUI**	NON	
Butyraldéhyde	**123-72-8**	**OUI**	NON	
Hexaldéhyde	**66-25-1**	**OUI**	NON	
Acétone	**67-64-1**	**OUI**	**OUI**	**ai/ch**

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Méthacroléine	**78-85-3**	**OUI**	NON	
Acétophénone	**98-86-2**	**OUI**	NON	
Valéraldéhyde (= pentanal)	**110-62-3**	**OUI**	NON	
Crotonaldéhyde	**4170-30-3**	**OUI**	NON	
Isobutanaldéhyde	**78-84-2**	**OUI**	NON	
Isovaleraldéhyde	**590-86-3**	**OUI**	NON	
o-tolualdéhyde	**529-20-4**	**OUI**	NON	
m-tolualdéhyde	**620-23-5**	**OUI**	NON	
p-tolualdéhyde	**104-87-0**	**OUI**	NON	
2,5-diméthylbenzaldéhyde	**5779-94-2**	PAS DANS HSDB	NON	
1,2-éthanedione (ou glyoxal)	**107-22-2**	effets mineurs - irritation	NON	
propanedione	**78-98-8**	PAS DANS HSDB	NON	
méthylvinylcétone	**78-94-4**	effets à de fortes C chez T	NON	
HAP (16 US-EPA + 10)	**FET = Approche par facteur d'équivalence toxique, table de Nisbet, 1992**			
Napthalène	**91-20-3**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Acénaphtylène	**208-96-8**	**OUI**	**OUI**	**ch/FET**
Acénaphtène	**83-32-9**	**OUI**	**OUI**	**ch/FET**
Phénantrène	**85-01-8**	**OUI**	**OUI**	**ch/FET**
Anthracène	**120-12-7**	**OUI**	**OUI**	**ch/FET**
Fluoranthène	**206-44-0**	**OUI**	**OUI**	**ch/FET**
Pyrène	**129-00-0**	**OUI**	**OUI**	**ch/FET**
Benzo(a)anthracène	**56-55-3**	**OUI**	**OUI**	**ch/FET**
Chrysène	**218-01-9**	**OUI**	**OUI**	**ch/FET**
Benzo(b)fluoranthène	**205-99-2**	**OUI**	**OUI**	**ch/FET**
Benzo(k)fluoranthène	**207-08-9**	**OUI**	**OUI**	**ch/FET**
Benzo(a)pyrène	**50-32-8**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Dibenzo(a,h)antracène	**53-70-3**	**OUI**	**OUI**	**ch/FET**
Benzo(g,h,i)pérylène	**191-24-2**	**OUI**	**OUI**	**ch/FET**
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	**193-39-5**	**OUI**	**OUI**	**ch/FET**
Fluorène	**86-73-7**	**OUI**	**OUI**	**ch/FET**
Pérylène	**198-55-0**	pas d'effets rapportés	NON	
Anthantrène	**191-26-4**	?	NON	
Benzo(b)fluorène	**243-17-4**	?	NON	
Benzo(e)pyrène	**192-97-2**	mélange HAP	NON	
Triphénylène	**217-59-4**	?	NON	
Benzo(j)fluoranthène	**205-82-3**	T	NON	
Dibenzo(a,j)antracène	**224-41-9**	?	NON	

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Dibenzo(a,l)pyrène	**191-30-0**	mélange HAP	NON	
3,6-diméthylphénanthrène	**1576-67-6**	?	NON	
Coronène	**191-07-1**	?	**OUI**	**ch/FET**
2-méthylnaphtalène	**91-57-6**	irritation	NON	
1-méthylnaphtalène	**90-12-0**	irritation	NON	
2-éthylnaphtalène	**939-27-5**	PAS DANS HSDB	NON	
2-isopropylnaphtalène	**2027-17-0**	effets mineurs - irritation	NON	
Méthyléthylnaphtalène	**29253-36-9**	PAS DANS HSDB	NON	
Triméthylnaphtalène	**28652-77-9**	PAS DANS HSDB	NON	
Phénylméthane	**101-81-5**	effets à de fortes C	NON	
1-nitronaphtalène	**86-57-7**	T	NON	
2-nitronaphtalène	**581-89-5**	PAS DANS HSDB	NON	
2-nitrofluorène	**607-57-8**	? (pas très clair)	NON	
9-nitroanthracène	**602-60-8**	PAS DANS HSDB	NON	
Thiofène	**110-02-1**	effets mineurs - irritation	NON	
Benzo(a)fluorène	**238-84-6**	PAS DANS HSDB	NON	
Benzo(ghi)fluoranthène	**4670-86-4**	PAS DANS HSDB	NON	
Benzo(c)phénanthrène	**195-19-7**	PAS DANS HSDB	NON	
Cyclopenta(cd)pyrène	**27208-37-3**	PAS DANS HSDB	NON	
Dibenzo(a,e)pyrène	**192-65-4**	T + effets du mélange de HAP	NON	
Dibenzo(a,h)pyrène	**189-64-0**	T + effets du mélange de HAP	NON	
1,4-diméthylphénantrène	**22349-59-3**	PAS DANS HSDB	NON	
2-méthylchrysène	**3351-32-4**	PAS DANS HSDB	NON	
3-méthylchrysène	**3351-31-3**	PAS DANS HSDB	NON	
4-méthylchrysène	**3351-30-2**	PAS DANS HSDB	NON	
5-méthylchrysène	**3697-24-3**	pas d'effets rapportés	NON	
6-méthylchrysène	**1705-85-7**	PAS DANS HSDB	NON	
1-méthylphénanthrène	**832-69-9**	PAS DANS HSDB	NON	
3,7-dinitrofluoranthène	**105735-71-5**	pas d'effets rapportés	NON	
3,9-dinitrofluoranthène	**22506-53-2**	pas d'effets rapportés	NON	
1-nitropyrène	**5522-43-0**	pas d'effets rapportés	NON	
3-nitrofluoranthène	**892-21-7**	PAS DANS HSDB	NON	
1,3-dinitropyrène	**75321-20-9**	PAS DANS HSDB	NON	
1,6-dinitropyrène	**42397-64-8**	PAS DANS HSDB	NON	
1,8-dinitropyrène	**42397-65-9**	pas d'effets rapportés	NON	
6-nitrobenzo(a)pyrène	**63041-90-7**	PAS DANS HSDB	NON	
METAUX				

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Arsenic	**7440-38-2**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Barium	**7440-39-3**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Cadmium	**7440-43-9**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Chrome	**7440-47-3**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Cobalt	**7440-48-4**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Cuivre	**7440-50-8**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Etain	**7440-31-5**	**OUI**	NON	
Fer	**7439-89-6**	**OUI**	NON	
Mercure	**7439-97-6**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Manganèse	**7439-96-5**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Nickel	**7440-02-0**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Plomb	**7439-92-1**	**OUI**	**OUI**	**ch**
Platine	**7440-06-4**	pas d'effets a priori	NON	
Palladium	**7440-05-3**	pas d'effets a priori	NON	
Rhodium	**7440-16-6**	pas d'effets rapportés	NON	
Zirconium	**7440-67-7**	pas d'effets rapportés	NON	
Cérium	**7440-45-1**	PAS DANS HSDB	NON	
Sélénium	**7782-49-2**	**OUI**	NON	
Titane	**7440-32-6**	T	NON	
Vanadium	**7440-62-2**	**OUI**	**OUI**	**ai**
Zinc	**7440-66-6**	**OUI**	NON	
élement Na	**7440-23-5**	PAS DANS HSDB	NON	
élement Al	**7429-90-5**	T	NON	
élement Si	**7440-21-3**	pas d'effets rapportés	NON	
élement Cl	**7782-50-5**	effets à de fortes C	**OUI**	**ai/ch**
élement Ca	**7440-70-2**	pas d'effets rapportés	NON	
AUTRES				
2,3,7,8-TCDD	**1746-01-6**	**OUI**	NON	
PCDD/F	**mélange**	**OUI**	NON	

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 10 : Tableaux synthétiques des VTR existantes pour les substances de la liste restreinte (non exhaustifs)

TABLEAU A : VTR AIGUES (VOIE RESPIRATOIRE)

N°CAS	Substance	VTR (µg/m3)	Source	Date de la dernière révision	Effet critique	Type d'étude	Facteur d'incertitude	Commentaire
10102-44-0	Dioxyde d'azote	Sans objet	ATSDR					
		VG = 200 (1 heure) (seuil d'info fr)	OMS	2005	Diminution des fonctions pulmonaires chez des asthmatiques	Homme	2	Cf AQG
		REL = 470 (1 heure)	OEHHA	99-2000	Augmentation réactivité bronchique chez des asthmatiques	Homme (NOAEL)	1	
630-08-0	Monoxyde de carbone	Sans objet	ATSDR					
		VG = 100 000 (15 minutes) VG = 60 000 (30 minutes) VG = 30 000 (1 heure) VG = 10 000 (8 heures)	OMS	2000	Augmentation de 2,5% de la carboxyhémoglobine HbCO	Homme		Cf AQG
		REL = 23 000 (1 heure)	OEHHA	2000	Angine de poitrine chez sujets avec troubles cardiovasculaires	Homme (NOAEL)	1	
	PM10	Sans objet	ATSDR					
		VG = 50 (24 heures)	OMS	2005	Mortalité (d'après relation avec le niveau annuel et ratio PM2,5/PM10)	Homme (épidémiologie)	-	Cf AQG
		Sans objet	OEHHA					
	PM2,5	Sans objet	ATSDR					
		VG = 25 (24 heures)	OMS	2005	Mortalité (d'après relation avec le niveau annuel)	Homme (épidémiologie)	-	Cf AQG
		Sans objet	OEHHA					

N°CAS	Substance	VTR (µg/m3)	Source	Date de la dernière révision	Effet critique	Type d'étude	Facteur d'incertitude	Commentaire
71-43-2	Benzène	Draft MRL = 29 (< 14 j)	ATSDR	2005	Diminution de la prolifération de lymphocytes	Souris (LOAEL)	300	
		-	OMS					
		REL = 1600 (6 heures)	OEHHA	2000	Diminution du poids foetal	Rat femelle enceinte (6h/j pdt 5j)	100	
108-88-3	Toluène	MRL = 3800 (< 14 j)	ATSDR	2000	Mal de tête, nausée, irritation du nez et des yeux	Homme (NOAEL)	10	
		VG = 260 (1 semaine)	OMS	2000	Effet sur le système nerveux central	Homme (LOAEL)	300	Cf AQG
		REL = 37 000 (1 heure)	OEHHA	2000	Mal de tête, nausée, irritation du nez et des yeux	Homme (NOAEL)	10	
1330-20-7	Xylènes	Draft MRL = 8700 (< 14 j)	ATSDR	2005	Effets neurologique et respiratoire	Homme (LOAEL)	30	
		4800 (24 h)	OMS	1997	SNC	Homme (NOAEL)	10	
		REL = 22 000 (1 heure)	OEHHA	2000	Irritation des yeux, du nez et de la gorge	Homme (volontaires bonne santé) (NOAEL)	10	
50-00-0	Formaldéhyde	MRL = 50 (< 14 j)	ATSDR	1999	Irritation au niveau des yeux, du nez	Homme (LOAEL)	9	
		VG = 100 (30 minutes)	OMS	2000	Irritation du nez et de la gorge	Homme	1	Cf AQG
		REL = 94 (1 heure)	OEHHA	2000	Irritation des yeux	Homme (BMC)	10	

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

N°CAS	Substance	VTR (µg/m3)	Source	Date de la dernière révision	Effet critique	Type d'étude	Facteur d'incertitude	
107-02-8	Acroléine	Draft MRL = 7 (<14 j)	ATSDR	2005	Irritation du nez et de la gorge et diminution du taux de respiration	Homme (LOAEL)	100	
		50 (30 min)	OMS	1992	Irritation oculaire	Homme (LOAEL)		Cf EHC
		REL = 0,19 (1 heure)	OEHHA	2000	Irritation des yeux	Homme (volontaires bonne santé) (LOAEL)	60	
7440-38-2	Arsenic	-	ATSDR					
		-	OMS					
		REL = 0,19 (4 heures)	OEHHA	2000	Diminution du poids foetal	Souris en gestation (LOAEL)	1000	
7440-50-8	Cuivre	-	ATSDR					
		-	OMS					
		REL = 100 (1 heure)	OEHHA	2000	Metal fume fever	Homme (T) (NOAEL)	10	
7439-97-6	Mercure	-	ATSDR					
		-	OMS					
		REL= 1,8 (1 heure)	OEHHA	2000	Effet sur le système nerveux central de la progéniture	Rates en gestation (LOAEL)	1000	
7440-02-0	Nickel	-	ATSDR					
		-	OMS					
		REL = 6 (1 heure)	OEHHA	2000	Effet sur le système respiratoire et système immunitaire	Hommes (T) volontaires, asthmatiques (LOAEL)	6	

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

TABLEAU B : VTR AVEC SEUIL (VOIE RESPIRATOIRE)

N°CAS	Substance	VTR (µg/m3)	Source	Date de la dernière révision	Effet critique	Type d'étude	Facteur d'incertitude
10102-44-0	Dioxyde d'azote	-	EPA				
		-	ATSDR				
		VG = 40	OMS	2000			
		-	OEHHA				
		-	RIVM				
		-	Santé Canada				
-	PM10	-	EPA				
		-	ATSDR				
		VG = 20	OMS	2005	Mortalité cardio-pulmonaire et cancer du poumon	Homme (épidémiologie)	-
		-	OEHHA				
		-	RIVM				
		-	Santé Canada				
-	PM2,5	-	EPA				
		-	ATSDR				
		VG = 10	OMS	2005	Mortalité cardio-pulmonaire et cancer du poumon	Homme (épidémiologie)	-
		-	OEHHA				
		-	RIVM				
		-	Santé Canada				

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

N°CAS	Substance	VTR (µg/m3)	Source	Date de la dernière révision	Effet critique	Type d'étude	Facteur d'incertitude
71-43-2	Benzène	RfC = 30	EPA	2003	Diminution du nombre de lymphocytes	Homme (BMLC)	300
		Draft MRL (sub-ch) = 19	ATSDR	2005	*Diminution du nombre de lymphocytes*	*Souris (LOAEL)*	*300*
		Draft MRL = 9,7			Diminution du nombre de lymphocytes	Homme (T) (BMLC)	10
		-	OMS				
		REL = 60	OEHHA	2005	Effets hémato	Homme (T) (NOAEL)	10
		-	RIVM				
		-	Santé Canada				
108-88-3	Toluène	RfC = 5000	EPA	2005	Effet sur le système nerveux central	Homme (NOAEL)	10
		MRL = 300	ATSDR	2000	Effet neurologique, Altération/modification de la vue	Homme (LOAEL)	100
		REL = 300	OEHHA	2005 (doc de 2000)	Effet sur le système nerveux, le système respiratoire, le développement	Rat (sub-chronique)	100
		TCA = 400	RIVM	1999	Effet sur le système nerveux central	Homme (LOAEC)	300
		TC = 3750	Santé Canada	1991	Effet sur les fonctions neurologiques	Homme (NOAEL)	10

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

N°CAS	Substance	VTR (µg/m3)	Source	Date de la dernière révision	Effet critique	Type d'étude	Facteur d'incertitude	
100-41-4	Ethylbenzène	RfC = 1000	EPA	1991	Effet sur le développement	Rat, lapin (NOAEL)	300	
		MRL = 4350 sub-chronique	*ATSDR*	*1999*	*Effets sur foie, reins rate, reproduction et développement*	*Rat - NOAEL*	*100*	
		22000	OMS	1999	Effets hépatiques	animal	100	Cf EHC
		REL = 2000	OEHHA	2005	Effet sur le développement, effet sur le foie et les reins	Rat, souris (LOAEL)	30	
		TCA = 770	RIVM	2000	Effet sur le foie et les reins	Rat, souris (NOAEC)	100	
		-	Santé Canada					
1330-20-7	Xylènes	RfC = 100	EPA	2003	Perte coordination motrice	Rat (sub-chronique)	300	
		Draft MRL (sub-ch) = 2600 Draft MRL = 200	ATSDR	2005	Effet sur système respiratoire, effet neurologique	*Rat (LOAEL)* Homme	*90* 300	
		-	OMS					
		REL = 700	OEHHA	2005	Irritation des yeux, gorge sèche, diminution de l'appétit	Homme (LOAEL)	30	
		TCA = 870	RIVM	1999	Neurotoxicité	Rat	1000	
		TC (pro) = 180	Santé Canada	1991	Effet sur le développement	Rat	1000	

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

N°CAS	Substance	VTR (µg/m3)	Source	Date de la dernière révision	Effet critique	Type d'étude	Facteur d'incertitude	
106-99-0	1,3 butadiène	RfC = 2	EPA	2002	Effet sur le système reproductif – atrophie ovarienne	Souris (BMC)	1000	
		-	ATSDR					
		-	OMS					
		REL = 20	OEHHA	2005	Effet sur le système reproductif – atrophie ovarienne	Souris (LOAEL)	30	
		-	RIVM					
		-	Santé Canada					
50-00-0	Formaldéhyde	-	EPA					
		MRL (sub-ch) = 30	ATSDR	1999	*Lésions fosses nasales*	*Singe (NOAEL)*	*30*	
		MRL = 10			Irritation nasale	Homme (LOAEL)	30	
		-	OMS					
		REL = 3	OEHHA	2005	Irritation nez et yeux, obstruction nasale, rhinites	Homme (NOAEL)	10	
		-	RIVM					
		-	Santé Canada					
75-07-0	Acétaldéhyde	RfC = 9	EPA	1991	Dégénérescence de l'épithélium nasal	Rat (court terme) (NOAEL)	1000	
		-	ATSDR					
		300	OMS	1995	Irritations tractus resp.	Rat (court terme)	1000	Cf EHC
		REL = 9	OEHHA	2005	Effet sur le système respiratoire	Rat		
		-	RIVM					
		TC = 390	Santé Canada	1998	Dégénérescence de l'épithélium nasal (BMC)	Rat (BMC)	100	

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

N°CAS	Substance	VTR (µg/m3)	Source	Date de la dernière révision	Effet critique	Type d'étude	Facteur d'incertitude
107-02-8	Acroléine	RfC = 0,02	EPA	2003	Lésions nasales (LOAEL)	Rat (sub-chronique) (LOAEL)	1000
		Draft MRL (sub-ch) = $9,3.10^{-2}$	*ATSDR*	*2005*	*Effet sur l'appareil respiratoire*	*Rat (LOAEL)*	*300*
		-	OMS				
		REL = 0,06	OEHHA	2005	Lésions nasales (LOAEL)	Rat (LOAEL)	300
		-	RIVM				
		TC = 0,4	Santé Canada	1998	Lésions nasales (BMC)	Rat (BMC)	100
7440-38-2	Arsenic	-	EPA				
		-	ATSDR				
		-	OMS				
		REL = 0,03	OEHHA		Effet sur le développement, malformation du squelette	Souris (LOAEL)	1000
		TCA = 1	RIVM	2000	Cancer du poumon	Homme (LOAEC)	10
		-	Santé Canada				
7440-39-3	Baryum	-	EPA				
		-	ATSDR				
		-	OMS				
		-	OEHHA				
		TCA = 1	RIVM	2000	Effet sur le système cardiovasculaire	Rat (NOAEC)	100
		-	Santé Canada				

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

N°CAS	Substance	VTR (µg/m3)	Source	Date de la dernière révision	Effet critique	Type d'étude	Facteur d'incertitude	
7440-43-9	Cadmium	-	EPA					
		-	ATSDR					
		VG = 0,005	OMS	2000	Altération de la fonction rénale	Homme	-	Cf AQG
		REL = 0,02	OEHHA	2005	Effet sur le système respiratoire, sur les reins	Homme (NOAEL)	30	
		-	RIVM					
		-	Santé Canada					
7440-47-3	Chrome (VI)	RfC = 0,1 (particules)	EPA	1998	Effet sur le système respiratoire	Rat (sub-chronique) (BMD)	300	
		RfC = 0,008 (vapeur d'acide chromique)		1998	Effet	Homme (sub chronique) (LOAEL)	90	
		MRL = 1 (particule) sub-chronique	ATSDR	2000	Effet sur l'appareil respiratoire		30	
		MRL = 0,005 (vapeur d'acide chromique) sub-chronique			*Effet sur l'appareil respiratoire*		*100*	
		-	OMS					
		REL = 0,2	OEHHA	2005	Effet sur le système respiratoire	Rat (BMC)	100	
		-	RIVM					
		-	Santé Canada					
7440-48-4	Cobalt	-	EPA					
		MRL = 0,1	ATSDR	2004	Effet sur le système respiratoire	Homme (NOAEL)	10	
		-	OMS					
		-	OEHHA					
		TCA = 0,5	RIVM	2000	Effet sur les poumons	Homme (LOAEC)	100	
		-	Santé Canada					

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

N°CAS	Substance	VTR (µg/m3)	Source	Date de la dernière révision	Effet critique	Type d'étude	Facteur d'incertitude
7440-50-8	Cuivre	-	EPA				
		-	ATSDR				
		-	OMS				
		-	OEHHA				
		TCA = 1	RIVM	2000	Effet sur les poumons et le système immunitaire	Lapin (NOAEC)	100
		-	Santé Canada				
7439-97-6	Mercure	RfC = 0,3	EPA	1995	Effet sur le système nerveux	Homme (LOAEL)	30
		MRL = 0,2	ATSDR	1999	Effet sur le système nerveux	Homme (LOAEL)	30
		VG = 1	OMS	2000	Effet sur les reins	Homme	20
		REL = 0,09	OEHHA	2005	Effet sur le système nerveux	Homme (LOAEL)	100
		TCA = 0,2	RIVM	2000	Effet sur le système nerveux	Homme (LOAEC)	30
		-	Santé Canada				
7439-96-5	Manganèse	RfC = 0,05	EPA	1993	Effet neuro-comportemental	Homme (LOAEL)	1000
		MRL = 0,04	ATSDR	2000	Effet neuro-comportemental	Homme (BMDL)	500
		VG = 0,15	OMS	2000	Effet neurotoxique	Homme (NOAEL)	50
		REL = 0,2	OEHHA	2005	Effet neuro-comportemental	Homme (LOAEL)	300
		-	RIVM				
		-	Santé Canada				

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

N°CAS	Substance	VTR (µg/m3)	Source	Date de la dernière révision	Effet critique	Type d'étude	Facteur d'incertitude	
7440-02-0	Nickel	-	EPA					
		MRL (sub-ch) = 0,2	ATSDR	2005	Effet sur les poumons	Rat (NOAEL)	*30*	
		MRL = 0,09					30	
		-	OMS					
		REL = 0,05	OEHHA	2005	Effet sur les poumons	Rat (NOAEL)	30	Nickel et comp
		TCA = 0,05	RIVM	2001	Effet sur le système respiratoire	Rat (NOAEC)	100	Nickel et composés
		TC (pr) = 0,018	Santé Canada	1993	Effet sur les poumons	Lapin (LOAEL)	1000	Nickel métal
7439-92-1	Plomb	-	EPA					
		-	ATSDR					
		VG = 0,5	OMS	2000	Effet sur le système nerveux	Homme (LOAEL)	-	Cf AQG
		-	OEHHA					
		-	RIVM					
		-	Santé Canada					
91-20-3	Naphtalène	RfC = 3	EPA	1998	Effet respiratoire (atteinte des épithéliums respiratoire et olfactif)	Souris (LOAEL)	3000	
		MRL = 4	ATSDR	2003	Effet respiratoire (atteinte des épithéliums respiratoire et olfactif)	Rat, souris (LOAEL)	300	
		-	OMS					
		REL = 9	OEHHA	2005	Effet sur le système respiratoire	Souris (LOAEL)	1000	
		-	RIVM					
		-	Santé Canada					

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

TABLEAU C : VTR SANS SEUIL (VOIE RESPIRATOIRE)

N°CAS	Substance	ERU $(\mu g/m3)^{-1}$	Source	Date de la dernière révision	Type de cancer	Type d'étude	Facteur d'incertitude	Commentaire
71-43-2	Benzène	$2,2.10^{-6}$ – $7,8.10^{-6}$	EPA	2000	Leucémie (sang)	Homme (T)		
		6.10^{-6}	OMS	2000	Leucémie (sang)	Homme (T)		Cf AQG
		$2,9.10^{-5}$	OEHHA	2002	Leucémie (sang)	Homme (T)		
		5.10^{-6}	RIVM	1999	Leucémie (sang)	Homme (T)		D'après CR = 2.10^{-2} mg/m^3
		$3,3.10^{-6}$	Santé Canada	1991	Leucémie (sang)	Homme		D'après CT05 = 15 mg/m^3
106-99-0	1,3 butadiène	3.10^{-5}	EPA	2002	Leucémie (sang)	Homme		
		-	OMS					
		$1,7.10^{-4}$	OEHHA	2002	Néoplasme des alvéoles pulmonaires et bronchioles	Souris		
		-	RIVM					
		CT01 = 1700	Santé Canada		Leucémie (sang)	Homme		Pas de transformation possible
50-00-0	Formaldéhyde	$1,3.10^{-5}$	EPA	1991	Cancer cavité nasale	Rat/homme		
		-	OMS					
		6.10^{-6}	OEHHA	2002	Cancer cavité nasale	Rat		
		-	RIVM					
			Santé Canada					
75-07-0	Acétaldéhyde	$2,2.10^{-6}$	EPA	1991	Cancer fosse nasale	Rat		
		$1,5.10^{-7}$ – 9.10^{-7}	OMS	1999	Cancer nez	Rat		Cf EHC
		$2,7.10^{-6}$	OEHHA	2002	Cancer fosse nasale	Rat		
		-	RIVM					
		$5,8.10^{-7}$	Santé Canada	1998	Cancer fosse nasale	Rat		D'après CT05 = 86000

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

N°CAS	Substance	ERU $(\mu g/m3)^{-1}$	Source	Date de la dernière révision	Type de cancer	Type d'étude	Facteur d'incertitude	Commentaire
7440-38-2	Arsenic	$4,3.10^{-3}$	EPA	1998	Cancer du poumon	Animal / homme (T)		
		$1,5.10^{-3}$	OMS	2000	Cancer du poumon	Homme (T)		
		$3,3.10^{-3}$	OEHHA	2002	Cancer du poumon	Homme (T)		
			RIVM					Voir la TCA
		$6,4.10^{-3}$	Santé Canada	1993	Cancer du poumon	Homme (T)		D'après CT05 = $7,8.10^{-3}$ mg/m^3
7440-43-9	Cadmium	$1,8.10^{-3}$	EPA	1992	Cancer du poumon	Homme (épidémiologie)		
		-	OMS					
		$4,2.10^{-3}$	OEHHA	2002	Cancer du poumon	Homme (T)		
		-	RIVM					
		$9,8.10^{-3}$	Santé Canada	1994	Cancer du poumon	Rat (aérosol de chlorure de Cd)		D'après CT05 = $5,1.10^{-3}$ mg/m^3
7440-47-3	Chrome VI	$1,2.10^{-2}$	EPA	1998	Cancer du poumon	Homme (T)		
		4.10^{-2}	OMS	2000	Cancer du poumon	Homme (T)		
		$1,5.10^{-1}$	OEHHA	2002	Cancer du poumon	Homme (T)		
		4.10^{-2}	RIVM	1999	Cancer du poumon	Homme (T)		D'après CR = $2,5.10^{-6}$ mg/m^3
		$7,5.10^{-2}$	Santé Canada	1993	Cancer du poumon	Homme (T)		D'après TC05 = $6,6.10^{-4}$ mg/m^3

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

N°CAS	Substance	ERU $(\mu g/m3)^{-1}$	Source	Date de la dernière révision	Type de cancer	Type d'étude	Facteur d'incertitude	Commentaire
7440-02-0	Nickel	$2.4.10^{-4}$	EPA	1998	Cancer du poumon	Homme (T)		Poussières de nickel de raffinage
		$3.8.10^{-4}$	OMS	1999	Cancer du poumon	Homme (T)		Poussières de nickel
		$2,6.10^{-4}$	OEHHA	2002	Cancer du poumon	Homme (T)		Poussières de nickel de raffinage
		$7,1.10^{-4}$	Santé Canada	1993	Cancer du poumon	Homme (T)		Composés solubles / d'après TC05 = 0,07 mg/m^3
50-32-8	Benzo(a)pyrène	-	EPA					
		$8,7.10^{-2}$	OMS	1998	Cancer du poumon	Homme (T) mélange de HAP		
		$1,1.10^{-3}$	OEHHA	2002	Tumeur du tractus respiratoire	Hamster mâle		
		-	RIVM					
		$3,12.10^{-5}$	Santé Canada	1993	Tumeur du nez, larynx et trachée	Hamster		D'après CT05 = 1,6 mg/m^3
91-20-3	Naphtalène	$3,4.10^{-5}$	OEHHA	2005	Tumeur de l'épithélium nasal	Rat		
		$1,1.10^{-6}$	*Application d'un FET de **0,001** à l'ERU du benzo(a)pyrène de l'OEHHA*					
208-96-8	Acénaphtylène	$1,1.10^{-6}$	*Application d'un FET de **0,001** à l'ERU du benzo(a)pyrène de l'OEHHA*					
83-32-9	Acénaphtène	$1,1.10^{-6}$	*Application d'un FET de **0,001** à l'ERU du benzo(a)pyrène de l'OEHHA*					
85-01-8	Phénantrène	$1,1.10^{-6}$	*Application d'un FET de **0,001** à l'ERU du benzo(a)pyrène de l'OEHHA*					
120-12-7	Anthracène	$1,1.10^{-5}$	*Application d'un FET de **0,01** à l'ERU du benzo(a)pyrène de l'OEHHA*					
206-44-0	Fluoranthène	$1,1.10^{-6}$	*Application d'un FET de **0,001** à l'ERU du benzo(a)pyrène de l'OEHHA*					
129-00-0	Pyrène	$1,1.10^{-6}$	*Application d'un FET de **0,001** à l'ERU du benzo(a)pyrène de l'OEHHA*					
56-55-3	Benzo(a)anthracène	$1,1.10^{-4}$	*Application d'un FET de **0,1** à l'ERU du benzo(a)pyrène de l'OEHHA*					
218-01-9	Chrysène	$1,1.10^{-5}$	*Application d'un FET de **0,01** à l'ERU du benzo(a)pyrène de l'OEHHA*					
205-99-2	Benzo(b)fluoranthène	$1,1.10^{-4}$	*Application d'un FET de **0,1** à l'ERU du benzo(a)pyrène de l'OEHHA*					
207-08-9	Benzo(k)fluoranthène	$1,1.10^{-4}$	*Application d'un FET de **0,1** à l'ERU du benzo(a)pyrène de l'OEHHA*					

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

53-70-3	Dibenzo(a,h)anthracène	$1,1.10^{-3}$	*Application d'un FET de **1** à l'ERU du benzo(a)pyrène de l'OEHHA*
191-24-2	Benzo(g,h,i)pérylène	$1,1.10^{-5}$	*Application d'un FET de **0,01** à l'ERU du benzo(a)pyrène de l'OEHHA*
193-39-5	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	$1,1.10^{-4}$	*Application d'un FET de **0,1** à l'ERU du benzo(a)pyrène de l'OEHHA*
86-73-7	Fluorène	$1,1.10^{-6}$	*Application d'un FET de **0,001** à l'ERU du benzo(a)pyrène de l'OEHHA*

T : Travailleurs

Remarque : la démarche appliquée aux HAP est la démarche recommandée par l'Inéris (Hydrocarbures aromatiques polycycliques – Evaluation de la relation dose-réponse pour des effets cancérigènes : approche substance par substance (FET) et approche par mélanges – rapport final – Blandine Doornaert et al – 2003) :

« Pour les effets cancérigènes : pour une exposition par inhalation à un mélange de HAPs, l'Inéris conseille de prendre en compte le seul Excès de Risque Unitaire (ERUi) spécifique du benzo(a)pyrène de $1,1.10^{-3}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$ proposé par l'OEHHA et de lui appliquer les FET.

En ce qui concerne le choix parmi les différentes tables de FET actuellement disponibles, l'Inéris propose d'utiliser celle établie par Nisbet et LaGoy en 1992 en attribuant au dibenzo(a,h)anthracène un FET de 1 au lieu de 5. »

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 11 : Note de calcul des excès de risque unitaires liés à la pollution atmosphérique urbaine à partir des risques relatifs des études épidémiologiques

Contexte

La hiérarchisation des polluants selon leur potentiel de risque dans les parkings est effectuée par un score combinant valeur toxicologique de référence et concentration estimée. Or, pour les polluants "classiques" (NO_2, PM_{10} et $PM_{2,5}$), il n'existe pas de valeur toxicologique de référence à proprement parler[1]. En effet les recommandations de l'OMS (1,2) ne sont pas à considérer comme correspondant à un risque acceptable mais comme à un niveau correspondant à une amélioration de la situation actuelle. Par ailleurs l'US. EPA ne propose pas de valeur toxicologique de référence pour ces composés dans la mesure où un standard de qualité d'air existe.

Principe

Pour autant il existe un large corpus de connaissances épidémiologiques sur les effets de ces composés, y compris en terme de lien quantitatif entre les concentrations ambiantes et les risques associés pour différents effets. La force de ces associations est décrite par le Risque Relatif (RR), rapport du risque chez les exposés (Re) au risque chez les non-exposés (Rne) (équation 1).

$$RR = \frac{\mathrm{Re}}{Rne} \qquad \text{(Équation 1)}$$

Pour une exposition de 1µg/m^3, Re équivaut à l'excès de risque unitaire (ERU) couramment utilisé en évaluation des risques sanitaires et s'écrit (équation 2) :

$$ERU = \left(RR(+1\mu g / m3) - 1\right).Rne \qquad \text{(Équation 2)}$$

Les ERU sont donc calculables dès lors que l'on dispose des RR et des Rne (ou incidence) pour les populations correspondantes. Il s'agit en fait d'une variante à la méthodologie d'"évaluation d'impact sanitaire" (3), exprimant les résultats sous forme de risque (individuel) plutôt que d'impact (collectif).

$$\mathrm{ERU}=\mathrm{Rne}.(\mathrm{RR}_{(1\mu g/m3)}-1)$$

Avec : $$RR(\Delta e) = e^{\frac{\ln(RR(+10))}{10}.\Delta \mathrm{e}}$$

Par exemple, pour la mortalité toute cause et pour une exposition journalière au NO_2 :

$$\mathrm{ERU}=2{,}14.10^{-5} \text{ x } (1{,}001-1)= 2{,}14.10^{-8} \ (\mu g/m^3)^{-1}$$

Fonctions Exposition-Risque

Faute de relations établies dans le contexte d'exposition des parkings, on se propose de reprendre les fonctions (RR) choisies récemment dans le programme Apheis d'évaluation d'impact sanitaire de la

[1] Sauf NO2 aiguë (1h)[1]

pollution particulaire dans 26 villes européennes (4) et celles proposées par l'InVS (5) dans le cadre de l'actualisation du guide méthodologique (6) d'évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Il s'agit là d'une extrapolation dont les limites doivent être discutées lors de l'interprétation des résultats.

Les fonctions exposition risque (RR) utilisées dans le programme Apheis sont décrites dans le tableau A, celles préconisées par l'InVS pour le NO_2 dans le tableau B.

Les tableaux A et B sont présentés en page suivante.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Polluant	durée d'exposition	Effet	CIM 10	Age	RR(+10µg/m^3)	UCL RR(+10µg/m^3)	Référence
PM_{10}	1j	mortalité (sauf accidentelle)	A00-R99	tous	1,006	1,008	OMS, 2004
PM_{10}	1j	mortalité cardiovasculaire	I00-I99	tous	1,009	1,013	OMS, 2004
PM_{10}	1j	mortalité respiratoire	J00-J99	tous	1,013	1,021	OMS, 2004
PM_{10}	1j	Adm. Hosp. Cardiaque	I00-I52	tous	1,006	1,009	Apheis 3, 2004
PM_{10}	1j	Adm. Hosp. Respiratoire	J00-J99	tous	1,0114	1,0167	Apheis 3, 2004
PM_{10}	1an	mortalité (sauf accidentelle)	A00-R99	tous	1,043	1,061	Kunzli 2000
$PM_{2,5}$	1 an	mortalité	A00-Y98	+ 30 ans	1,06	1,11	Pope 2002
$PM_{2,5}$	1an	mortalité cardio-pulmonaire	I10-I170 et J00-J99	+ 30 ans	1,09	1,16	Pope 2002
$PM_{2,5}$	1 an	mortalité par cancer poumon	C33-C34	+ 30 ans	1,14	1,23	Pope 2002

Tableau A : Fonctions exposition risque pour les PM_{10} et $PM_{2,5}$ utilisées dans le programme Apheis (d'après {Medina, 2004 839 /id}).

Polluant	durée d'exposition	Effet	CIM 10	Age	RR(+10µg/m^3)	UCL RR(+10µg/m^3)	Référence
NO_2	1j	mortalite (sauf accidentelle)	A00-R99	tous	1,01	1,013	InVS, PSAS-9
NO_2	1j	mortalite cardiovasculaire	I00-I99	tous	1,012	1,018	InVS, PSAS-9
NO_2	1j	mortalite respiratoire	J00-J99	tous	1,013	1,021	InVS, PSAS-9
NO_2	1j	Adm. Hosp. Cardiaque	I00-I52	tous	1,011	1,0155	InVS, PSAS-9
NO_2	1j	Adm. Hosp. Respiratoire	J00-J99	tous	1,002	1,007	InVS, PSAS-9

Tableau B : Fonctions exposition risque pour NO_2 préconisées par l'InVS pour l'évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine (d'après {Pascal, 2003 563 /id}.

Risque chez les non exposés

Le risque chez les non-exposés (ou plutôt moins exposés s'agissant de la pollution atmosphérique urbaine, pour laquelle la prévalence de l'exposition vaut 1) ou encore incidence ou "risque de base" dépend de la structure d'âge de la population, et donc du lieu. On se propose d'utiliser ici l'incidence pour la ville de Bordeaux (Tableau C), utilisée dans le cadre du projet Apheis. Bordeaux a été choisie car moyenne au regard des autres villes françaises.

	ICD9	ICD10	Nombre journalier moyen	Taux pour 100 000
EIS court terme				
Mortalité toute cause (hors accidents et morts violentes)*	< 800	A00-R99	12,5	2,14
Mortalité cardiovasculaire	390-459	I00-I99	4,0	0,68
Mortalité respiratoire	460-519	J00-J99	1,0	0,17
Admissions en cardiologie	390-429	I00-I52	17,0	2,90
Admissions en pneumologie	460-519	J00-J99	15,9	2,70
EIS long terme				
Mortalité toute cause (y compris accidents et morts violentes)	0-999	A00-Y98	13,5	2,31
Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 460-519	I10-I70 J00-J99	4,7	0,80
Mortalité par cancer du poumon	162	C33-C34	0,7	0,12

* pour les scénarios à court et long terme

Tableau C : Nombre moyen journalier de décès et d'admissions hospitalières et taux annuel pour 100 000 (1999)

Résultats et conditions d'utilisation

Les ERU (correspondant aux durées d'exposition indiquées : 1 jour ou 1 an) sont présentés dans le Tableau D. Ils sont calculés à partir du risque journalier (taux observé pour 100 000 personnes) de décès ou d'hospitalisation. Il s'agit donc d'un excès de risque journalier, pour une augmentation de 1 $\mu g/m^3$ de la concentration journalière de polluant. Cette forme d'expression de résultats est adaptée à une utilisation ultérieure pour calculer des risques en fonction des concentrations et vice-versa. Par contre, une comparaison avec des ERU exprimés vie entière (comme c'est en général le cas pour les bases de données en évaluation des risques sanitaires chimiques) nécessite d'utiliser un risque de décès sur 70 ans, soit de multiplier ces ERU par 365*70 soit par 25550. Une telle comparaison nécessite d'avoir à l'esprit les limites liées à ce calcul et en particulier la stabilité du risque journalier. Elle ne doit être envisagée que pour comparer des ordres de grandeur, ce qui est le cas pour la hiérarchisation des polluants dans le cadre du GT parkings.

Polluan	durée d'exposition	Effet	CIM 10	Age	Source	RR (+1µg/m^3.j)	UCL RR (+1µg/m^3.j)	R base (j^{-1}) (Source Apheis Bordeaux)	ERU (µg/m^3)$^{-1}$.j^{-1}	UCL ERU (µg/m^3)$^{-1}$.j^{-1}	Commentaire
PM_{10}	1j	mortalité (sauf accidentelle)	A00-R99	tous	Apheis	1,001	1,001	2,14E-05	1,28E-08	1,71E-08	
PM_{10}	1j	mortalité cardiovasculaire	I00-I99	tous	Apheis	1,001	1,001	6,80E-06	6,10E-09	8,79E-09	
PM_{10}	1j	mortalité respiratoire	J00-J99	tous	Apheis	1,001	1,002	1,70E-06	2,20E-09	3,54E-09	
PM_{10}	1j	Adm. Hosp. Cardiaque	I00-I52	tous	Apheis	1,001	1,001	2,90E-05	1,74E-08	2,60E-08	
PM_{10}	1j	Adm. Hosp. Respiratoire	J00-J99	tous	Apheis	1,001	1,002	2,70E-05	3,06E-08	4,48E-08	
PM_{10}	1an	mortalité (sauf accidentelle)	A00-R99	tous	Apheis	1,004	1,006	2,14E-05	9,03E-08	1,27E-07	
$PM_{2,5}$	1an	mortalité	A00-Y98	+ 30 ans	Apheis	1,006	1,010	2,31E-05	1,35E-07	2,42E-07	RR +30 ans extrapolé à tous âges
$PM_{2,5}$	1an	mortalité cardio-pulmonaire	I10-I170 et J00-J99	+ 30 ans	Apheis	1,009	1,015	8,00E-06	6,92E-08	1,20E-07	RR +30 ans extrapolé à tous âges
$PM_{2,5}$	1an	mortalité par cancer poumon	C33-C34	+ 30 ans	Apheis	1,013	1,021	1,20E-06	1,58E-08	2,51E-08	RR +30 ans extrapolé à tous âges
NO_2	1j	mortalité (sauf accidentelle)	A00-R99	tous	InVS	1,001	1,001	2,14E-05	2,13E-08	2,77E-08	
NO_2	1j	mortalité cardiovasculaire	I00-I99	tous	InVS	1,001	1,002	6,80E-06	8,12E-09	1,21E-08	
NO_2	1j	mortalité respiratoire	J00-J99	tous	InVS	1,001	1,002	1,70E-06	2,20E-09	3,54E-09	
NO_2	1j	Adm. Hosp. Cardiaque	I00-I52	tous	InVS	1,001	1,002	2,90E-05	3,17E-08	4,46E-08	RR (moyenne été-hiver)
NO_2	1j	Adm. Hosp. Respiratoire	J00-J99	tous	InVS	1,000	1,001	2,70E-05	5,40E-09	1,88E-08	RR15-64 ans extrapole a tous ages RR+65=1,004

Tableau D : Excès de risque journalier unitaires pour PM_{10}, $PM_{2,5}$ et NO_2 calculés à partir des études épidémiologiques menées sur la pollution atmosphérique urbaine

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Limites de l'exercice

Au cours de cette dernière décennie, de nombreux travaux épidémiologiques ont mis en évidence l'existence d'une association à court terme entre les niveaux journaliers de pollution atmosphérique urbains couramment observés et différents indicateurs de santé (7-13). Ces travaux sont essentiellement basés sur les études écologiques temporelles (14). Le terme écologique signifie que l'analyse porte sur des données agrégées et non des données individuelles. Le principe consiste à étudier, au sein d'une population donnée, les relations pouvant exister à court terme entre des séries journalières de niveaux ambiants de pollution atmosphérique et des séries journalières de données sanitaires qui, respectivement, constituent l'indicateur d'exposition et l'indicateur d'effet. Dans ces études, l'unité d'observation n'est pas l'individu mais le pas de temps entre deux recueils de données (habituellement une journée). Lorsque ces indicateurs sont enregistrés à intervalles réguliers, ils constituent ce que l'on appelle des séries chronologiques.

Les indicateurs d'exposition sont construits à partir des mesures enregistrées par les stations urbaines des réseaux de surveillance de la qualité de l'air. Ces stations qui mesurent une pollution ambiante ne sont pas directement influencées par une source directe contrairement aux stations urbaines de proximité dont la localisation est proche de sources de pollution (industrie, voie de circulation automobile...).

Les associations entre les niveaux de polluants et les événements sanitaires sont le plus souvent représentées par un excès de risque exprimé en pourcentage d'augmentation de l'événement sanitaire pour une augmentation de x $\mu g/m^3$ de la concentration d'un polluant donné. Elles permettent donc d'obtenir une relation dose-effet entre les niveaux de pollution et l'excès de risque de l'événement. Les relations observées entre les niveaux de pollution atmosphérique et le risque de décès sont de type linéaire sans seuil (15-17). Cela signifie qu'il n'existe pas de niveau en dessous duquel il n'y aurait pas d'effet décelable au niveau de la population générale. En d'autres termes, quel que soit le niveau d'exposition d'une population aux polluants atmosphériques, il existerait toujours au sein de cette population une fraction d'individus très sensibles.

Au jour d'aujourd'hui, ces résultats épidémiologiques ont permis de montrer que les niveaux de pollution ambiants avaient un effet à court terme sur la santé des populations et de quantifier le lien par une relation concentration risque. Nous discutons ici leur utilisation dans le contexte d'une exposition dans les parcs de stationnement couverts.

Les limites de cette extrapolation des courbes concentration-risque

Le premier élément à prendre en compte pour appliquer cette méthode est la causalité, en d'autres termes est ce que l'exposition est bien la cause de l'événement sanitaire étudié. Dans le cadre de la pollution atmosphérique, les critères de causalité ont été largement discutés et ce lien est maintenant admis par la communauté scientifique pour les particules et l'ozone (18).

Le deuxième élément est l'extrapolation des relations doses-effets (19). Ces relations sont définies dans des contextes particuliers qu'il est nécessaire de connaître pour ensuite les utiliser à bon escient.

La notion d'exposition est importante et a été largement discutée dans un rapport de l'Institut de Veille sanitaire (20) qui conclut que de nombreux travaux apportent des arguments solides sur la validité de recourir à des indicateurs d'exposition ambiante dans les études temporelles.

Se pose néanmoins la question de leur utilisation dans le cadre d'expositions différentes de par leur nature, leur durée…

En effet, la plupart des relations concentration risque disponibles ont été produites à partir d'études écologiques temporelles réalisées en milieu extérieur. Elles reposent donc sur une hypothèse prédéfinie qui consiste à dire que les courbes représentent l'exposition moyenne sur 24h de l'ensemble de la population d'une zone et le risque encouru par cette population face à cette concentration.

Ainsi si les relations obtenues sont utilisées dans des situations différentes, détermination d'un risque individuel par exemple, le contexte de l'exposition devra être discuté.

Dans le cadre de nos travaux sur le risque lié à la qualité de l'air dans les parkings, la discussion devra porter sur le rôle que va jouer l'exposition des sujets dans les parkings par rapport à la moyenne journalière à laquelle ils sont soumis. Ainsi même si les concentrations mesurées dans les parkings sont plus élevées que celles observées à l'extérieur du parking pour les indicateurs de pollution habituellement mesurés, l'exposition moyenne journalière des sujets ne sera influencée que si la durée d'exposition dans le parking est suffisamment importante.

L'utilisation des relations concentration – risque semble donc applicable pour les indicateurs de pollution tels que les PM10 et les NOx qui sont des polluants que l'on retrouve dans les parkings, sous la condition de discuter l'influence de la durée d'exposition.

Au final, quelle que soit l'utilisation de ces relations concentrations-risques, leur utilisation ne peut engendrer un biais uniquement que dans l'interprétation des résultats qui est en faite. Les résultats doivent être considérés comme des ordres de grandeur à mettre en parallèle avec les hypothèses d'exposition qui sont faites.

Dans l'utilisation qui en faite ici (hiérarchisation des polluants), seul l'ordre de grandeur est utilisé et les polluants NO_2 et PM ressortent "nettement". La durée d'exposition est indirectement prise en compte puisqu'elle est la même pour tous les polluants faisant l'objet d'une hiérarchisation. L'interprétation des résultats aurait été plus incertaine si les relations concentrations-risques avaient été utilisées pour fonder une VC de concentration fondée sur un niveau de risque.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Liste des références indiquées dans l'annexe 11

1. WHO (World Health Organisation). air quality guidelines. WHO. European series, N°91. 2000. Geneva.

2. World Health Organisation. WHO Air Quality Guidelines global update 2005. report of a Working Group meeting, Bonn, Germany, 18-20 october 2005. EUR/05/5042429, 1-30. 2005. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe.

3. Glorennec P. L'évaluation des risques de la pollution de l'air pour la santé publique. In: Denis Charpin, editor. L'air et la santé. Paris: Flammarion, 2004:283-95.

4. Medina, S., Plasencia A., and Apheis team. APHEIS - Air Pollution and Health: A European Information System. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique en Europe. Rapport de la troisième phase, 2002-2003. Institut de Veille Sanitaire. 1-100. 2004. St Maurice, France., Institut de veille Sanitaire.

5. Pascal, L and Cassadou S. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine : Actualisation du guide méthodologique. 1-38. 2003. Institut de Veille Sanitaire.

6. Glorennec, P and Quénel, P. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Guide méthodologique. InVS (Institut de veille sanitaire). 1999. France.

7. Samet JM, Dominici F, Curriero FC, Coursac I, Zeger SL. Fine particulate air pollution and mortality in 20 US Cities, 1987-1994. N Engl J Med 2000; 343: 1742-9.

8. Ballester F, Saez M, PerezHoyos S, *et al.* The EMECAM project: a multicentre study on air pollution and mortality in Spain: combined results for particulates and for sulfur dioxide. Occup Environ Med 2002; 59: 300-8.

9. Burnett RT, SmithDoiron M, Stieb D, Cakmak S, Brook JR. Effects of particulate and gaseous air pollution on cardiorespiratory hospitalizations. Arch Environ Health 1999; 54: 130-9.

10. Atkinson RW, Anderson HR, Sunyer J, *et al.* Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions - Results from APHEA 2 project. Am J Respir Crit Care Med 2001; 164: 1860-6.

11. Braun-Fahrlander C, Vuille JC, Sennhauser FH, *et al.* Respiratory health and long-term exposure to air pollutants in Swiss schoolchildren. SCARPOL Team. Swiss Study on Childhood Allergy and Respiratory Symptoms with Respect to Air Pollution, Climate and Pollen. Am J Respir Crit Care Med 1997; 155: 1042-9.

12. Medina S, Le Tertre A, Quenel P, *et al.* Air pollution and doctors' house calls: results from the ERPURS system for monitoring the effets of air pollution on public health in greater Paris, France, 1991-1995. Environ Res 1997.

13. Hajat S, Anderson HR, Atkinson RW, Haines A. Effects of air pollution on general practitioner consultations for upper respiratory diseases in London. Occup Environ Med 2002; 59: 294-9.

14. Filleul L, Zeghnoun A, Declercq C, Le Goaster C, Le Tertre A, Eilstein D, Medina S, Saviuc P, Prouvost H, Cassadou S, Pascal L, Quenel P. Short-term relationships between urban atmospheric pollution and respiratory mortality: time series studies. Rev Mal Respir. 2001 Sep;18(4 Pt 1):387-95.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

15. Schwartz J. Assessing confounding, effect modification, and thresholds in the association between ambient particles and daily deaths. Environ Health Perspect 2000; 108: 563-8.

16. Daniels MJ, Dominici F, Samet JM, Zeger SL. Estimating particulate matter-mortality dose-response curves and threshold levels: An analysis of daily time-series for the 20 largest US cities. Am J Epidemiol 2000; 152: 397-406.

17. Filleul L, Le Tertre A, Baldi I, Tessier JF. Difference in the relation between daily mortality and air pollution among elderly and all-ages populations in southwestern France. Environ Res. 2004 Mar;94(3):249-53.

18. Filleul L, Medina S, Cassadou S. Urban particulate air pollution: from epidemiology to health impact in public health. Rev Epidemiol Sante Publique. 2003 Oct;51(5):527-42.

19. Medina S, Plasencia A, Ballester F, Mucke HG, Schwartz J; Apheis group. Apheis: public health impact of PM10 in 19 European cities. J Epidemiol Community Health. 2004 Oct;58(10):831-6.

20. Institut de Veille Sanitaire. Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain : rapport de l'étude. Institut de Veille Sanitaire. *Saint-Maurice, mars 1999; 148 pages.*

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 12 : Tables de calcul des scores pour classement des substances

Classement des substances pour une exposition aiguë par inhalation D'après les résultats de mesure du Parc 2 (pris comme référence)

Substance	Pas de temps de la VTR	VTR aigue (µg/m3) (plus pénalisante)	Concentration max (µg/m3)	Score "Concentration / VTR"*	Origine des Concentrations max utilisées
NO2	1 heure	200	463	2,32E+00	mesure automatique 1 heure la plus forte
CO	15 minutes	100000	39000	3,90E-01	mesure automatique 15 minutes la plus forte
	30 minutes	60000	36000	6,00E-01	mesureautomatique 30 minutes la plus forte
	1 heure	23000	32000	1,39E+00	mesure automatique horaire la plus forte
	8 heures	10000	25000	2,50E+00	mesure automatique 8h la plus forte
Benzène	< 14 jours	29	40	1,38E+00	mesure passive hebdomadaire la plus forte
	6 heures	1300	58	4,46E-02	mesure active sur 8 heures la plus forte
Toluène	1 semaine	260	167	6,42E-01	mesure passive hebdomadaire la plus forte
	1 heure	37000	370	1,00E-02	pas de mesure sur 1 heure, par défaut on utilise la valeur la plus forte sur 30 minutes
	< 14 jours	3800	167	4,39E-02	mesure passive hebdomadaire la plus forte
Xylènes	< 14 jours	8700	129	1,48E-02	somme la plus forte des mesures passives hebdomadaires de m,p-xylènes et o-xylènes
	1 jour	4800	nm	nc	pas de mesure sur 1 jour
	1 heure	22000	309	1,40E-02	pas de mesure sur 1 heure, par défaut on utilise la valeur la plus forte sur 30 minutes
Formaldéhyde	30 minutes	100	40	4,00E-01	mesure active 30 minutes la plus forte
	1 heure	94	42	4,47E-01	mesure active 1 heure la plus forte
	< 14 jours	50	21	4,20E-01	mesure passive 4 jours la plus forte

*Pour chaque substance, le score le plus fort est en rouge

nm : non mesuré
nc : non calculé

Classement			
	VTR et pas de temps	Effet critique	Score
CO	10000 (8 heures)	% COHb < 2,5% (effets infra-cliniques)	2,50E+00
NO2	200 (1 heure)	Diminution de la fonction respiratoire chez les asthmatiques	2,32E+00
Benzène	29 (< 14 jours)	Diminution de la prolifération de lymphocytes (chez souris)	1,38E+00
Toluène	260 (1 semaine)		6,42E-01
Formaldéhyde	94 (1 heure)	Irritations ORL (homme)	4,47E-01
Xylène	8700 (< 14 jours)	Effets neurologiques et respiratoires (homme)	1,48E-02

Classement des substances à seuil pour une exposition chronique par inhalation D'après les résultats de mesure du Parc 2 (pris comme référence)

Classement					
Substance	VTR chronique avec seuil (µg/m3) (plus pénalisante)	Effet critique / organe cible	Concentration moyenne (µg/m3)	Score "Concentration / VTR"	Origine des Concentrations moy utilisées
Formaldéhyde	3	Irritations ORL (homme)	14	4,67E+00	Moyenne des mesures passives 4j
Benzène	9,7	Diminution du nombre de lymphcytes (homme)	26	2,68E+00	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Acétaldéhyde	9	Dégénerescence épithélium nasal, effet sur le système respiratoire (rat)	9,7	1,08E+00	Moyenne des mesures passives 4j
Xylènes	100	Perte de coordination motrice (rat)	88	8,80E-01	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Naphtalène	3	Atteinte épithélium olfactif et respiratoire (souris)	2,5	8,33E-01	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Toluène	300	SNC, troubles de la vue (homme)	127	4,23E-01	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Nickel	0,018	Poumons (lapin)	0,0062	3,44E-01	Moyenne des mesures journalières
Cadmium	0,005	Altération de la fonction rénale (homme)	0,0005	1,00E-01	Moyenne des mesures journalières
Plomb	0,5	Augmentation Pb sanguin (effet sur cognition et développement) (homme)	0,032	6,40E-02	Moyenne des mesures journalières
Ethylbenzène	770	Foie et reins (rongeurs)	22	2,86E-02	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Arsenic	0,03	Développement, malformation du squelette (souris)	nv	nc	mesure non valide

Note : toutes les concentrations en naphtalène sont inférieures à 2,5 µg/m3

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Classement des substances sans seuil pour une exposition chronique par inhalation D'après les résultats de mesure du Parc 2 (pris comme référence)

Substance	VTR chronique sans seuil (µg/m^3)$^{-1}$ (plus pénalisante)	Effet critique	Concentration moyenne (µg/m3)	Score (ERU x Concentration)	Origine des Concentrations moy utilisées
PM2,5	6,10E-03	Mortalité (homme)	56	3,42E-01	Moyenne sur la période de mesure (automatique)
PM10	3,20E-03	Mortalité (homme)	75	2,40E-01	Moyenne sur la période de mesure (automatique)
NO2	1,10E-03	Hospitalisation pour cause cardiovasculaire (homme)	187	2,06E-01	Moyenne sur la période de mesure (automatique)
Benzène	2,90E-05	Leucémie (homme)	26	7,54E-04	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Benzo(a)pyrène	8,70E-02	Cancer du poumon (homme)	0,0024	2,09E-04	Moyenne des mesures journalières
Formaldéhyde	1,30E-05	Cancer des cavités nasales (rat)	14	1,82E-04	Moyenne des mesures journalières
Naphtalène	3,40E-05	Tumeur de l'épithélium nasal (rat)	2,5	8,50E-05	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Acétaldéhyde	2,70E-06	Cancer des fosses nasales (rat)	9,7	2,62E-05	Moyenne des mesures journalières
Cadmium	9,80E-03	Cancer du poumon (rat)	0,0005	4,90E-06	Moyenne des mesures journalières
Nickel	3,80E-04	Cancer du poumon (homme)	0,0062	2,36E-06	Moyenne des mesures journalières
Benzo(b)fluoranthène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,002	2,20E-07	Moyenne des mesures journalières
Dibenzo(a,h)anthracène	1,10E-03	Cancer du poumon	0,0002	2,20E-07	Moyenne des mesures journalières
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,0019	2,09E-07	Moyenne des mesures journalières
Benzo(k)fluranthène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,00086	9,46E-08	Moyenne des mesures journalières
Benzo(g,h,i)pérylène	1,10E-05	Cancer du poumon	0,0045	4,95E-08	Moyenne des mesures journalières
Phénantrène	1,10E-06	Cancer du poumon	0,033	3,63E-08	Moyenne des mesures journalières
Chrysène	1,10E-05	Cancer du poumon	0,0032	3,52E-08	Moyenne des mesures journalières
Anthracène	1,10E-05	Cancer du poumon	0,0018	1,98E-08	Moyenne des mesures journalières
Pyrène	1,10E-06	Cancer du poumon	0,014	1,54E-08	Moyenne des mesures journalières
Fluoranthène	1,10E-06	Cancer du poumon	0,012	1,32E-08	Moyenne des mesures journalières
Arsenic	6,40E-03	Cancer du poumon (homme)	nv	nc	Mesure non valide
Benzo(a)anthracène	1,10E-04	Cancer du poumon	< LD	nc	< LD

Note : toutes les concentrations en naphtalène sont inférieures à 2,5 µg/m3

Pour PM_{10}, $PM_{2,5}$ et NO_2, les ERU indiqué dans le tableau correspondent aux ERU « vie entière » dérivés des RR des études épidémiologiques (cf Annexe 11)

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Classement des substances pour une exposition aiguë par inhalation D'après les résultats de mesure du Parc 1

Substance	Pas de temps de la VTR	VTR aigue (µg/m3) (plus pénalisante)	Concentration max (µg/m3)	Score "Concentration / VTR"*	Origine des Concentrations max utilisées
NO2	1 heure	200	356	1,78E+00	mesure automatique 1 heure la plus forte
CO	15 minutes	100000	3200	3,20E-02	mesure automatique 15 minute la plus forte
	30 minutes	60000	3200	5,33E-02	mesureautomatique 30 minutes la plus forte
	1 heure	23000	3000	1,30E-01	mesure automatique horaire la plus forte
	8 heures	10000	2200	2,20E-01	mesure automatique 8h la plus forte
Benzène	< 14 jours	29	8,1	2,79E-01	mesure passive hebdomadaire la plus forte
	6 heures	1300	7,9	6,08E-03	mesure active sur 8 heures la plus forte
Toluène	1 semaine	260	37	1,42E-01	mesure passive hebdomadaire la plus forte
	1 heure	37000	19	5,14E-04	pas de mesure sur 1 heure, par défaut on utilise la valeur la plus forte sur 30 minutes
	< 14 jours	3800	37	9,74E-03	mesure passive hebdomadaire la plus forte
Xylènes	< 14 jours	8700	29,2	3,36E-03	somme la plus forte des mesures passives hebdomadaires de m,p-xylènes et o-xylènes
	1 jour	4800	nm	nc	pas de mesure sur 1 jour
	1 heure	22000	17,4	7,91E-04	pas de mesure sur 1 heure, par défaut on utilise la valeur la plus forte sur 30 minutes
Formaldéhyde	30 minutes	100	9,7	9,70E-02	mesure active 30 minutes la plus forte
	1 heure	94	9,7	1,03E-01	pas de mesure sur 1 heure, par défaut on utilise la valeur la plus forte sur 30 minutes
	< 14 jours	50	7,6	1,52E-01	mesure passive 4 jours la plus forte (c)

nm : non mesuré
nc : non calculé

*Pour chaque substance, le score le plus fort est en rouge

Classement			
	VTR et pas de temps	Effet critique	Score
NO2	200 (1 heure)	Diminution de la fonction respiratoire chez les asthmatiques	1,78E+00
Benzène	29 (< 14 jours)	Diminution de la prolifération de lymphocytes (chez souris)	2,79E-01
CO	10000 (8 heures)	% COHb < 2,5% (effets infra-cliniques)	2,20E-01
Formaldéhyde	94 (1 heure)	Irritations ORL (homme)	1,52E-01
Toluène	260 (1 semaine)		1,42E-01
Xylène	8700 (< 14 jours)	Effets neurologiques et respiratoires (homme)	3,36E-03

Classement des substances à seuil pour une exposition chronique par inhalation D'après les résultats de mesure du Parc 1

Substance	VTR chronique avec seuil (µg/m3) (plus pénalisante)	Effet critique / organe cible	Concentration moyenne (µg/m3)	Score "Concentration / VTR"	Origine des Concentrations moy utilisées
Formaldéhyde	3	Irritations ORL (homme)	6,8	2,27E+00	Moyenne des mesures passives 4j
Benzène	9,7	Diminution du nombre de lymphcytes (homme)	4,2	4,33E-01	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Acétaldéhyde	9	Dégénerescence épithélium nasal, effet sur le système respiratoire (rat)	4,9	5,44E-01	Moyenne des mesures passives 4j
Naphtalène	3	Atteinte épithélium olfactif et respiratoire (souris)	0,87	2,90E-01	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Xylènes	100	Perte de coordination motrice (rat)	12,6	1,26E-01	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Cadmium	0,005	Altération de la fonction rénale (homme)	0,0006	1,20E-01	Moyenne des mesures journalières
Toluène	300	SNC, troubles de la vue (homme)	16	5,33E-02	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Plomb	0,5	Augmentation Pb sanguin (effet sur cognition et développement) (homme)	0,0258	5,16E-02	Moyenne des mesures journalières
Arsenic	0,03	Développement, malformation du squelette (souris)	0,0012	4,00E-02	Moyenne des mesures journalières
Ethylbenzène	770	Foie et reins (rongeurs)	3	3,90E-03	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Nickel	0,018	Poumons (lapin)	nv	nc	mesures non valides

Note : les concentrations de naphtalène relevées sont toutes inférieures à 0,87 µg/m3

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Classement des substances sans seuil pour une exposition chronique par inhalation D'après les résultats de mesure du Parc 1

Classement					
Substance	**VTR chronique sans seuil ($\mu g/m^3)^{-1}$ (plus pénalisante)**	**Effet critique**	**Concentration moyenne (µg/m3)**	**Score (ERU x Concentration)**	**Origine des Concentrations moy utilisées**
PM2,5	6,10E-03	Mortalité (homme)	26	1,59E-01	Moyenne sur la période de mesure (automatique)
NO2	1,10E-03	Hospitalisation pour cause cardiovasculaire (homme)	119	1,31E-01	Moyenne sur la période de mesure (automatique)
PM10	3,20E-03	Mortalité (homme)	34	1,09E-01	Moyenne sur la période de mesure (automatique)
Benzène	2,90E-05	Leucémie (homme)	4,2	1,22E-04	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Formaldéhyde	1,30E-05	Cancer des cavités nasales (rat)	6,8	8,84E-05	Moyenne des mesures journalières
Benzo(a)pyrène	8,70E-02	Cancer du poumon (homme)	0,0008	6,96E-05	Moyenne des mesures journalières
Naphtalène	3,40E-05	Tumeur de l'épithélium nasal (rat)	0,87	2,96E-05	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Acétaldéhyde	2,70E-06	Cancer des fosses nasales (rat)	4,9	1,32E-05	Moyenne des mesures journalières
Arsenic	6,40E-03	Cancer du poumon (homme)	0,0012	7,68E-06	Moyenne des mesures journalières
Cadmium	9,80E-03	Cancer du poumon (rat)	0,0006	5,88E-06	Moyenne des mesures journalières
Dibenzo(a,h)anthracène	1,10E-03	Cancer du poumon	0,0001	1,10E-07	Moyenne des mesures journalières
Benzo(b)fluoranthène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,0009	9,90E-08	Moyenne des mesures journalières
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,0007	7,70E-08	Moyenne des mesures journalières
Benzo(k)fluranthène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,0004	4,40E-08	Moyenne des mesures journalières
Phénantrène	1,10E-06	Cancer du poumon	0,0198	2,18E-08	Moyenne des mesures journalières
Benzo(g,h,i)pérylène	1,10E-05	Cancer du poumon	0,0015	1,65E-08	Moyenne des mesures journalières
Pyrène	1,10E-06	Cancer du poumon	0,0049	5,39E-09	Moyenne des mesures journalières
Fluoranthène	1,10E-06	Cancer du poumon	0,0046	5,06E-09	Moyenne des mesures journalières
Chrysène	1,10E-05	Cancer du poumon	0,0001	1,10E-09	Moyenne des mesures journalières
Anthracène	1,10E-05	Cancer du poumon	0,0001	1,10E-09	Moyenne des mesures journalières
Nickel	3,80E-04	Cancer du poumon (homme)	nv	nc	Moyenne des mesures journalières

Note : les concentrations de naphtalène relevées sont toutes inférieures à 0,87 µg/m3

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Classement des substances pour une exposition aiguë par inhalation D'après les résultats de mesure du Parc 3

Substance	Pas de temps de la VTR	VTR aigue (µg/m3) (plus pénalisante)	Concentration max (µg/m3)	Score "Concentration / VTR"*	Origine des Concentrations max utilisées
NO2	1 heure	200	491	2,46E+00	mesure automatique 1 heure la plus forte
CO	15 minutes	100000	27000	2,70E-01	mesure automatique 15 minute la plus forte
	30 minutes	60000	22300	3,72E-01	mesureautomatique 30 minutes la plus forte
	1 heure	23000	20000	8,70E-01	mesure automatique horaire la plus forte
	8 heures	10000	14400	1,44E+00	mesure automatique 8h la plus forte
Benzène	< 14 jours	29	63	2,17E+00	mesure passive hebdomadaire la plus forte
	6 heures	1300	56	4,31E-02	mesure active sur 8 heures la plus forte
Toluène	1 semaine	260	460	1,77E+00	mesure passive hebdomadaire la plus forte
	1 heure	37000	680	1,84E-02	pas de mesure sur 1 heure, par défaut on utilise la mesure sur 30 minutes la + forte
	< 14 jours	3800	460	1,21E-01	mesure passive hebdomadaire la plus forte
Xylènes	< 14 jours	8700	278	3,20E-02	somme la plus forte des mesures passives hebdomadairesde m,p-xylènes et o-xylènes
	1 jour	4800	nm	nc	pas de mesure sur 1 jour
	1 heure	22000	590	2,68E-02	pas de mesure sur 1 heure, par défaut on utilise la mesure sur 30 minutes la + forte
Formaldéhyde	30 minutes	100	31	3,10E-01	pas de mesure sur 30 min, par défaut on utilise la mesure active 1 heure la plus forte
	1 heure	94	31	3,30E-01	mesure active 1 heure la plus forte
	< 14 jours	50	22	4,40E-01	mesure passive 4 jours la plus forte

*Pour chaque substance, le score le plus fort est en rouge

nm : non mesuré
nc : non calculé

Classement			
	VTR et pas de temps	Effet critique	Score
NO2	200 (1 heure)	Diminution de la fonction respiratoire chez les asthmatiques	2,46E+00
Benzène	29 (< 14 jours)	Diminution de la prolifération de lymphocytes (chez souris)	2,17E+00
Toluène	260 (1 semaine)		1,77E+00
CO	10000 (8 heures)	% COHb < 2,5% (effets infra-cliniques)	1,44E+00
Formaldéhyde	94 (1 heure)	Irritations ORL (homme)	4,40E-01

Classement des substances à seuil pour une exposition chronique par inhalation D'après les résultats de mesure du Parc 3

Classement					
Substance	VTR chronique avec seuil (µg/m3) (plus pénalisante)	Effet critique / organe cible	Concentration moyenne (µg/m3)	Score "Concentration / VTR"	Origine des Concentrations moy utilisées
Formaldéhyde	3	Irritations ORL (homme)	18,3	6,10E+00	Moyenne des mesures passives 4j
Benzène	9,7	Diminution du nombre de lymphcytes (homme)	53	5,46E+00	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Naphtalène	3	Atteinte épithélium olfactif et respiratoire (souris)	7,2	2,40E+00	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Xylènes	100	Perte de coordination motrice (rat)	173	1,73E+00	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Acétaldéhyde	9	Dégénerescence épithélium nasal, effet sur le système respiratoire (rat)	14,5	1,61E+00	Moyenne des mesures passives 4j
Toluène	300	SNC, troubles de la vue (homme)	365	1,22E+00	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Nickel	0,018	Poumons (lapin)	0,0048	2,67E-01	Moyenne des mesures journalières
Ethylbenzène	770	Foie et reins (rongeurs)	40,5	5,26E-02	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Plomb	0,5	Augmentation Pb sanguin (effet sur cognition et développement) (homme)	0,0119	2,38E-02	Moyenne des mesures journalières
Cadmium	0,005	Altération de la fonction rénale (homme)	0,0001	2,00E-02	Moyenne des mesures journalières
Arsenic	0,03	Développement, malformation du squelette (souris)	0,0004	1,33E-02	Moyenne des mesures journalières
Mercure	0,09	Système nerveu (homme)	<LD	/	<LD

Note : les concentrations de naphtalène relevées sont toutes inférieures à 7,2 µg/m3

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Classement des substances sans seuil pour une exposition chronique par inhalation D'après les résultats de mesure du Parc 3

Classement					
Substance	**VTR chronique sans seuil ($\mu g/m^3)^{-1}$ (plus pénalisante)**	**Effet critique**	**Concentration moyenne (µg/m3)**	**Score (ERU x Concentration)**	**Origine des Concentrations moy utilisées**
PM2,5	6,10E-03	Mortalité (homme)	34	2,07E-01	Moyenne sur la période de mesure (automatique)
NO2	1,10E-03	Hospitalisation pour cause cardiovasculaire (homme)	180	1,98E-01	Moyenne sur la période de mesure (automatique)
PM10	3,20E-03	Mortalité (homme)	46	1,47E-01	Moyenne sur la période de mesure (automatique)
Benzène	2,90E-05	Leucémie (homme)	53	1,54E-03	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Naphtalène	3,40E-05	Tumeur de l'épithélium nasal (rat)	7,2	2,45E-04	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Formaldéhyde	1,30E-05	Cancer des cavités nasales (rat)	18,3	2,38E-04	Moyenne des mesures journalières
Benzo(a)pyrène	8,70E-02	Cancer du poumon (homme)	0,0012	1,04E-04	Moyenne des mesures journalières
Acétaldéhyde	2,70E-06	Cancer des fosses nasales (rat)	14,5	3,92E-05	Moyenne des mesures journalières
Arsenic	6,40E-03	Cancer du poumon (homme)	0,0004	2,56E-06	Moyenne des mesures journalières
Nickel	3,80E-04	Cancer du poumon (homme)	0,0048	1,82E-06	Moyenne des mesures journalières
Cadmium	9,80E-03	Cancer du poumon (rat)	0,0001	9,80E-07	Moyenne des mesures journalières
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,0012	1,32E-07	Moyenne des mesures journalières
Dibenzo(a,h)anthracène	1,10E-03	Cancer du poumon	0,0001	1,10E-07	Moyenne des mesures journalières
Benzo(b)fluoranthène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,0009	9,90E-08	Moyenne des mesures journalières
Phénantrène	1,10E-06	Cancer du poumon	0,0793	8,72E-08	Moyenne des mesures journalières
Anthracène	1,10E-05	Cancer du poumon	0,0062	6,82E-08	Moyenne des mesures journalières
Benzo(k)fluranthène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,0004	4,40E-08	Moyenne des mesures journalières
Benzo(g,h,i)pérylène	1,10E-05	Cancer du poumon	0,0032	3,52E-08	Moyenne des mesures journalières
Chrysène	1,10E-05	Cancer du poumon	0,0018	1,98E-08	Moyenne des mesures journalières
Pyrène	1,10E-06	Cancer du poumon	0,0173	1,90E-08	Moyenne des mesures journalières
Fluoranthène	1,10E-06	Cancer du poumon	0,0148	1,63E-08	Moyenne des mesures journalières
Benzo(a)anthracène	1,10E-04	Cancer du poumon	nv	nc	pas de mesure

Note : les concentrations de naphtalène relevées sont toutes inférieures à 7,2 µg/m3

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Classement des substances pour une exposition aiguë par inhalation D'après les résultats de mesure du Parc 4

Substance	Pas de temps de la VTR	VTR aigue (µg/m3) (plus pénalisante)	Concentration max (µg/m3)*	Score "Concentration / VTR"*	Origine des Concentrations max utilisées
NO2	1 heure	200	213	1,07E+00	mesure automatique 1 heure la plus forte
CO	15 minutes	100000	23900	2,39E-01	mesure automatique 15 minute la plus forte
	30 minutes	60000	20400	3,40E-01	mesureautomatique 30 minutes la plus forte
	1 heure	23000	18100	7,87E-01	mesure automatique horaire la plus forte
	8 heures	10000	11400	1,14E+00	mesure automatique 8h la plus forte
Benzène	< 14 jours	29	23	7,93E-01	mesure passive hebdomadaire la plus forte
	6 heures	1300	45	3,46E-02	mesure active sur 8 heures la plus forte
Toluène	1 semaine	260	210	8,08E-01	mesure passive hebdomadaire la plus forte
	1 heure	37000	310	8,38E-03	pas de mesure sur 1 heure, par défaut on utilise la valeur la plus forte sur 30 minutes
	< 14 jours	3800	210	5,53E-02	mesure passive hebdomadaire la plus forte
Xylènes	< 14 jours	8700	830	9,54E-02	somme la plus forte des mesures passives hebdomadaires de m,p-xylènes et o-xylènes
	1 jour	4800	nm	nc	pas de mesure sur 1 jour
	1 heure	22000	199	9,05E-03	pas de mesure sur 1 heure, par défaut on utilise la valeur la plus forte sur 30 minutes
Formaldéhyde	30 minutes	100	25	2,50E-01	pas de mesure sur 30 minutes, par défaut on utilise la mesure la plus forte sur 1 heure
	1 heure	94	25	2,66E-01	mesure active 1 heure la plus forte
	< 14 jours	50	20	4,00E-01	mesure passive 4 jours la plus forte

nm : non mesuré
nc : non calculé

*Pour chaque substance, le score le plus fort est en rouge

Classement			
	VTR et pas de temps	Effet critique	Score
CO	10000 (8 heures)	% COHb < 2,5% (effets infra-cliniques)	1,14E+00
NO2	200 (1 heure)	Diminution de la fonction respiratoire chez les asthmatiques	1,07E+00
Toluène	260 (1 semaine)		8,08E-01
Benzène	29 (< 14 jours)	Diminution de la prolifération de lymphocytes (chez souris)	7,93E-01
Formaldéhyde	94 (1 heure)	Irritations ORL (homme)	4,00E-01

Classement des substances à seuil pour une exposition chronique par inhalation D'après les résultats de mesure du Parc 4

Classement					
Substance	VTR chronique avec seuil (µg/m3) (plus pénalisante)	Effet critique / organe cible	Concentration moyenne (µg/m3)	Score "Concentration / VTR"	Origine des Concentrations moy utilisées
Formaldéhyde	3	Irritations ORL (homme)	17	5,67E+00	Moyenne des mesures passives 4j
Xylènes	100	Perte de coordination motrice (rat)	256	2,56E+00	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Benzène	9,7	Diminution du nombre de lymphcytes (homme)	19	1,96E+00	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Acétaldéhyde	9	Dégénerescence épithélium nasal, effet sur le système respiratoire (rat)	10,1	1,12E+00	Moyenne des mesures passives 4j
Naphtalène	3	Atteinte épithélium olfactif et respiratoire (souris)	2,4	8,00E-01	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Toluène	300	SNC, troubles de la vue (homme)	160	5,33E-01	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Nickel	0,018	Poumons (lapin)	0,0056	3,11E-01	Moyenne des mesures journalières
Ethylbenzène	770	Foie et reins (rongeurs)	54	7,01E-02	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Cadmium	0,005	Altération de la fonction rénale (homme)	0,0003	6,00E-02	Moyenne des mesures journalières
Plomb	0,5	Augmentation Pb sanguin (effet sur cognition et développement) (homme)	0,022	4,40E-02	Moyenne des mesures journalières
Arsenic	0,03	Développement, malformation du squelette (souris)	0,0007	2,33E-02	Moyenne des mesures journalières

Note : les concentrations de naphtalène relevées sont toutes inférieures à 2,4 µg/m3

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Classement des substances sans seuil pour une exposition chronique par inhalation D'après les résultats de mesure du Parc 4

Classement					
Substance	**VTR chronique sans seuil ($\mu g/m^3)^{-1}$ (plus pénalisante)**	**Effet critique**	**Concentration moyenne (µg/m3)**	**Score (ERU x Concentration)**	**Origine des Concentrations moy utilisées**
PM2,5	6,10E-03	Mortalité	22	1,34E-01	Moyenne sur la période de mesure (automatique)
PM10	3,20E-03	Mortalité	29	9,28E-02	Moyenne sur la période de mesure (automatique)
NO2	1,10E-03	Hospitalisation pour cause cardiovasculaire	77	8,47E-02	Moyenne sur la période de mesure (automatique)
Benzène	2,90E-05	Leucémie	19	5,51E-04	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Formaldéhyde	1,30E-05	Cancer des cavités nasales (rat)	17	2,21E-04	Moyenne des mesures journalières
Naphtalène	3,40E-05	Tumeur de l'épithélium nasal (rat)	2,4	8,16E-05	Moyenne des mesures passives hebdomadaires
Benzo(a)pyrène	8,70E-02	Cancer du poumon (Hhomme)	0,0008	6,96E-05	Moyenne des mesures journalières
Acétaldéhyde	2,70E-06	Cancer des fosses nasales (rat)	10,1	2,73E-05	Moyenne des mesures journalières
Arsenic	6,40E-03	Cancer du poumon (homme)	0,0007	4,48E-06	Moyenne des mesures journalières
Cadmium	9,80E-03	Cancer du poumon (rat)	0,0003	2,94E-06	Moyenne des mesures journalières
Nickel	3,80E-04	Cancer du poumon	0,0056	2,13E-06	Moyenne des mesures journalières
Benzo(a)anthracène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,0009	9,90E-08	Moyenne des mesures journalières
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,0007	7,70E-08	Moyenne des mesures journalières
Benzo(b)fluoranthène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,0006	6,60E-08	Moyenne des mesures journalières
Dibenzo(a,h)anthracène	1,10E-03	Cancer du poumon	0,000048	5,28E-08	Moyenne des mesures journalières
Phénantrène	1,10E-06	Cancer du poumon	0,045	4,95E-08	Moyenne des mesures journalières
Anthracène	1,10E-05	Cancer du poumon	0,0024	2,64E-08	Moyenne des mesures journalières
Benzo(k)fluranthène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,0002	2,20E-08	Moyenne des mesures journalières
Benzo(g,h,i)pérylène	1,10E-05	Cancer du poumon	0,0018	1,98E-08	Moyenne des mesures journalières
Chrysène	1,10E-05	Cancer du poumon	0,001	1,10E-08	Moyenne des mesures journalières
Fluoranthène	1,10E-06	Cancer du poumon	0,0099	1,09E-08	Moyenne des mesures journalières
Pyrène	1,10E-06	Cancer du poumon	0,009	9,90E-09	Moyenne des mesures journalières

Note : les concentrations de naphtalène relevées sont toutes inférieures à 2,4 µg/m3

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 13 : Sélection finale des substances d'intérêt

A - Sélection des substances pour des expositions aiguës à subaiguës

Substance	VTR et pas de temps	Effet critique	Score	Plausibilité de l'effet	Gravité de l'effet	Effet observé chez homme/animal	Retenue (O/N)
CO	10000 (8 heures)	% COHb < 2,5% (effets infra-cliniques)	2,50E+00	+	+	+	**OUI**
NO2	200 (1 heure)	Diminution de la fonction respiratoire chez les asthmatiques	2,32E+00	+	+	+	**OUI**
Benzène	29 (< 14 jours)	Diminution de la prolifération de lymphocytes (chez souris)	1,38E+00	+	+	-	**NON** [(a)]
Toluène	260 (1 semaine)		6,42E-01	-	/	/	**NON**
Formaldéhyde	94 (1 heure)	Irritations ORL (homme)	4,47E-01	-	/	/	**NON**
Xylène	8700 (< 14 jours)	Effets neurologiques et respiratoires (homme)	1,48E-02	-	/	/	**NON**

(a) : le benzène n'est pas retenu par le GT malgré une majorité de « + » ; le GT estime en effet que le benzène est peu référencé pour des risques aigus ; les observations ne sont par ailleurs faites que chez l'animal (même pour l'autre VTR existante pour une exposition aiguë) ; il est par ailleurs reconnu pour ses effets néfastes pour des expositions chroniques avec notamment des observations chez l'homme. Un argument supplémentaire amenant à son élimination est que la régulation sur CO et NO_2 (substances retenues aux scores supérieurs) impliquera la limitation des concentrations de benzène.

B - Sélection des substances avec seuil d'effet pour des expositions chroniques

Substance	VTR chronique avec seuil (µg/m3) (plus pénalisante)	Effet critique / organe cible	[C] moyenne (µg/m3)	Score "[C] / VTR"	Plausibilité de l'effet	Gravité de l'effet	Effet observé chez homme/animal	Retenue (O/N)
Formaldéhyde	3	Irritations ORL (homme)	14	4,67E+00	+	-	+	**OUI**
Benzène	9,7	Diminution du nombre de lymphocytes (homme)	26	2,68E+00	+	+	+	**OUI**
Acétaldéhyde	9	Dégénérescence épithélium nasal, effet sur le système respiratoire (rat)	9,7	1,08E+00	+	+	-	**OUI**
Xylènes	100	Perte de coordination motrice (rat)	88	8,80E-01	+ [(b)]	+	-	**OUI**
Naphtalène	3	Atteinte épithélium olfactif et respiratoire (souris)	2,5	8,33E-01	+ [(c)]	-	-	**OUI**
Toluène	300	SNC, troubles de la vue (homme)	127	4,23E-01	-	/	/	**NON**
Nickel	0,018	Poumons (lapin)	0,0062	3,44E-01	-	/	/	**NON**
Cadmium	0,005	Altération de la fonction rénale (homme)	0,0005	1,00E-01	-	/	/	**NON**
Plomb	0,5	Augmentation Pb sanguin (effet sur cognition et développement) (homme)	0,032	6,40E-02	-	/	/	**NON**
Ethylbenzène	770	Foie et reins (rongeurs)	22	2,86E-02	-	/	/	**NON**

(b) (c) : score proche de 1.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

C - Sélection des substances sans seuil d'effet pour des expositions chroniques

Substance	VTR chronique sans seuil ($\mu g/m^3)^{-1}$ (plus pénalisante)	Effet critique	[C] moyenne (µg/m3)	Score (ERU x Concentration)	Plausibilité de l'effet	Gravité de l'effet	Effet observé chez homme/animal	Retenue (O/N)
PM2,5	6,10E-03	Mortalité	56	3,42E-01	+	+	+	**OUI**
PM10	3,2E-03	Mortalité	75	2,4E-01	+	+	+	**OUI**
NO2	1,10E-03	Hospitalisation pour cause cardiovasculaire	187	2,06E-01	+	+	+	**OUI**
Benzène	2,90E-05	Leucémie	26	7,54E-04	+	+	+	**OUI**
Benzo(a)pyrène	8,70E-02	Cancer du poumon (homme)	0,0024	2,09E-04	+	+	+	**OUI**
Formaldéhyde	1,30E-05	Cancer des cavités nasales (rat/homme)	14	1,82E-04	+	+	+	**OUI**
Naphtalène	3,40E-05	Tumeur de l'épithélium nasal (rat)	2,5	8,50E-05	+	+	-	**OUI**
Acétaldéhyde	2,70E-06	Cancer des fosses nasales (rat)	9,7	2,62E-05	+	+	-	**OUI**
Cadmium	9,80E-03	Cancer du poumon (rat)	0,0005	4,90E-06	-	/	/	**NON**
Nickel	3,80E-04	Cancer du poumon (homme)	0,0062	2,36E-06	-	/	/	**NON**
Benzo(b)fluoranthène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,002	2,20E-07	-	/	/	**NON**
Dibenzo(a,h)anthracène	1,10E-03	Cancer du poumon	0,0002	2,20E-07	-	/	/	**NON**
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,0019	2,09E-07	-	/	/	**NON**
Benzo(k)fluranthène	1,10E-04	Cancer du poumon	0,00086	9,46E-08	-	/	/	**NON**
Benzo(g,h,i)pérylène	1,10E-05	Cancer du poumon	0,0045	4,95E-08	-	/	/	**NON**
Phénantrène	1,10E-06	Cancer du poumon	0,033	3,63E-08	-	/	/	**NON**
Chrysène	1,10E-05	Cancer du poumon	0,0032	3,52E-08	-	/	/	**NON**
Anthracène	1,10E-05	Cancer du poumon	0,0018	1,98E-08	-	/	/	**NON**
Pyrène	1,10E-06	Cancer du poumon	0,014	1,54E-08	-	/	/	**NON**
Fluoranthène	1,10E-06	Cancer du poumon	0,012	1,32E-08	-	/	/	**NON**

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 14 : Cas des polluants non mesurés

L'objectif est de modéliser les concentrations dans l'air d'un parking souterrain type pour l'acroléine, le 1,3-butadiène, l'acénaphtène, l'acénaphtylène, le fluorène, le chrome, le cobalt, le cuivre, le manganèse et le baryum.

On propose d'avoir recours aux données fournies par l'outil européen COPERT III. Il s'agit de travailler à partir des « données de base », et non d'utiliser cet outil pour faire des estimations quantitatives d'émission de substances pour une situation de circulation qui s'apparenterait à celle observée dans un parking et pouvant servir à l'estimation des concentrations.

En fonction des familles de polluants, les données de base de COPERT qui sont utilisées dans ce contexte sont de nature différente :

Cas des COV non méthaniques : les données de base correspondent à des proportions à l'émission (exprimées en pourcentages à l'émission). Ces données sont issues de résultats publiés dans la littérature (Buwal, 1994 ; TNO, 1993 ; Volkswagen, 1989 ; Umweltbundesamt, 1996).

Cas des HAP : les données de base correspondent à des facteurs d'émission unitaires (exprimés en µg/km). Ces facteurs d'émission sont à considérer comme des valeurs globales (il n'est pas fait de distinction entre émissions à chaud et émissions à froid). Ces données ont été développées sur la base d'une revue de la littérature (Buwal, 1994, TNO, 1993, Volkswagen, 1989).

Cas des métaux : Les données de base correspondent à des facteurs d'émission (exprimés en mg/kg de carburant). COPERT fournit ces données pour les métaux suivants : cadmium, cuivre, chrome, nickel, sélénium et zinc. Ces données sont issues de la « UNECE Task Force on Emission Inventories »[2].

Par ailleurs, des données complémentaires ont également été recherchées dans la littérature scientifique (HEI, 2006 ; Laschober, 2004 ; Sternbeck, 2001).

1 - Cas de l'acroléine et du 1,3-butadiène

L'acroléine et le 1,3-butadiène sont émis à la fois au niveau de l'échappement et par évaporation. Ainsi, le principe de l'application du profil à l'émission au profil des concentrations dans l'air ambiant n'est pas applicable de façon simple, mais nécessite de prendre en compte la contribution de chacun de ces 2 types d'émission. **Afin de déterminer la part de l'émission à l'échappement et celle de l'évaporation, on utilise le logiciel COPERT III** (version 2.3). On construit alors un scénario d'émission correspondant au cas d'un parking « standard », sachant, pour rappel, que les valeurs d'émission obtenues ne sont pas exploitées, mais que ce sont les données relatives qui sont collectées ($\%_{évaporation}$, $\%_{échappement}$ et $\%_{chaque\ COV}$ dans les mélanges de COV émis par évaporation et à l'échappement).

A l'issue de cette modélisation réalisée via l'outil COPERT III, on se trouve dans l'un des trois cas suivants :

Cas n°1 : l'exercice montre que l'acroléine et le 1,3-butadiène sont quasiment exclusivement émis au niveau de l'échappement ; dans ce cas, on exploite les données de base COPERT, soit les proportions à l'émission pour évaluer des concentrations ;

Cas n°2 : l'exercice montre que l'acroléine et le 1,3-butadiène sont quasiment exclusivement émis par évaporation ; dans ce cas, on exploite les données de base COPERT, soit les proportions à l'évaporation pour évaluer des concentrations ;

Cas n°3 : l'exercice montre que les deux substances sont à la fois émises à l'échappement et par évaporation ; dans ce cas, on a recours aux résultats de la modélisation menée à l'aide de l'outil COPERT pour évaluer des concentrations.

La présentation de l'outil COPERT III, des hypothèses retenues et des incertitudes associées est jointe en Annexe COPERT-A.

1a - Résultats des concentrations modélisées à partir des mesures dans le Parc 2 (référence)

[2] UNECE : *United Nations Economic Commitee for Europe*

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Il ressort de la modélisation avec COPERT que **la contribution des émissions par évaporation est négligeable**[3]. En conséquence, on se trouve dans une configuration de type *Cas n°1* tel que cité précédemment et l'on se base donc, pour l'évaluation des concentrations dans l'air ambiant d'un parking, sur les proportions à l'émission fournies par COPERT. Ces proportions dépendent du type de véhicule et sont ainsi proposées :

- pour les véhicules essence avant EURO I et après EURO I. D'après le parc roulant, les véhicules pré-EURO I sont désormais en quantité pouvant être considérée négligeable dans le contexte de nos travaux (cf. Annexe COPERT-B). Seuls les facteurs d'émission après EURO I sont retenus. En 2006, les véhicules essence représentent 51 % du parc automobile français ;
- pour les véhicules diesel[4]. En 2006, ces véhicules représentent 49 % du parc automobile français.

Les pourcentages moyens à l'émission sont calculés par pondération selon le pourcentage de chaque type de véhicule, essence ou diesel.

Les concentrations mesurées utilisées correspondent aux valeurs maximales (pour les substances présentant des risques aigus) et moyennes (pour les espèces présentant des risques chroniques) mesurées par le LCPP dans le Parc 2 en février 2006.

Les concentrations déduites à partir des mesures sont rapportées dans le Tableau A. On fait le choix de ne pas retenir un unique composé « de référence » (dénommé composé A précédemment), mais d'en retenir plusieurs, de famille chimique variée, dont les concentrations mesurées dans le Parc 2 sont relativement élevées. Benzène, toluène, hexane et formaldéhyde sont retenus. **L'acroléine étant un aldéhyde, on retient plutôt la concentration estimée sur la base des données relatives au formaldéhyde, tandis que pour le 1,3-butadiène, en l'absence de composé de référence de la même famille (les alcènes), on retient la concentration moyenne des concentrations estimées** (à partir du benzène, du toluène, de l'hexane et du formaldéhyde).

Tableau A : Estimation des concentrations en 1,3-butadiène et acroléine (à partir des concentrations mesurées dans le Parc 2)

	% dans le mélange à l'échappement des véhicules essence	% dans le mélange à l'échappement des véhicules diesel	% moyen dans le mélange à l'échappement	C mesurée « aiguë » (1) Parc 2	C mesurée « moyenne » (2) Parc 2	C estimée « aiguë »	C estimée « chronique »
				en µg/m³			
Benzène	5,61	1,98	3,8	*non utilisée*	26	*s.o.*	
Toluène	10,98	0,69	5,9	*non utilisée*	127	*s.o.*	
Hexane	1,61	0	0,8	*non utilisée*	20	*s.o.*	
Formaldéhyde	1,70	12	6,7	42	14	*s.o.*	
1,3-Butadiène	0,91	0,97	0,9	*Non mesuré*		*s.o*	**12** (moyenne) [2 – 22] (4)
Acroléine	0,19	3,58	1,9	*Non mesuré*		**12** (3) (formaldéhyde)	**4** (formaldéhyde)

Légende : s.o. = sans objet

Notes : (1) Mesure maximale relevée sur la durée d'intérêt (1 heure ici pour le formaldéhyde)

(2) Moyenne des mesures passives hebdomadaires (COV) ou 4 jours (formaldéhyde)

(3) Cette concentration estimée en acroléine correspond à une valeur maximale sur 1 heure

[3] Les résultats d'émissions journalières sont également fournis pour 2016 dans la mesure où le profil de parc français à cette échéance a été caractérisé par l'INRETS (cf. Annexe COPERT-C). Les conclusions relatives aux parts attribuables à l'échappement et aux évaporations sont identiques.

[4] Pas de différenciation selon le type d'injection (directe ou indirecte).

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

(4) Intervalle correspondant à la valeur estimée la plus faible (à partir de la mesure de benzène) et à la valeur estimée la plus forte (à partir de la mesure de l'hexane)

Comparaison avec des concentrations mesurées extraites de la littérature

A titre indicatif, on rappelle ci-dessous les concentrations mesurées en acroléine et 1,3-butadiène dans d'autres parkings couverts. Elles sont cohérentes avec celles modélisées.

Tableau B : Concentrations en 1,3-butadiène et acroléine rapportées dans la littérature

	Min	Moy	Max	Prélèvement	Taille Parking	Pays	Date
acroléine	?	?	58	Non renseigné	2 parkings (240 et 310 pl.)	Allemagne	1999
	0,59	1,4	4,4	Mesures sur 2 heures	1655 pl. sur 3 niveaux	Canada	94-95
1,3-butadiène	0,38	1,70	10,1	Mesures sur 2 heures	2 niveaux de 26 pl.	Hong-Kong	2002
	4	9	24	Mesures sur 2 heures	1655 pl. sur 3 niveaux	Canada	94-95

Note : Les concentrations indiquées dans le tableau sont exprimées en µg/m^3

1b - Concentrations modélisées avec les concentrations mesurées (campagnes 2006) dans les autres parkings

Les calculs ont été conduits à partir des concentrations mesurées dans le Parc 2. Il convient de discuter de l'impact de cette hypothèse. Les concentrations des polluants « de référence » sont fournies dans le Tableau.

Tableau C : Concentrations mesurées dans les autres parcs de stationnement pour les polluants utilisés en référence de la modélisation

	Parc 1		Parc 3		Parc 4		Moyenne	
	$C_{mesurée}$ « aiguë »	$C_{mesurée}$ « moyenne »	$C_{mesurée}$ « aiguë »	$C_{mesurée}$ « moyenne »	$C_{mesurée}$ « aiguë »	$C_{mesurée}$ « moyenne »	$C_{mesurée}$ « aiguë »	$C_{mesurée}$ « moyenne »
	en µg/m^3							
Benzène	-	4,2	-	53	-	19	-	25,4
Toluène	-	16	-	365	-	160	-	180
Hexane	-		-		-		-	
Formaldéhyde	9,7	6,8	31	18,3	19	17	20	14

Légende : « - » donnée non utilisée donc non rapportée

Les concentrations sont globalement du même ordre de grandeur que celles du Parc 2 utilisées pour les calculs, sauf dans le cas du Parc 1 qui correspond à une fréquentation de bus diesel, et pour le toluène dans le cas du parc 3 (présence d'une station service potentiellement influente). Le choix du parking n'a donc pas d'influence sur les conclusions.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

1c - Calcul des scores pour la hiérarchisation

Les scores calculés pour l'acroléine et le 1,3-butadiène sont dans tous les cas (aigu ou chronique) supérieurs aux scores les plus élevés calculés pour les autres substances. A titre d'illustration, dans le Tableau D, sont rapportés les scores pour ces deux composés comparés aux scores calculés sur la base des mesures. Parmi ces derniers, seuls les scores permettant de positionner ceux de l'acroléine et du 1,3-butadiène sont notés.

Tableau D : Calcul des scores pour le 1,3-butadiène et l'acroléine

Exposition aiguë		Exposition chronique, effets à seuil		Exposition chronique, effets sans seuil	
Acroléine	**6,32E+01**	**Acroléine**	**2,00E+02**	**1,3-butadiène**	**2,04E-03**
CO	2,50E+00	**1,3-butadiène**	**6,00E+00**	Benzène	7,54E-04
1,3-butadiène	*Sans objet, pas de VTR*	Formaldéhyde	4,67E+00	Acroléine	*Sans objet, pas de VTR*

2 - Cas des HAP

2a - Résultats des concentrations modélisées à partir des mesures dans le Parc 2 (référence)

Les HAP, imbrûlés de combustion, ne sont émis que par le pot d'échappement. Sous l'hypothèse que le profil des HAP dans les gaz d'échappement est identique à ce même profil dans l'air intérieur du parking, et connaissant les facteurs d'émission unitaires en sortie de pot, on peut estimer les concentrations dans l'air des HAP non mesurés à partir des concentrations mesurées par le LCPP. **Les HAP non mesurés, concernés par cette évaluation, sont l'acénaphtène, l'acénaphtylène et le fluorène**.

Les facteurs unitaires sont fournis par la méthode COPERT. Ils dépendent du type de véhicule et sont ainsi proposés :

- pour les véhicules essence avant EURO I et après EURO I. D'après le parc roulant, les véhicules pré-EURO I sont désormais en quantité pouvant être considérée négligeable dans le contexte de nos travaux (cf. Annexe COPERT-B). Seuls les facteurs d'émission **après EURO I** sont retenus. Enfin, en 2006, les véhicules essence représentent **51 % du parc automobile français** ;
- pour les véhicules diesel selon qu'ils sont à injection directe (DI) ou non (IDI). Le logiciel COPERT utilise en fait la moyenne des facteurs d'émission de ces 2 types de véhicules, en l'absence de données précises sur la répartition des types d'injection dans le parc automobile diesel. On retient la même hypothèse. On obtient ainsi un unique jeu de facteurs d'émission pour les automobiles diesel. En 2006, ces dernières représentent **49 % du parc automobile français**.

Les facteurs unitaires moyens sont calculés par pondération selon le pourcentage de chaque type de véhicule, essence ou diesel. Les pourcentages de chaque HAP (16 HAP de l'US-EPA) dans le mélange émis au pot sont calculés à partir de ces facteurs d'émission unitaires moyens.

Les concentrations mesurées utilisées correspondent aux valeurs moyennes mesurées par le LCPP dans le parc n°2 en février 2006.

Les concentrations déduites à partir des mesures sont rapportées dans le Tableau E. Elles peuvent être estimées à partir de différents HAP de référence (pour établir la proportion). Néanmoins, dans la mesure où l'acénapthène et l'acénaphtylène sont majoritairement émis sous forme gazeuse tout comme le naphtalène (CONCAWE, 2005)[5], on préfère retenir uniquement ce dernier pour la modélisation des concentrations et ne pas exploiter les concentrations des autres HAP ayant des propriétés physico-chimiques différentes, donc un comportement dans l'air également différent.

[5] Ce n'est pas le cas du fluorène, mais son cas n'est pas discuté puisque, le facteur d'émission unitaire fourni par COPERT étant nul, on ne peut estimer la concentration attendue dans le parking.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau E : Estimation des concentrations en HAP non mesurés

Congénère	Facteurs d'émission unitaires			% chaque HAP	C mesurée Parc 2	C estimée à partir de la concentration en naphtalène
	FE essence	FE diesel moyen	FE pondéré			
	µg/km				en ng/m^3	
Napthalène	610,19	1375,25	985,0694	90,7	2 500	*s.o.*
Acénaphtylène	0	25,92	12,7008	1,2	Non mesuré	**32**
Acénaphtène	0	34,65	16,9785	1,6	Non mesuré	**43**
Phénantrène	4,68	56,565	30,10365	2,8	33	*s.o.*
Anthracène	0,8	2,385	1,57665	0,15	1,8	*s.o.*
Fluoranthène	2,8	28,16	15,2264	1,4	12	*s.o.*
Pyrène	1,8	25,63	13,4767	1,2	14	*s.o.*
Benzo(a)anthracène	0,43	3,005	1,69175	0,16	< LD	*s.o.*
Chrysène	0,53	4,965	2,70315	0,25	3,2	*s.o.*
Benzo(b)fluoranthène	0,36	1,95	1,1391	0,10	2	*s.o.*
Benzo(k)fluoranthène	0,26	1,53	0,8823	0,08	0,86	*s.o.*
Benzo(a)pyrène	0,32	1,74	1,0158	0,09	2,4	*s.o.*
Dibenzo(a,h)antracène	0,05	0,115	0,08185	0,01	0,2	*s.o.*
Benzo(g,h,i)pérylène	0,56	3,475	1,98835	0,18	4,5	*s.o.*
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,39	1,62	0,9927	0,09	1,9	*s.o.*
Fluorène	0	0	0	0	Non mesuré	**0**

Légende : LD = limite de détection ; s.o. = sans objet

2b - Concentrations modélisées avec la concentration en naphtalène mesurée dans les autres parkings (campagnes 2006)

Les calculs ont été conduits exclusivement à partir de la concentration de naphtalène mesurée dans le Parc 2. Il convient de discuter de l'impact de cette hypothèse. Les concentrations en naphtalène mesurées dans les autres parcs de stationnement sont fournies dans le Tableau F.

Tableau F : Concentrations en naphtalène mesurées dans les autres parcs de stationnement

	Parc 1	Parc 3	Parc 4	Moyenne
	en µg/m^3			
Naphtalène	0,87	7,2	2,4	3,5

Les concentrations en naphtalène sont globalement du même ordre de grandeur que celle du Parc 2 utilisée pour les calculs, sauf dans le cas du parking du Carrousel qui correspond à une fréquentation de bus diesel. Le choix du parking n'a donc pas d'influence sur les conclusions.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

2c - Calcul des scores pour la hiérarchisation

Les scores calculés pour les HAP non mesurés sont inférieurs aux scores les plus élevés calculés pour les autres substances (seuls les effets cancérogènes sont concernés ; cf.Tableau G).

Tableau G : Calcul des scores pour l'acénaphtène et l'acénaphtylène

Exposition chronique, effets sans seuil	
Benzo(g,h,i)pérylène	4,95E-08
Acénaphtène	**4,74E-08**
Phénanthrène	3,63E-08
Acénaphtylène	**3,52E-08**
Chrysène	3,52E-08

En l'état actuel des connaissances, il apparaît ainsi peu problématique dans une perspective de santé publique, de ne pas avoir mesuré l'acénaphtène et l'acénaphtylène, et de les avoir, de fait, exclus de la liste des polluants ayant fait l'objet de l'élaboration de valeurs cibles.

3 - Cas des métaux

3a - Résultats des concentrations modélisées à partir des mesures dans le Parc 2

Les concentrations en chrome, cobalt, cuivre et baryum n'ont pas été mesurées. On se base sur les teneurs en métaux (en mg/kg) dans les carburants, fournies par la méthode COPERT. Celles-ci sont identiques pour tous les carburants des voitures particulières. Seules les teneurs en cadmium, cuivre, chrome et nickel sont données. Il est ainsi possible d'estimer les concentrations en chrome et cuivre, à partir de celles mesurées en cadmium d'une part et en nickel d'autre part. Les concentrations calculées sont rapportées dans le Tableau H.

Tableau H : Estimation des concentrations en métaux lourds non mesurés à partir des données COPERT

	$C_{carburant}$ (mg/kg)	$C_{mesurée}$ (ng/m^3) Parc 2	$C_{estimée}$ (ng/m^3) – COPERT		
			à partir de la concentration en cadmium	à partir de la concentration en nickel	Concentration moyenne
Baryum	ND	Non mesuré	/	/	/
Cadmium	0,01	0,5	*s.o.*	*s.o.*	*s.o.*
Cuivre	1,7	Non mesuré	85	151	**118**
Chrome	0,05	Non mesuré	2,5	4,4	**3,5**
Cobalt	ND	Non mesuré	/	/	/
Manganèse	ND	Non mesuré	/	/	/
Nickel	0,07	6,2	*s.o.*	*s.o.*	*s.o.*

Légende : ND : non documenté ; s.o. = sans objet

Ce calcul, qui ne tient compte que des émissions à l'échappement, est basé sur l'hypothèse que, **pour les polluants métalliques émis à la fois à l'échappement et par les équipements automobiles, la contribution de la dégradation de ces équipements est négligeable dans le contexte des parkings souterrains**. Il apparaît en effet légitime compte tenu de la courte distance parcourue à faible vitesse (les vibrations du véhicule déclenchant l'usure du véhicule sont ainsi de faible ampleur) de considérer négligeable cette source d'émissions de métaux.

Le CITEPA fournit des facteurs d'émission des métaux pour les sources hors échappement. Si ceux-ci ne peuvent être directement utilisés dans le présent contexte (car obtenus en situation de roulage normal des voitures), les proportions

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

en métaux émis restent valables *a priori*. Or, la proportion cadmium/nickel n'est pas égale à la proportion des concentrations mesurées dans le parc n°2 entre ces 2 polluants (ratio = 0,08 vs. 0,15). Si la contribution des équipements s'avérait majoritaire, une proportion identique aurait été calculée. Cette démonstration reste fragile dans la mesure où l'on dispose d'un petit jeu de données pour vraiment consolider les calculs et les conclusions qui en découlent.

Une recherche bibliographique est menée pour fournir des éléments complémentaires sur les métaux émis, afin 1) de les confronter avec les résultats de la démarche retenue et 2) d'obtenir des informations pour les métaux dont les concentrations n'ont pu être estimées (baryum, cobalt et manganèse). Trois publications sont retenues.

Tout d'abord, les travaux récents de l'*Health Effects Institute* ont été analysés (HEI, 2006). Des facteurs d'émission totaux (toute contribution confondue), puis à l'échappement et par les équipements automobiles ont été déterminés, notamment à partir de concentrations ambiantes dans différents tunnels[6].

Tableau I : Estimation des concentrations en métaux lourds non mesurés à partir des données HEI, 2006

	Facteur d'émission, fraction PM_{10} moyenne annuelle (mg/km)	$C_{mesurée}$ (ng/m^3) Parc 2	$C_{estimée}$ (ng/m^3) – HEI, 2006		
			à partir de la concentration en cadmium	à partir de la concentration en nickel	Concentration moyenne (1)
Baryum	0,22	Non mesuré	170	22	**96**
Cadmium	0,00064	0,5	*s.o.*	*s.o.*	*s.o.*
Cuivre	0,086	Non mesuré	68	8,8	**38**
Chrome	0,042	Non mesuré	32	4,2	**18**
Cobalt	0,0048	Non mesuré	3,8	0,5	**2**
Manganèse	0,057	Non mesuré	45	5,8	**25**
Nickel	0,061	6,2	*s.o.*	*s.o.*	*s.o.*

Légende : s.o. = sans objet

Note : (1) On retient la valeur moyenne en l'absence d'argument permettant de choisir un composé de référence préférentiellement.

Ensuite, les travaux de (Laschober, 2004) permettent d'estimer la concentration en cuivre à partir de celle mesurée par le LCPP en nickel, puisque la publication nous fournit le ratio cuivre/nickel (toutes émissions confondues). Ce ratio moyen des facteurs d'émission est égal à 17, soit une **concentration ambiante en cuivre estimée à 106 ng/m^3**.

Enfin, les travaux de (Sternbeck, 2001) sont également exploités[7].

[6] La typologie des tunnels est certes différente, mais on considère que les mesures réalisées dans ce contexte sont un bon indicateur de milieux « confinés ». A noter que les mesures intègrent la contribution des poids lourds (PL) circulant sur les voies et non pas uniquement celle des voitures particulièrement, seules en revanche à fréquenter les parkings souterrains. La contribution des PL influence moins les proportions entre métaux (ce qui nous intéresse dans le présent contexte) que les facteurs d'émission (non utilisés en valeurs absolues). Ceci reste dont acceptable en l'état actuel des données disponibles.

[7] Ces travaux sont également basés sur des études dans des tunnels.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau J : Estimation des concentrations en métaux lourds non mesurés à partir des données de Sternbeck et al.

	Concentration moyenne (ng/m^3) (1)	$C_{mesurée}$ (ng/m^3) Parc 2	$C_{estimée}$ (ng/m^3) – Sternbeck, 2001 à partir de la concentration en cadmium
Baryum	441	Non mesuré	**242**
Cadmium	0,91	0,5	*s.o.*
Cuivre	411	Non mesuré	**226**
Chrome	55	Non mesuré	**30**
Cobalt	Non étudié	Non mesuré	/
Manganèse	216	Non mesuré	**119**
Nickel	Non étudié	6,2	/

Légende : s.o. = sans objet

Note : (1) Il n'est pas précisé si cette concentration est mesurée sur les PM_{10} ou les poussières totales.

L'ensemble des concentrations estimées est rapporté dans le Tableau K. **On propose de retenir la moyenne des valeurs estimées pour la concentration à retenir en vue de la hiérarchisation.** Les concentrations modélisées et retenues sont en accord avec la littérature scientifique relative à la prépondérance des métaux émis par le trafic automobile.

Tableau K : Estimation finale des concentrations en métaux lourds non mesurés

	$C_{estimée}$ (ng/m^3) – COPERT	$C_{estimée}$ (ng/m^3) – HEI, 2006	$C_{estimée}$ (ng/m^3) – Laschober, 2004	$C_{estimée}$ (ng/m^3) – Sternbeck, 2001	$C_{estimée}$ (ng/m^3) – MOYENNE RETENUE POUR LA HIERARCHISATION
Baryum	/	96	/	242	**169**
Cadmium	*s.o.*	*s.o.*	*s.o.*	s.o.	s.o.
Cuivre	118	38	106	226	**122**
Chrome	3,5	18	/	30	**17**
Cobalt	/	2	/	/	**2**
Manganèse	/	25	/	119	**72**
Nickel	*s.o.*	*s.o.*	*s.o.*	*s.o.*	s.o.

Légende : s.o. = sans objet

3b - Concentrations modélisées avec les concentrations mesurées par le LCPP dans les autres parkings

Les calculs ont été conduits à partir des concentrations en métaux mesurées dans le Parc 2. Il convient de discuter de l'impact de cette hypothèse. Les concentrations des métaux « de référence », à savoir le cadmium et le nickel, sont fournies dans le Tableau L.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Tableau L : Concentrations mesurées dans les autres parcs de stationnement pour les métaux utilisés en référence de la modélisation

	Parc 1	Parc 3	Parc 4	Moyenne
	en ng/m^3			
Cadmium	0,6	0,1	0,3	0,3
Nickel	1,2	4,8	5,6	3,9

Les concentrations sont globalement du même ordre de grandeur que celles du Parc 2 utilisées pour les calculs, sauf dans le cas du Parc 1 qui correspond à une fréquentation de bus diesel. Le choix du parking n'a donc pas d'influence sur les conclusions.

3c - Calcul des scores pour la hiérarchisation

Les scores calculés pour les métaux non mesurés ne sont pas systématiquement inférieurs aux scores les plus élevés calculés pour les autres substances (cf. Tableau M).

Tableau M : Calcul des scores pour le chrome, le manganèse, le baryum, le cuivre et le cobalt

Exposition chronique, effets à seuil		Exposition chronique, effets sans seuil	
Benzène	2,47E+00	PM10	8,55E-02
Manganèse	**1,80E+00**	**Chrome VI**	**2,55E-03**
Nickel	3,44E-01	Manganèse Baryum Cuivre Cobalt	*Sans objet, pas de VTR*
Chrome VI particulaire	**1,70E-01**		
Baryum	**1,69E-01**		
Cuivre	**1,22E-01**		
Cadmium	1,00E-01		
Cobalt	**2,00E-02**		

Le manganèse et le chrome VI particulaire apparaissent potentiellement d'intérêt au regard des scores calculés. Dans la mesure où en l'absence de données relatives à la valence du chrome, on a considéré qu'il s'agissait de chrome VI, le plus toxique pour la santé humaine, on peut écarter la problématique du chrome sachant qu'une faible proportion est sous forme hexavalente.

4 - Conclusion générale

Au vu des hiérarchisations conduites ici, il apparaît que l'acroléine et le 1,3-butadiène qui sont classées parmi les premières substances dans les hiérarchisations obtenues ainsi que le manganèse, qui ne sont pas mesurées, doivent faire l'objet de recommandations, qui seront à définir par le GT.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Références bibliographiques relatives à l'annexe 14 :

CONCAWE (2005) Evaluation of automotive polycyclic hydrocarbons emissions, Report No 4/05, Conservation of Clean Air and Water in Europe

COPERT III (2000) Computer programme to calculate emissions from road transport – Methodology and emission factors

Duboudin C., Crozat C. et Fauret T. (2002) Analyse de la méthodologie COPERT III – Analyse d'incertitude et de sensibilité. SCM SA. Septembre. Version 3.

HEI (2006) Schauer J.J, Lough G.C., Shafer M.M *et al.* Characterisation of metals emitted from motor vehicles, Research Report 133. http://www.healtheffects.org/

Laschober C., Limbeck A., Rendl J., Puxbaum H. (2004) Particulate emissions from on-road vehicles in the Kaisermühlen-tunnel, Vienna, Austria, Atmospheric Environment, 38: 2187-2195

Ntziachristos L. and Samaras Z. (2000) COPERT III, Computer programme to caluclate emissions from road transport. Methodology and emission factors (verison 2.1). European Environment Agency. November. Technical report N°49.

Sternbeck J., Sjödin A.A. and Andréasson K. (2002) Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension—results from two tunnel studies, Atmospheric Environment, 36(30): 4735-44

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

ANNEXE COPERT-A : Modélisation COPERT pour déterminer les contributions par émission et par évaporation de l'acroléine et du 1,3-butadiène dans une situation de type « Parcs de stationnement couverts »

A - Présentation du logiciel utilisé

Le logiciel COPERT III est un logiciel permettant d'estimer les émissions et la consommation énergétique d'un trafic routier donné. Il met en œuvre la méthodologie européenne du même nom, soutenue et financée par l'Agence européenne de l'Environnement et utilisée dans tous les logiciels européens de modélisation des émissions du trafic routier et de la consommation énergétique. Cette méthodologie, initialement élaborée pour aider les experts à estimer les émissions du trafic routier dans les inventaires d'émissions nationaux est également utilisée pour déterminer les émissions à l'échelle d'un tronçon routier.

Cette méthode peut être utilisée pour connaître les émissions des polluants réglementés (CO, COV, NO_x et PM) et non réglementés (COVNM spécifiés, métaux, NH_3, N_2O) ; dans la présente étude, elle a été ici utilisée pour estimer les émissions de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM).

Au total, 113 catégories de véhicules sont spécifiées. Pour chaque polluant et chaque type de véhicule, des fonctions d'**émissions unitaires à chaud**[8] ont été élaborées. Afin d'estimer les émissions à chaud, ces dernières sont ensuite multipliées par le nombre de véhicules et le nombre de kilomètres parcourus par chacun selon l'équation :

$$\mathbf{E_i = \Sigma\ activité \times émissions = Véh \times Distance \times e_i}$$

Où : E_i = somme des émissions du polluant i (g)
Activité = nombre de véhicules × distance parcourue par chaque véhicule sur la période de temps de l'étude = circulation en véh × km
Véh = nombre de véhicules (véh)
Distance = nombre de km réalisés par chaque véhicule (km)
Emissions = e_i = facteur d'émission unitaire du polluant i (g/km)

La méthode COPERT distingue par ailleurs :

- les **surémissions à froid**, émissions se produisant lors du démarrage des véhicules ;
- les **évaporations** de composés organiques volatils qui sont de trois types :
  - les évaporations journalières, en g/jour incluant les évaporations des véhicules à l'arrêt ;
  - les évaporations survenant lors de l'arrêt du véhicule (refroidissement d'un véhicule chaud) ;
  - les pertes par évaporation en roulant (évaporations dans le réservoir).

Les émissions totales correspondent à la somme de ces trois types d'émissions :

$$E_{totales} = E_{chaud} + E_{froid} + E_{évaporation}$$

B - Présentation des facteurs d'émissions unitaires

Émissions à chaud

Les facteurs d'émissions unitaires COPERT sont principalement fondés sur des mesures d'émissions de quelques véhicules, réalisées en laboratoire sur bancs à rouleaux (ou bancs-moteurs pour les poids lourds) selon différents cycles de conduite. Il s'agit de cycles dit « réels » qui sont considérés comme représentant correctement le comportement des véhicules sur la route pour un parcours de 10 à 20 minutes. Les facteurs résultant sont des fonctions qui estiment la masse de polluant émise par kilomètre parcouru selon le type de véhicule, le type de parcours et la vitesse moyenne.

[8] Émissions à chaud : émissions se produisant lorsque la température du moteur est stabilisée. Elles sont calculées par COPERT pour tous les types de véhicules.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Surémissions à froid et évaporations

Les surémissions à froid sont calculées à partir des émissions à chaud en appliquant un coefficient de surémission variable en fonction du type de véhicule. La fonction d'émission unitaire à chaud est également multipliée par la fraction de trajet à froid dépendant de la température ambiante et de la longueur du trajet moyen (Ltrip)[9].

Les évaporations (journalières, lors de l'arrêt du véhicule et en roulant) ne concernent que les COV. Elles dépendent de la volatilité du carburant, de la température absolue, des changements de température et des caractéristiques des véhicules. Deux approches de calcul sont possibles dans COPERT : la méthode Corinair standard et une méthode alternative.

La méthode alternative a été mise en place pour combler l'insuffisante de la méthode Corinair dans le calcul des évaporations des véhicules EURO 3 et EURO 4. Pour un parc roulant contenant des véhicules aux évaporations contrôlées (véhicules récents aux évaporations considérées comme nulles), la différence entre les deux méthodes est marginale. La méthode Corinair était conseillée en 2000 dans le cadre d'inventaires d'émission et la méthode alternative était alors conseillée pour les prédictions futures, elle fournit des résultats plus élevés que la méthode alternative.

Dans cette étude, **la méthode alternative a été choisie**, elle est plus adaptée que la méthode Corinair car les véhicules dans les parkings sont principalement des véhicules EURO 3 en 2006 et des véhicules EURO 4 et EURO 5 en 2016 (cf. Annexe COPERT-B).

C - Les données d'entrée

Le parc

La modélisation des émissions automobiles dans les parkings nécessite la connaissance du nombre et du type de véhicules fréquentant ces parkings.

Les émissions ont été estimées pour un parc automobile de 2006 et un parc automobile de 2016. **Dans le cas d'un parking souterrain, seuls les véhicules particuliers et les véhicules utilitaires légers ont été considérés**. L'affluence des deux-roues dans les parkings souterrains a été supposée négligeable. Cette hypothèse permettait notamment de limiter les incertitudes liées à la modélisation des émissions des deux-roues, importantes dans la méthodologie COPERT III en raison du manque de connaissances des émissions de ces véhicules.

Le trafic dans un parking a été estimé en couplant les données de parc fournies par l'INRETS (C. Hugrel) pour 2006 et 2016 et le nombre de places de stationnement dans un parking. La répartition par classes de véhicules du parc (INRETS) a été appliquée au nombre de véhicules du parking. Autrement dit, **on fait l'hypothèse que le parc de véhicules du parking étudié est à l'image du parc français**.

Deux types de parcs automobiles ont été fournis par l'INRETS :

- le parc statique qui correspond au nombre de véhicules en état de rouler ;
- le parc roulant qui inclut en plus de l'état de rouler, le taux de présence sur la voirie.

Nous avons considéré que la répartition des classes de véhicules dans les parkings était la même que celle du parc roulant.

Un **parking de 250 places** a été considéré (en cohérence avec le parc n°2 qui compte 260 places par niveau) et on a fait l'hypothèse que chaque place du parking était occupée une fois par jour, autrement dit 250 véhicules rentrent et sortent[10]. On comptabilise 250 entrées et 250 sorties, soit **500 mouvements quotidiens** et la moitié générant des sur-émissions à froid.

La répartition des véhicules particuliers et utilitaires légers dans le parking pour 2006 et 2016 est présentée respectivement en Annexe COPERT-B et en Annexe COPERT-C.

[9] Ltrip : Distance moyenne parcourue entre le démarrage et l'arrêt du véhicule

[10] Cela pourrait finalement être beaucoup plus dans le cas d'un parking très fréquenté comme celui d'une gare où d'un aéroport où les véhicules ne se stationnent que brièvement. La situation proposée apparaît plus « classique » que celles de telles infrastructures, tout en étant raisonnablement majorante. C'est la raison pour laquelle elle a été retenue.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Les caractéristiques des carburants

La spécification des carburants a un impact notable sur les émissions de l'ensemble des véhicules. La réglementation européenne concerne notamment la teneur en plomb, en soufre et en benzène. Elle fixe également la volatilité des carburants (définie par leur pression de vapeur[11]), les taux d'aromatiques et d'oléfines ainsi que le taux d'oxygène. L'avantage de l'introduction d'un nouveau carburant (diesel ou essence nouvelle composition) est que son impact concerne, en même temps, la totalité de la flotte de véhicules toutes générations confondues. Le carburant EURO 2005, introduit à partir de l'année 2005 a été utilisé pour la modélisation. Sa composition figure dans le Tableau N.

Tableau N : Composition des carburants conventionnels à la norme Euro 2005

Composants	Gazole Euro 2005	Essence Euro 2005
E100 teneur volumique (%)	-	52
E150 teneur volumique (%)	-	86
Aromatiques teneur volumique (%)	24	33
Oxygène (% O_2)	-	1,5
Oléfines teneur volumique (%)	-	10
Benzène teneur volumique (%)	-	0,8
Plomb (g /l)	-	0,003
Soufre (ppm)	40	40
Densité (kg/m^3)	835	-
HAP teneur volumique (%)	5	-
CN	53	-
T95 (°C)	320	-
RVP		60 (été) / 70 (hiver)

Source : COPERT

Les températures

Les températures ambiantes ont un impact sur les évaporations et les surémissions à froid. Dans un parking, les températures sont plus élevées qu'à l'extérieur en hiver et moins élevées en été.

Les températures mesurées dans un parking par le LCPP en janvier 2005 et mai 2005, ainsi que celles mesurées dans le parking Carrousel en janvier 2006, sont utilisées.

On observe qu'entre janvier et mai 2005, les températures varient peu dans le parking. En janvier, la moyenne journalière minimum est égale à 16,1°C et la moyenne journalière maximum est de 18,8°C. En mai, les minimum et maximum sont respectivement égaux à 16,7°C et 20,5°C.

Pendant les deux mêmes mois, la température minimale extérieure était de 4°C et la température maximale de 8°C pour janvier et respectivement de 11°C et 20°C en mai.

On fait donc l'hypothèse que **les variations saisonnières n'ont pas beaucoup d'impact sur la température dans un parking souterrain**. Les températures utilisées sont de 16°C pour le minium et 19°C pour le maximum pour les mois d'octobre à mars et de 17°C pour le minimum et 21°C pour le maximum entre avril et septembre (cf. Tableau O).

Des mesures de février 2006 dans le parking souterrain n°2 présentant des températures comprises entre 15,7°C (minimum des moyennes journalières) et 18,9°C confirment ces hypothèses.

Tableau O : Températures dans le parking utilisées pour la modélisation

	Températures mensuelles minimum (°C)	Températures mensuelles maximum (°C)
Octobre - Mars	16	19
Avril - Septembre	17	21

[11] RVP : Reid Vapor Pressure

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

La longueur moyenne d'un trajet (Ltrip)

La variable « Ltrip » est utilisée pour calculer les surémissions à froid et les évaporations lors de l'arrêt du véhicule. C'est la longueur moyenne d'un trajet (en km) entre le démarrage du véhicule et son arrêt complet. Nous avons considéré une distance moyenne de 125 m entre l'entrée du parking et la place sur laquelle le véhicule s'immobilisera (longueur d'un étage dans le parc n°2 à Paris). En considérant, chaque jour, un parcours égal à 3 fois la longueur du parking (125 m × 3) pour chercher une place à l'arrivée, puis un parcours égal à la longueur du parking pour le retour vers la sortie du parking (longueur du parking égale à 125 m), **la variable « Ltrip » est prise égale à 500 m**, avec un arrêt quand le véhicule se gare et un démarrage quand il repart.

Le type de voirie et la vitesse moyenne

Trois types de voirie avec des conditions de circulation différentes sont proposés dans la méthode COPERT : urbain, route, autoroute. Les déplacements dans les parkings correspondent à une voirie 100 % urbaine.

Une **vitesse moyenne de 12 km/h** a été attribuée aux véhicules circulant dans le parking. Cette vitesse est supérieure à la vitesse minimale de validité des facteurs d'émission COPERT pour les véhicules particuliers et les véhicules utilitaires légers (10 km/h).

D - Résultats et discussion

Les résultats partiels des émissions journalières (à chaud, à froid, et évaporations) en 2006 figurent dans le Tableau P. Les résultats pour l'ensemble des COVNM sont en Annexe COPERT-D.

Tableau P: Résultats de l'exercice via COPERT III

	Résultats COPERT				$C_{mesurée\ LCPP}$ (µg/m³) Parc 2 (1)	$C_{attribuable\ échappement}$ (µg/m³) calculée	$C_{attribuable\ évaporation}$ (µg/m³) calculée
	Émissions à l'échappement (g/j)	% échappement	Évaporations (g/j)	% évap			
Benzène	1,618	99,9	1,67E-03	0,1	26	26	0
Toluène	2,662	99,9	1,67E-03	0,1	127	126,9	0,1
Hexane	0,319	92,7	2,51E-02	7,3	20	18,5	1,5
Formaldéhyde	2,11	100,0	0	0,0	14	14	0
1,3-Butadiène	0,385	100,0	0,00	0,0	*Sans objet, non mesuré*		
Acroléine	0,546	100,0	0,00	0,0	*Sans objet, non mesuré*		

Note : (1) Moyenne des mesures passives hebdomadaires (COV) ou 4 jours (formaldéhyde)

En conclusion, il ressort de la modélisation avec COPERT que la contribution des émissions par évaporation est négligeable[12].

[12] Les résultats d'émissions journalières sont également fournis pour 2016 dans la mesure où le profil de parc français à cette échéance a été caractérisé par l'INRETS (cf. *Annexe COPERT-C* ci après). Les conclusions relatives aux parts attribuables à l'échappement et aux évaporations sont identiques.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

E - Incertitudes liées à la démarche

Incertitudes liées la méthode COPERT de façon générale

Une analyse de sensibilité et d'incertitude liée à la méthode COPERT a été réalisée par la société SCM (Duboudin, 2002). Cette étude indique par exemple que les incertitudes sur les émissions unitaires à chaud sont comprises entre 20 % et 400 % selon la classe de véhicules particuliers ou de véhicules utilitaires légers. Les incertitudes sur les surémissions à froid sont globalement supérieures aux incertitudes sur les émissions à chaud. Les incertitudes sur les évaporations n'ont pas été traitées par cette étude. L'outil COPERT, comme tout modèle, est entaché d'une certaine incertitude. Néanmoins, en l'état actuel des connaissances, il reste l'outil de référence. Les résultats du programme ARTEMIS (modèle ARTEMIS) qui vise à approfondir et améliorer COPERT est attendu dans le courant de 2006. Compte tenu des délais fixés pour la réponse à la saisine « Parcs de stationnement couverts », il n'est pas envisageable de le mettre en œuvre.

Incertitudes liées au cas type retenu : discussion pour le cas d'un parking résidentiel avec peu de mouvements

Le cas envisagé pour les calculs tient ainsi compte d'un parking où les mouvements sont nombreux, ce qui explique d'ailleurs que les émissions à l'échappement soient largement supérieures à celles dues à l'évaporation. Il est certain que le cas d'un parking avec des véhicules qui restent stationnés une bonne partie du temps est susceptible de fournir un profil « échappement / évaporation » différent[13] et mérite d'être discuté.

La possibilité du recours à COPERT pour quantifier les parts attribuables dans ce contexte a été étudiée. Il en ressort que cet outil n'est pas développé dans un tel objectif. COPERT est basé sur le principe que les véhicules roulent et que des émissions par évaporation ont lieu simultanément en plus de celles à l'échappement, car le véhicule s'arrête avec un moteur chaud, reste un certain temps arrêté et redémarre à froid. Ainsi, l'utilisation de COPERT pour des véhicules à l'arrêt n'est pas souhaitable et constitue une distorsion de l'outil et de ses finalités. En conséquence, on propose de **discuter qualitativement le cas d'un parking avec peu de mouvements pour étudier l'impact de cette situation sur la hiérarchisation des polluants**.

- Cas de l'acroléine : les concentrations en acroléine dans les parkings sont estimées au prorata des concentrations en formaldéhyde. Ce dernier n'étant pas émis à l'évaporation (cf. COPERT, Tableau 5.37 du *Technical Report*), si les émissions par cette voie sont plus importantes en proportion, **ceci reste sans impact sur les calculs réalisés**.

- Cas du 1,3-butadiène : on fait le choix de se placer dans une situation jugée extrême[14] où les émissions par évaporation contribuent à 50 % aux émissions en COV. L'estimation de la concentration en 1,3-butadiène (respectivement à partir des concentrations de chacun des 4 autres COV mesurés) tient ainsi compte pour moitié du profil des COV à l'échappement et pour l'autre moitié du profil des COV qui s'évaporent. La moyenne estimée passe de 12 µg/m^3 à 5,8 µg/m^3 (cf. tableaux en page suivante). Ceci reste du même ordre de grandeur et ne modifie pas de façon notable la hiérarchisation « chronique à seuil » réalisée : le 1,3-butadiène passe de la 2ème position à la 3ème.

[13] Pour rappel, les calculs menés avec COPERT n'avaient pas pour objectif de quantifier les émissions des véhicules, mais de déterminer la part des concentrations intérieures imputable à l'échappement et celle attribuable aux évaporations, afin ensuite, d'exploiter les profils de COV (différents selon les sources d'émissions) pour estimer les concentrations des substances non mesurées.

[14] Les émissions par évaporation, même si elles sont significatives, ne peuvent néanmoins dépasser celles à l'échappement dès lors que les véhicules circulent un minimum.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

	Contribution à 100 % des gaz à l'échappement					
	% dans le mélange à l'échappement des véhicules essence	% dans le mélange à l'échappement des véhicules diesel	% moyen dans le mélange à l'échappement	% dans le mélange à l'évaporation	C mesurée « moyenne » Parc 2	C estimée « chronique » pour le 1,3-butadiène
					en µg/m^3	
Benzène	5,61	1,98	3,8	1	26	6,2
Toluène	10,98	0,69	5,9	1	127	19,4
Hexane	1,61	0	0,8	15	20	22,5
Formaldéhyde	1,70	12	6,7	0	14	1,9
1,3-Butadiène	0,91	0,97	0,9	0	*Non mesuré*	**Moyenne des $C_{estimée}$: 12**

	Contribution à 50 % de l'échappement et à 50 % de l'évaporation					
	% dans le mélange à l'échappement des véhicules essence	% dans le mélange à l'échappement des véhicules diesel	% moyen dans le mélange à l'échappement	% dans le mélange à l'évaporation	C mesurée « moyenne » Parc 2	C estimée « chronique » pour le 1,3-butadiène
					en µg/m^3	
Benzène	5,61	1,98	3,8	1	26	4,9
Toluène	10,98	0,69	5,9	1	127	16,6
Hexane	1,61	0	0,8	15	20	1,1
Formaldéhyde	1,70	12	6,7	0	14	1,9
1,3-Butadiène	0,91	0,97	0,9	0	*Non mesuré*	**Moyenne des $C_{estimée}$: 6,1**

On en conclut que le type de parking considéré en termes de mouvements de véhicules ne modifie pas l'estimation des concentrations des COV non mesurés.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

ANNEXE COPERT-B : Répartition des véhicules particuliers et utilitaires légers dans le parc roulant français, d'après l'INRETS

Données mises à jour et transmises en mai 2006 par l'INRETS à l'occasion de l'étude

	Parc roulant de VP et VUL* en 2006	Répartition des classes dans le parc roulant en 2006	Parc roulant de VP et VUL* en 2016	Répartition des classes dans le parc roulant en 2016
VP diesel < 2 l				
Pré-Euro I	9 334 132 701	1.91 %	282 197 088	0.05%
Euro I-91/441/EEC	22 575 151 730	4.62%	1 671 717 099	0.29%
Euro II-94/12/EEC	30 553 495 702	6.26%	3 797 510 893	0.65%
Euro III-98/69/EEC	61 324 026 225	12.56%	17 921 157 885	3.08%
Euro IV-98/69/EEC	13 185 194 062	2.70%	39 997 725 784	6.88%
Euro V (post 2005)	0	0.00%	127 905 930 868	22.00%
VP diesel > 2 litres				
Pré-Euro I	3 103 630 680	0.64%	82 647 054	0.01%
Euro I-91/441/EEC	5 831 187 749	1.19%	435 950 630	0.07%
Euro II-94/12/EEC	24 793 278 966	5.08%	3 269 510 503	0.56%
Euro III-98/69/EEC	57 611 437 390	11.80%	16 600 465 705	2.86%
Euro IV-98/69/EEC	11 198 332 366	2.29%	32 315 776 543	5.56%
Euro V (post 2005)	0	0.00%	90 541 775 102	15.57%
VP essence < 1.4 litres				
Pré-ECE	0	0.00%	0	0.00%
ECE 15/00-01	18 224 181	0.00%	0	0.00%
ECE 15/02	40 506 004	0.01%	0	0.00%
ECE 15/03	557 344 105	0.11%	0	0.00%
ECE 15/04	6 024 988 784	1.23%	93 473 814	0.02%
Pré-Euro I amélioré	0	0.00%	0	0.00%
Catalyse boucle ouverte	0	0.00%	0	0.00%
Euro I-91/441/EEC	11 393 788 305	2.33%	603 778 549	0.10%
Euro II-94/12/EEC	18 321 135 334	3.75%	1 647 344 171	0.28%
Euro III-98/69/EEC	28 895 841 895	5.92%	6 030 339 753	1.04%
Euro IV-98/69/EEC	5 051 586 376	1.03%	9 944 610 633	1.71%
Euro V (post 2005)	0	0.00%	19 954 135 394	3.43%
VP essence 1.4 à 2 litres				
Pré-ECE	0	0.00%	0	0.00%
ECE 15/00-01	0	0.00%	0	0.00%

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

	Parc roulant de VP et VUL* en 2006	Répartition des classes dans le parc roulant en 2006	Parc roulant de VP et VUL* en 2016	Répartition des classes dans le parc roulant en 2016
ECE 15/02	0	0.00%	0	0.00%
ECE 15/03	171 643 715	0.04%	0	0.00%
ECE 15/04	3 117 049 976	0.64%	4 903 176	0.00%
Pré-Euro I amélioré	0	0.00%	0	0.00%
Catalyse boucle ouverte	0	0.00%	0	0.00%
Euro I-91/441/EEC	5 196 030 056	1.06%	168 204 396	0.03%
Euro II-94/12/EEC	13 720 012 953	2.81%	896 238 106	0.15%
Euro III-98/69/EEC	24 066 751 092	4.93%	4 185 105 791	0.72%
Euro IV-98/69/EEC	4 738 393 832	0.97%	9 339 262 047	1.61%
Euro V (post 2005)	0	0.00%	28 658 666 803	4.93%
VP essence > 2 litres				
Pré-ECE	0	0.00%	0	0.00%
ECE 15/00-01	0	0.00%	0	0.00%
ECE 15/02	0	0.00%	0	0.00%
ECE 15/03	26 636 819	0.01%	0	0.00%
ECE 15/04	378 240 797	0.08%	1 326 388	0.00%
Pré-Euro I amélioré	0	0.00%	0	0.00%
Catalyse boucle ouverte	0	0.00%	0	0.00%
Euro I-91/441/EEC	491 133 946	0.10%	23 267 019	0.00%
Euro II-94/12/EEC	9 856 827 623	2.02%	906 926 011	0.16%
Euro III-98/69/EEC étape 2000	31 388 971 869	6.43%	5 001 840 127	0.86%
Euro IV-98/69/EEC étape 2005	6 659 538 044	1.36%	11 076 005 913	1.90%
Euro V (post 2005)	0	0.00%	43 381 043 965	7.46%
VUL diesel		0.00%		0.00%
Pré-Euro I	6 896 433 324	1.41%	0	0.00%
Euro I-93/59/EEC	7 011 907 544	1.44%	616 158 223	0.11%
Euro II-96/69/EEC	12 892 958 007	2.64%	2 405 566 785	0.41%
Euro III-98/69/EEC	39 509 603 788	8.09%	10 047 081 689	1.73%
Euro IV-98/69/EEC	10 582 938 201	2.17%	18 906 261 346	3.25%
Euro V (poste 2005)	0	0.00%	72 623 423 092	12.49%
VUL essence				
Pré-Euro I	896 818 815	0.18%	0	0.00%
Euro I-93/59/EEC	304 663 970	0.06%	26 505 308	0.00%

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

	Parc roulant de VP et VUL* en 2006	Répartition des classes dans le parc roulant en 2006	Parc roulant de VP et VUL* en 2016	Répartition des classes dans le parc roulant en 2016
Euro II-96/69/EEC	371 837 198	0.08%	67 878 650	0.01%
Euro III-98/69/EEC	40 418 178	0.01%	8 469 429	0.00%
Euro IV-98/69/EEC	0	0.00%	0	0.00%
Euro V (post 2005)	0	0.00%	0	0.00%
TOTAL	**488 132 092 298**		**581 440 181 731**	

Légende : VP : Véhicule particulier, VUL : Véhicule utilitaire léger

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

ANNEXE COPERT-C : Emissions journalières de COVNM en 2006 dans un parking de 250 places, estimées avec le logiciel COPERT

Substance	Émission à chaud (g/j)	Émission à froid (g/j)	Évaporations (g/j)	TOTAL (g/j)
ethane	0,264	0,326	0,00	**0,590**
propane	0,068	0,071	$1,67\ 10^{-3}$	**0,141**
butane	0,398	0,527	$3,35\ 10^{-2}$	**0,959**
isobutane	0,155	0,171	$1,67\ 10^{-2}$	**0,343**
pentane	0,206	0,230	$2,51\ 10^{-2}$	**0,462**
isopentane	0,640	0,722	$4,18\ 10^{-2}$	**1,404**
hexane	0,148	0,171	$2,51\ 10^{-2}$	**0,343**
heptane	0,074	0,078	$3,35\ 10^{-3}$	**0,155**
octane	0,087	0,066	0,00	**0,153**
2-methylhexane	0,159	0,160	0,00	**0,319**
nonane	0,086	0,034	0,00	**0,120**
2-methylheptane	0,032	0,053	0,00	**0,085**
3-methylhexane	0,104	0,119	0,00	**0,222**
decane	0,157	0,055	0,00	**0,212**
3-methylheptane	0,070	0,062	0,00	**0,132**
Alkanes C10-C12	0,305	0,214	0,00	**0,519**
Alkanes C>13	2,089	0,632	0,00	**2,722**
Cycloalkanes	0,176	0,138	0,00	**0,314**
ethylene	2,128	1,151	0,00	**3,279**
propylene	0,893	0,549	0,00	**1,442**
propadiene	0,002	0,004	0,00	**0,006**
1-butene	0,061	0,075	$1,67\ 10^{-3}$	**0,138**
isobutene	0,509	0,325	0,00	**0,833**
2-butene	0,199	0,168	$3,35\ 10^{-3}$	**0,371**
1,3-butadiene	0,245	0,140	0,00	**0,385**
1-pentene	0,010	0,012	$3,35\ 10^{-3}$	**0,025**
2-pentene	0,028	0,035	$5,2\ 10^{-3}$	**0,068**
1-hexene	0,006	0,015	0,00	**0,020**
dimethylhexene	0,005	0,013	$2,51\ 10^{-3}$	**0,020**
1-butine	0,011	0,019	0,00	**0,030**
propine	0,058	0,025	0,00	**0,084**

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Substance	Émission à chaud (g/j)	Émission à froid (g/j)	Évaporations (g/j)	TOTAL (g/j)
acetylene	0,763	0,441	0,00	**1,204**
formaldehyde	1,574	0,536	0,00	**2,109**
acetaldahyde	0,804	0,262	0,00	**1,066**
acrolein	0,425	0,121	0,00	**0,546**
benzaldehyde	0,149	0,058	0,00	**0,207**
crotonaldehyde	0,128	0,035	0,00	**0,163**
methacrolein	0,089	0,026	0,00	**0,115**
butyraldehyde	0,098	0,028	0,00	**0,127**
isobutanaldehyde	0,238	0,059	0,00	**0,297**
propionaldehyde	0,211	0,057	0,00	**0,268**
hexanal	0,018	0,005	0,00	**0,023**
i-valeraldehyde	0,013	0,003	0,00	**0,016**
valeraldehyde	0,047	0,012	0,00	**0,059**
o-tolualdehyde	0,044	0,017	0,00	**0,061**
m-tolualdehyde	0,071	0,030	0,00	**0,101**
p-tolualdehyde	0,056	0,020	0,00	**0,075**
acetone	0,370	0,141	0,00	**0,511**
methylethlketone	0,146	0,041	0,00	**0,187**
toluene	1,383	1,279	$1{,}67\ 10^{-3}$	**2,664**
ethylbenzene	0,446	0,286	0,00	**0,733**
m,p-xylene	0,737	0,648	$8{,}36\ 10^{-4}$	**1,386**
o-xylene	0,437	0,312	0,00	**0,749**
1,2,3 trimethylbenzene	0,100	0,096	0,00	**0,196**
1,2,4 trimethylbenzene	0,389	0,442	0,00	**0,831**
1,3,5 trimethylbenzene	0,164	0,159	0,00	**0,322**
styrene	0,117	0,112	0,00	**0,229**
benzene	0,912	0,706	$1{,}67\ 10^{-3}$	**1,619**
Aromatics C9	0,457	0,462	0,00	**0,919**
Aromatics C10	0,101	0,267	0,00	**0,368**
Aromatics C>13	2,076	0,821	0,00	**2,897**
TOTAL	**21,933**	**13,843**	**0,167**	**35,943**

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

ANNEXE COPERT-D : Emissions journalières de COVNM en 2016 dans un parking de 250 places, estimées avec le logiciel COPERT

Substance	Émission à chaud (g/j)	Emission à froid (g/j)	Evaporations (g/j)	TOTAL (g/j)
ethane	0,020	0,127	0,00	**0,148**
propane	0,006	0,027	$7{,}11\ 10^{-4}$	**0,034**
butane	0,019	0,196	$1{,}42\ 10^{-2}$	**0,229**
isobutane	0,007	0,060	$7{,}11\ 10^{-3}$	**0,075**
pentane	0,008	0,080	$1{,}07\ 10^{-2}$	**0,099**
isopentane	0,037	0,266	$1{,}78\ 10^{-2}$	**0,321**
hexane	0,005	0,059	$1{,}07\ 10^{-2}$	**0,075**
heptane	0,009	0,033	$1{,}42\ 10^{-3}$	**0,044**
octane	0,010	0,027	0,00	**0,037**
2-methylhexane	0,019	0,068	0,00	**0,087**
nonane	0,022	0,027	0,00	**0,049**
2-methylheptane	0,006	0,025	0,00	**0,030**
3-methylhexane	0,011	0,049	0,00	**0,059**
decane	0,039	0,044	0,00	**0,083**
3-methylheptane	0,008	0,026	0,00	**0,034**
Alkanes C10-C12	0,075	0,132	0,00	**0,207**
Alkanes C>13	0,588	0,615	0,00	**1,203**
Cycloalkanes	0,025	0,062	0,00	**0,087**
ethylene	0,379	0,612	0,00	**0,991**
propylene	0,129	0,253	0,00	**0,382**
propadiene	0,000	0,002	0,00	**0,002**
1-butene	0,002	0,027	$7{,}11\ 10^{-4}$	**0,030**
isobutene	0,043	0,116	0,00	**0,159**
2-butene	0,021	0,068	$1{,}42\ 10^{-3}$	**0,091**
1,3-butadiene	0,034	0,064	0,00	**0,098**
1-pentene	0,000	0,004	$1{,}42\ 10^{-3}$	**0,006**
2-pentene	0,001	0,012	$2{,}13\ 10^{-3}$	**0,016**
1-hexene	0,001	0,006	0,00	**0,007**
dimethylhexene	0,000	0,006	$1{,}07\ 10^{-3}$	**0,007**
1-butine	0,001	0,008	0,00	**0,008**
propine	0,000	0,003	0,00	**0,003**

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Substance	Émission à chaud (g/j)	Emission à froid (g/j)	Evaporations (g/j)	TOTAL (g/j)
acetylene	0,085	0,176	0,00	**0,261**
formaldehyde	0,396	0,439	0,00	**0,835**
acetaldahyde	0,213	0,231	0,00	**0,444**
acrolein	0,117	0,119	0,00	**0,236**
benzaldehyde	0,029	0,035	0,00	**0,064**
crotonaldehyde	0,036	0,036	0,00	**0,072**
methacrolein	0,025	0,026	0,00	**0,051**
butyraldehyde	0,028	0,029	0,00	**0,056**
isobutanaldehyde	0,068	0,066	0,00	**0,134**
propionaldehyde	0,058	0,057	0,00	**0,115**
hexanal	0,005	0,005	0,00	**0,010**
i-valeraldehyde	0,004	0,003	0,00	**0,007**
valeraldehyde	0,013	0,013	0,00	**0,027**
o-tolualdehyde	0,008	0,010	0,00	**0,018**
m-tolualdehyde	0,011	0,015	0,00	**0,027**
p-tolualdehyde	0,012	0,013	0,00	**0,025**
acetone	0,098	0,115	0,00	**0,212**
methylethlketone	0,039	0,040	0,00	**0,079**
toluene	0,055	0,424	$7{,}11\ 10^{-4}$	**0,480**
ethylbenzene	0,015	0,078	0,00	**0,094**
m,p-xylene	0,036	0,218	$3{,}56\ 10^{-4}$	**0,255**
o-xylene	0,016	0,091	0,00	**0,107**
1,2,3 trimethylbenzene	0,011	0,039	0,00	**0,050**
1,2,4 trimethylbenzene	0,031	0,172	0,00	**0,203**
1,3,5 trimethylbenzene	0,014	0,062	0,00	**0,076**
styrene	0,015	0,049	0,00	**0,064**
benzene	0,081	0,268	$7{,}11\ 10^{-4}$	**0,350**
Aromatics C9	0,038	0,179	0,00	**0,217**
Aromatics C10	0,009	0,113	0,00	**0,122**
Aromatics C>13	0,446	0,547	0,00	**0,992**
TOTAL	**3,536**	**6,775**	**0,071**	**10,382**

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 15 : Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

Tableau récapitulatif des valeurs de référence retenues dans le cadre du GT « parkings », sur la base d'expositions chroniques.

Acétaldéhyde	**A seuil**	**9 µg/m^3 (US EPA, OEHHA)**	**+**
	Sans seuil	**5,8.10^{-7} (µg/m^3)$^{-1}$ (Santé Canada)**	**++**
Benzène	**A seuil**	**9,7 µg/m^3 (ATSDR)**	**+**
	Sans seuil	**7,8.10^{-6} (µg/m^3)$^{-1}$ (US EPA)**	**++**
Benzo(a)pyrène	**Sans seuil**	**1,1.10^{-3} (µg.m^{-3})$^{-1}$ (OEHHA)**	**++**
Formaldéhyde	**A seuil**	**3 µg.m^{-3} (OEHHA)**	**+**
	Sans seuil	**6.10^{-6} (µg.m^{-3})$^{-1}$ (OEHHA)**	**++**
Napthalène	**A seuil**	**3 µg.m^{-3} (ATSDR)**	**++**
	Sans seuil	**3,4.10^{-5} (µg.m^{-3})$^{-1}$ (OEHHA)**	**++**
Xylènes	**A seuil**	**180 µg/m^3 (Santé Canada)**	**+**

Les « + » en dernière colonne sont une indication de la sévérité des effets ou des réponses mis en cause dans la construction des VTR (soit les effets sont sévères « ++ », soit les incidences correspondant aux doses critiques sont positives et très importantes « ++ », soit les effets correspondent à des précurseurs de la toxicité, ou sont des effets très sensibles « + », soit les études ont mis en évidence un NOAEL en plus du LOAEL, « + », donnant une indication de protection supplémentaire à la valeur de référence). Cette indication peut être utile en deuxième intention pour la hiérarchisation des substances.

Pour choisir une VTR lorsque plusieurs sont proposées, un certain nombre de critères sont habituellement pris en compte dans les évaluations des risques sanitaires (ces critères sont inspirés des critères proposés dans le cadre du choix de VTR au sein de l'Observatoire des pratiques d'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact, ainsi que de ceux proposés dans le cadre du GT « valeurs guides de qualité de l'air intérieur » de l'AFSSET).

Par ordre d'importance, ces critères sont : i) scientifiques, liés à la méthodologie et aux scénarios d'exposition plausibles ; ii) scientifiques, liés aux données sources utilisées ; iii) pragmatiques, liés à la protection de la santé publique.

On peut donc identifier, pour le choix des VTR dans le cadre du GT « Parkings », différents critères précisés ci-dessous :

1er groupe de critères : méthodologie et scénarios d'exposition plausibles

- Adéquation des fréquences d'exposition entre les données sources et les scénarios humains retenus : le choix de VTR présentant un NOAEL/LOAEL ou BMDL ajusté (noté « ADJ ») sera privilégié, dans la mesure du possible, étant donné que les valeurs guides « parkings » qui seront proposées tiennent compte des expositions dans les autres micro-environnements ;

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

- Adéquation des données toxicologiques permettant d'élaborer la VTR et des données d'exposition déterminées spécifiquement dans le cadre de l'évaluation des risques (durée d'exposition, voie d'exposition, etc.), dans la mesure du possible ;

- Explication claire et transparente de la méthode appliquée pour établir la VTR et indication des résultats obtenus (mode de calcul et hypothèses explicites) ;

2ème groupe de critères : données sources utilisées

- Données humaines : il est préférable, dans la mesure du possible, de privilégier les données humaines, si elles sont de qualité correcte et si les expositions sont suffisamment caractérisées ;

- Date de construction de la VTR et date de publication de l'étude qui a été exploitée pour sa construction : il est préférable, dans la mesure du possible, de retenir les VTR et les études critiques les plus récentes, si celles-ci sont de bonnes qualité.

Enfin, si tous ces critères sont sensiblement égaux (et seulement dans ce cas), on retient la valeur numérique la plus conservatoire pour la santé.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

ACETALDEHYDE

Acétaldéhyde	**Choix des VTR à seuil**
US EPA	- RfC (Reference Concentration) construite en 1991 ; - A partir d'études de toxicité subchronique chez le rat (Appleman et al. 1982, 1986) exposé 4 semaines ; - Effet critique retenu : dégénérescence de l'épithélium olfactif ; - NOAEL = 275 mg/m^3 / LOAEL = 728 mg/m^3 ; - Calcul d'un $NOAEL_{ADJ}$ (*6/24*5/7) de 48,75 mg/m^3 ; - Calcul d'un $NOAEL_{HEC}$[15] = $NOAEL_{ADJ}$ × RGDR (gas respiratory effect in the ExtraThoracic region = 0,18) = 8,7 mg/m^3 ; - Application d'un UF de 1000 (UF_A = 10 ; UF_H = 3 ; UF_D = 3 ; UF_S = 10[16]) - RfC = 9 µg/m^3.
OEHHA	- même raisonnement et même valeur que l'US EPA ; - évaluation en 1993
OMS	- TC (tolerable concentration) construite en 1995 ; - A partir d'études de toxicité subchronique chez le rat (Appleman et al. 1982, 1986) exposé 4 semaines ; - Effet critique retenu : dégénérescence de l'épithélium olfactif ; - NOAEL = 275 mg/m^3 / LOAEL = 728 mg/m^3 ; - Pas de calculs de $NOAEL_{ADJ}$ ni de $NOAEL_{HEC}$; - Application d'un UF de 1000 (UF_A = 10 ; UF_H = 10 ; UF_S = 10) - TC = 300 µg/m^3.
Santé Canada	- TC (tolerable concentration) construite en 2000 ; - A partir d'études de toxicité subchronique chez le rat (Appleman et al. 1982, 1986) exposé 4 semaines ; - Effet critique : dégénérescence de l'épithélium olfactif ; - Calcul d'une BMC_{05} = 357 mg/m^3 et une $BMCL_{05}$ = 218 mg/m^3 chez le rat mâle. Pour la femelle, la BMC_{05} est de 445 mg/m^3 et la $BMCL_{05}$ de 17 mg/m^3. - Calcul d'une $BMCL_{05\ ADJ}$ (× 6/24 × 5/7) de 39 mg.m^{-3} à partir de la BMCL des mâles, pour laquelle les données ont été considérées plus robustes. - Application d'un UF de 100 (UF_A = 10 ; UF_H = 10) - TC = 390 µg/m^3.

A partir des critères identifiés ci-contre, trois VTR (US EPA, OEHHA et Santé Canada) calculées à partir de doses critiques ajustées (« ADJ ») sont disponibles. Elles sont toutes deux construites sur la même étude source dont les résultats ont été exploités en 1982 et 1986. Elles sont fondées sur une étude subchronique, ce qui n'est pas en adéquation parfaite avec les scénarios humains retenus.

---

[15] HEC : Human Equivalent Concentration. Pour la voie respiratoire, un ajustement allométrique permet de convertir la concentration critique en « concentration équivalente humaine » afin de diminuer les incertitudes de transposition inter-espèces, les caractéristiques d'inhalation d'une substance dépendant des capacités anatomiques et physiologiques de chaque espèce. La concentration pondérée par des paramètres biologiques (liés à l'animal et l'homme) et physicochimiques (liés à la substance) est alors applicable à l'homme.

[16] UF_A : facteur d'incertitude inter espèces ; UF_H : facteur d'incertitude intra espèce ; UF_S : facteur d'incertitude subchronique à chronique ; UF_D : facteur d'incertitude pour le manque de données ; $UF_{L/B}$: facteur d'incertitude pour passer d'un LOAEL/ BMD à un « NOAEL » théorique.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Toutefois, des facteurs UFS ont été proposés par l'US EPA et OEHHA (même méthode de construction). Par ailleurs, Santé Canada a proposé l'utilisation d'une BMC, ce qui peut avoir un intérêt en terme méthodologique. Cependant, la grande différence observée entre la BMCL calculée chez les mâles et les femelles ne permet pas de considérer ces résultats suffisamment robustes. Il est donc préférable de retenir la VTR de **l'US EPA de 9 µg/m^3**.

Acétaldéhyde	**Choix des VTR sans seuil**
US EPA	- ERU proposé en 1991 sur la base d'une étude animale de cancérogenèse vie entière par inhalation chez le rat mâle réalisée en 1984 (Woutersen & Appleman, 1984, interim results after 15 months) - Effets critiques : tumeurs nasales (adénocarcinomes, carcinomes des cellules squameuses) - Modèle multi-étapes linéarisé (LMS) appliqué - IUR = 2,2.10^{-6} (µg/m^3)$^{-1}$
OMS	- ERU proposé en 1995 sur la base d'une étude animale de cancérogenèse vie entière par inhalation chez le rat (deux sexes) réalisée en 1986 (Woutersen et al. 1986 : final results). C'est la même étude que celle utilisée par l'US EPA, sauf que les résultats sont finaux. - Effets critiques : tumeurs nasales (adénocarcinomes, carcinomes des cellules squameuses) - Modèle LMS appliqué - Concentrations correspondant à un risque de 10^{-5} = 11 à 65 g/m^3 - Par extrapolation, IUR = 1,5 - 9.10^{-7} (µg/m^3)$^{-1}$
OEHHA	- ERU proposé en 1993 sur la base d'une étude animale de cancérogenèse de 1986 (Woutersen et al. 1986). - Effets critiques : tumeurs nasales (adénocarcinomes, carcinomes des cellules squameuses) - Application d'un modèle LMS dépendant du temps, ajustement au maximum de vraisemblance, calcul pour les deux sexes et sur plusieurs espèces (également chez le hamset, étude de Feron et al. 1982). - Utilisation de la valeur pour l'espèce et le sexe le plus sensible (rat mâle) - IUR = 2,7.10^{-6} (µg/m^3)$^{-1}$
Santé Canada	- CT proposée en 1993 sur la base d'une étude animale de cancérogenèse de 1986 (même auteur que celle de l'US EPA et de l'OEHHA). - Effets critiques : tumeurs nasales (adénocarcinomes, carcinomes des cellules squameuses) - Calcul des concentrations tumorigènes CT05 après ajustement sur des expositions continues. - CT05 pour les sujets les plus sensibles (rats mâles) de 86 mg/m^3 - Par extrapolation, IUR = 5,8.10^{-7} (µg/m^3)$^{-1}$[17]

Parmi ces VTR, les données sources sont les mêmes (études chez le rat, 1984 et 1986). Cependant, l'US EPA a utilisé une étude qui présentait des résultats intermédiaires de cancérogenèse au bout de 15 mois. L'étude finale a été utilisée par l'OMS, l'OEHHA et Santé Canada. Par ailleurs, Santé Canada a réalisé un ajustement sur des expositions continues. Il est donc souhaitable de retenir la

[17] TC05 = 8,6.10^4 µg/m^3. Hypothèse : la relation dose effet est linéaire et la TC05 correspond à un excès de risque de 5%, soit 0,05. Le calcul suivant permet de trouver l'ERU correspondant à une unité de dose (1 µg/m^3) : ERU = (0,05 x 1) / 8,6.10^4 = 5,8.10^{-7} (µg/m^3)$^{-1}$

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

VTR de Santé Canada, en l'extrapolant pour obtenir un excès de risque unitaire. Le choix se portera donc sur **l'ERU extrapolé de Santé Canada de $5{,}8.10^{-7}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$**.

BENZENE

Benzène	Choix des VTR à seuil
US EPA	- RfC (Reference Concentration) construite en 2003 à partir d'une étude humaine en milieu professionnel conduite en 1996 (Rothman et al. 1996), pour une exposition respiratoire chronique (6,3 ans en moyenne, de 0,7 à 16 ans) - L'effet critique est une diminution du nombre de lymphocytes. Il s'agit d'une réponse continue. Pour calculer la BMC, il faudrait connaître clairement le nombre de lymphocytes correspondant à un effet néfaste. En l'absence de telle définition, les auteurs ont utilisé un niveau de réponse par défaut correspondant à une déviation standard par rapport au contrôle (suggestion donnée dans le guide technique BMD)[18]. - BMCL = 23 mg/m^3 - Calcul d'une $BMCL_{ADJ}$ = 8,2 mg/m^3 - UF de 300 (UF_H de 10, UF_B de 3, UF_S de 3 et UF_D de 3) - RfC = 30 $\mu g/m^3$
ATSDR	- MRL (Minimal Risk Level) construit en 2005 issu d'un draft pour commentaires publics, - A partir d'une étude humaine respiratoire chronique (moyenne d'exposition de 6,1 ans) réalisée en 2004 (Lan et al, 2004) - L'effet critique est une diminution du nombre de lymphocytes - $BMCL_{0,25}$ = 0,32 mg/m^3 - $BMCL_{0,25}$ ADJ = 0,096 mg/m^3 - UF de 10 (pour UF_H). Pas de UF_B - MRLc = 9,7 $\mu g/m^3$
OEHHA	- REL (Reference Exposure Level) construit en 1999 à partir d'une étude humaine en milieu professionnel conduite en 1983, pour une exposition chronique respiratoire (1-21 ans) - NOAEL = 1,7 mg/m^3 (une seule concentration testée), pas de LOAEL - L'effet recherché était hématologique : les paramètres hématologiques sont restés normaux. Les auteurs ont par ailleurs proposé une hypothèse « travailleurs sains » sur cette cohorte (mortalité toute cause et maladies circulatoires très inférieures aux valeurs attendues). Cette VTR est donc construite sur une absence d'effet. - NOAEL ADJ = 0,6 mg/m^3 - UF de 10 (pour UF_H) - RELc = 60 $\mu g/m^3$

Ces VTR ont toutes été construites sur des données humaines chroniques et ont toutes été ajustées sur la durée de l'exposition. La VTR de l'ATSDR pourrait être retenue, car l'étude source date de 2004 (les autres critères : chronicité, études humaines, transparence, sont ici respectés). De fait, la **VTR retenue est de 9,7 $\mu g/m^3$**.

[18] This default definition of a benchmark response for continuous endpoints corresponds to an excess risk of approximately 10% for the proportion of individuals below the 2nd percentile (or above the 98th percentile) of the control distribution for normally distributed effects (see U.S. EPA, 2000)

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Benzène	**Choix des VTR sans seuil**
US EPA	- ERU construit en 2000 à partir de plusieurs études humaines réalisées entre 1981 et 1998 - Etudes chroniques respiratoires (cohorte de travailleurs) (7 références bibliographiques) : Rinsky et al., 1981, 1987; Paustenbach et al., 1993; Crump and Allen, 1984; Crump, 1992, 1994; U.S. EPA, 1998 - Effet critique : leucémies - Utilisation du modèle LMS, ajustement par le maximum de vraisemblance - IUR = 2,2 – 7,8.10^{-6} ($\mu g/m^3$)$^{-1}$
OEHHA	- Valeur recommandée en 1988. - Effet critique : leucémies - Peu de transparence dans l'explication (recommandation selon la proposition 65 de Californie), alors que les calculs ont été effectués pour toutes les études, tel que réalisé par l'US EPA (avec des valeurs d'ERU pour toutes les études retenues, chez l'homme et l'animal). - IUR = 2,9.10^{-5} ($\mu g/m^3$)$^{-1}$
OMS	- ERU construit en 2000 à partir de plusieurs études humaines réalisées entre 1981 et 1992 (ré exploitation des données) - Etudes chroniques respiratoires (cohorte de travailleurs) : Infante et al. (1984), Rinsky et al. (1981), Aksoy et al. (1974; 1976), Aksoy (1977), and Ott et al. (1978) - Effet critique : leucémies - Utilisation de modèles de risques multiplicatifs et utilisation de la moyenne géométrique des ERU identifiés - IUR = 6.10^{-6} ($\mu g/m^3$)$^{-1}$
RIVM	- Recommandation d'un groupe de travail européen à partir d'une étude humaine exploitée en 1995 - Peu de transparence dans les données (référence au travail d'un groupe européen sur les valeurs guide de qualité d'air, 1999, Commission Européenne). - Le GT propose une valeur de 0,2 $\mu g/m^3$ correspondant à un risque de 10^{-6}. - Par extrapolation, ERU = 5.10^{-6} ($\mu g/m^3$)$^{-1}$
Santé Canada	- TC05 proposée en 1991 sur la base d'une cohorte humaine de travailleurs (Rinsky et al. 1987) - Effets critiques : leucémies - CT05 de 15 mg/m^3 en l'absence d'explication claire - Par extrapolation, on peut proposer un ERU de 3,3.10^{-6} ($\mu g/m^3$)$^{-1}$[19]

Parmi les VTR proposées, celles de l'OEHHA, de Santé Canada et du RIVM ne semblent pas suffisamment transparentes pour être utilisées. De ce fait, il semble plus prudent de retenir celles de l'US EPA ou de l'OMS. L'US EPA a utilisé une fourchette d'excès de risque alors que l'OMS a utilisé la moyenne géométrique. De plus, la consultation des études sources est étendue à des dates plus récentes que ne l'a fait l'OMS (1998 pour l'US EPA contre 1992 pour l'OMS). Dans ce contexte, il pourrait être proposé de retenir soit la valeur haute de la fourchette de l'US EPA, soit la moyenne géométrique proposée par l'OMS. Selon le critère de « précaution », la **valeur numérique de 7,8.10^{-6} ($\mu g/m^3$)$^{-1}$ peut être choisie (la plus conservatoire).**

[19] TC05 = 1,5.10^4 $\mu g/m^3$. Hypothèse : la relation dose effet est linéaire et la TC05 correspond à un excès de risque de 5%, soit 0,05. Le calcul suivant permet de trouver l'ERU correspondant à une unité de dose (1 $\mu g/m^3$) : ERU = (0,05 x 1) / 1,5.10^4 = 3,3.10^{-6} ($\mu g/m^3$)$^{-1}$

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

BENZO(a)PYRENE (BaP)

Benzo(a)pyrène	Choix des VTR sans seuil
OMS	- ERU construit en 1987 et confirmé en 2000 - A partir d'une étude épidémiologique chez des hommes salariés travaillant dans une cokerie aux Etats-Unis exposés à un mélange d'HAP[20] entre 1953 et 1970 (Redmond, 1976) - Effet critique retenu : cancer du poumon - Utilisation du modèle LMS - ERU non spécifique du BaP = $8,7.10^{-2}$ $(\mu g.m^{-3})^{-1}$ (ERU à considéré comme un indicateur d'un mélange d'HAP contenant du BaP) - Valeur confortée par un ERU du même ordre de grandeur calculé à partir d'une étude chez le rat de 1994 (Heinrich *et al.*, 1994)
OEHHA	- ERU construit en 2002 confirmé en 2005 - A partir d'une étude chez le hamster doré syrien mâle exposé par voie inhalée (nasale uniquement) à du BaP pendant 96 semaines (Thyssen *et al.*, 1981) - Effet critique retenu : tumeurs des voies respiratoires : cavité nasale, larynx, trachée (absence de tumeurs pulmonaires) - Utilisation du modèle LMS - ERU spécifique du BaP = $1,1.10^{-3}$ $(\mu g.m^{-3})^{-1}$
Santé Canada	- ERU construit en 1993 - A partir d'une étude chez le hamster doré syrien mâle exposé par voie inhalée (nasale uniquement) à du BaP pendant 96 semaines (Thyssen *et al.*, 1981) - Effet critique retenu : tumeurs des voies respiratoires : cavité nasale, larynx, trachée (absence de tumeurs pulmonaires) - Calcul d'une $CT_{0,05}$ = 1,57 $mg.m^{-3}$ (concentration tumorigène provoquant une augmentation de 5% du taux de tumeurs visées), pas d'explications - Par extrapolation linéaire aux faibles doses, on peut proposer un ERU spécifique du BaP de $3,12.10^{-5}$ $(\mu g.m^{-3})^{-1}$

L'ERU proposé par l'OMS repose sur une étude épidémiologique ancienne (datant de 1976) pour laquelle les salariés sont exposés à un mélange de HAPs et non pas à du BaP seul. L'ERU proposé n'est donc pas spécifique du BaP. L'OEHHA et Santé Canada ont retenu la même étude toxicologique chez le hamster pour une durée subchronique (96 semaines, un hamster vivant entre 4 et 6 ans). L'intérêt de cette étude est qu'elle est spécifique au BaP puisque les hamsters ont été exposés par voie inhalée au BaP uniquement. L'ERU proposé par l'OEHHA est explicitement défini à la différence de la $CT_{0,05}$ de Santé Canada pour laquelle aucune information sur son élaboration n'est donnée. Pour ces raisons il est proposé de retenir **l'ERU de l'OEHHA de $1,1.10^{-3}$ $(\mu g.m^{-3})^{-1}$**. A noter cependant qu'aucun ajustement sur les fréquences et durée d'exposition n'a été réalisé.

[20] Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

FORMALDEHYDE

Formaldéhyde	Choix des VTR à seuil
ATSDR	- MRL (Minimal Risk Level) chronique construit en 1999 - A partir d'une étude chez des travailleurs de l'industrie chimique exposés en moyenne 9 ans (Holmstrom *et al.*, 1989). Les individus témoins sont des employés de bureaux. - Effet critique : lésions histologiques : destruction des cellules ciliées, prolifération de foyers de cellules hyperplasiques ou plus rarement dysplasiques. - LOAEL = 300 µg.m^{-3} - UF de 30 (UF_H = 10, UF_L = 3) - MRLc = 10 µg.m^{-3}
OEHHA	- REL (Reference Exposure Level) chronique construit en 1999 - A partir d'une étude chez des travailleurs de l'industrie chimique (production de formaldéhyde) exposés en moyenne 10 ans (Wilhelmsson *et al.*, 1992). Un second groupe d'individus exposés est constitué de travailleurs d'une usine de fournitures en contact avec des panneaux de particules et composants de colles. Les individus non exposés sont des employés de bureaux. - Effets critiques : irritations oculaire et nasale, rhinites, obstruction nasale, métaplasie squameuse et dysplasie nasales - NOAEL = 90 µg.m^{-3} (individus non exposés) - Calcul d'un $NOAEL_{ADJ}$ (*5/7*10/20) = 30 µg.m^{-3} - UF de 10 (UF_H) - RELc = 3 µg.m^{-3} - Résultats confortés par ceux d'une autre étude (Elding *et al.*, 1988)

Les VTR chroniques de l'OEHHA et de l'ATSDR sont toutes deux fondées sur des études épidémiologiques pour des durées d'exposition chronique. En comparant les deux VTR chroniques, les résultats sont assez similaires si on s'affranchit du groupe exposé au formaldéhyde et aux poussières de bois pour la VTR de l'OEHHA. La différence provient de l'utilisation par l'ATSDR d'un LOAEL plutôt que d'un NOAEL mais surtout de l'ajustement du NOAEL par l'OEHHA. Aussi il est proposé de retenir la valeur de l'OEHHA ajustée sur les fréquences d'exposition et pour laquelle un NOAEL est utilisé. La **valeur retenue est de 3 µg.m^{-3}**.

Formaldéhyde	Choix des VTR sans seuil
US EPA	- ERU construit en 1991 - A partir d'une étude de cancérogenèse par voie inhalée chez le rat F344 et la souris B6C3F1, mâle et femelle (Kerns *et al.*, 1983) - Effet critique : carcinomes des cellules squameuses de la cavité nasale chez le rat mâle - Utilisation du modèle LMS, risque additionnel - ERU = 1,3.10^{-5} (µg.m^{-3})$^{-1}$

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Santé Canada	- ERU construit en 2001 - A partir de deux études : l'une subchronique chez le rat mâle F344 exposés pendant 11 semaines 6h par jour et 5 jours par semaine (Casanova et al. 1994), l'autre chez le rat mâle F344 exposé jusqu'à 24 mois 6h par jour et 5 jours par semaine (Monticello et al. 1996) ; et de la construction d'un modèle biologique de croissance clonale à deux étapes (type MVK). - Les effets mis en évidence étaient des altérations histopathologiques et une prolifération cellulaire, considérée comme précurseur des cancers. a également été prise en compte dans le modèle, la formation de cross-link ADN-protéines, également considérée comme phénomène précurseur des cancers du nasopharynx. - ERU = 2.10^{-10} $(\mu g.m^{-3})^{-1}$
Santé Canada	- CT05 proposée en 2001 - A partir d'une étude chez le rat mâle (Monticello et al. 1996) exposé par voie inhalée au formaldéhyde jusqu'à 2 ans (chronique) 6h par jour et 5 jours par semaine. - La réponse mesurée est l'incidence des tumeurs pavimenteuses nasales chez le rat. - TC_{05} = 9,5 $mg.m^{-3}$ - Par extrapolation, on peut en déduire un ERU de $5,3.10^{-6}$ $(\mu g.m^{-3})^{-1}$[21]
OEHHA	- ERU construit en 2002 confirmé en 2005 - A partir d'une étude de cancérogenèse par voie inhalée chez le rat F344 et la souris B6C3F1, mâle et femelle (Kerns *et al.*, 1983) et de son exploitation par l'US EPA en 1987 - Effet critique : carcinomes des cellules squameuses de la cavité nasale chez le rat - Utilisation du modèle LMS et MVK, interpolation toxicocinétique des données d'incidence tumorale - ERU = 6.10^{-6} $(\mu g.m^{-3})^{-1}$ - Résultat conforté par un ERU calculé à partir d'une étude épidémiologique chez des travailleurs (Blair *et al.*, 1986)

Les ERU proposés sont tous construits à partir d'études chez le rat. L'OEHHA et l'US EPA utilisent la même étude animale. Il est difficile de choisir à partir des critères proposés, un modèle de dose-réponse plutôt qu'un autre, car s'ils s'ajustent toujours correctement aux données expérimentales, les extrapolations aux faibles doses sont parfois différentes, sans que l'on sache quel modèle est le plus réaliste. De ce fait, et compte tenu que l'ERU proposé par l'OEHHA est plus récent et bénéficie de l'exploitation des données sources de l'étude de Kerns *et al.* pour construire sa VTR, il pourrait être proposé de retenir cet ERU. La méthode d'élaboration est par ailleurs plus explicitement détaillée que celle de l'US EPA et la valeur est plus conservatoire pour la santé que celle de Santé Canada. Pour ces raisons, il est proposé de retenir **l'ERU de l'OEHHA de 6.10^{-6} $(\mu g.m^{-3})^{-1}$.**

[21] TC05 = $9,5.10^{3}$ $\mu g/m^3$. Hypothèse : la relation dose effet est linéaire et la TC05 correspond à un excès de risque de 5%, soit 0,05.Le calcul suivant permet de trouver l'ERU correspondant à une unité de dose (1 $\mu g/m^3$) : ERU = (0,05 x 1) / $9,5.10^{3}$ = $5,3.10^{-6}$ $(\mu g/m^3)^{-1}$

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

NAPHTALENE

Naphtalène	Choix des VTR à seuil
US EPA	- RfC (Reference Concentration) construite en 1998 - A partir d'une étude chronique (cancérogenèse) par voie respiratoire chez la souris mâle et femelle B6C3F1 (NTP, 1992) - Effet critique retenu : hyperplasie de l'épithélium respiratoire et métaplasie de l'épithélium olfactif - LOAEL = 52 mg.m^{-3} (correspondant à une incidence d'environ 100% chez le mâle et la femelle) - Calcul d'un $LOAEL_{ADJ}$ (*6/24*5/7) de 9,3 mg.m^{-3} - Calcul d'un $LOAEL_{HEC}$ = 9,3 mg.m^{-3} (ratio sang/air inconnu donc application d'un facteur 1 par défaut pour un gaz de catégorie 3) - UF de 3000 (UF_A = 10, UF_H = 10, UF_L = 10, UF_D = 3) - RfC = 3 µg.m^{-3}
ATSDR	- MRL (Minimal Risk Level) chronique construit en 2005 - A partir de deux études chroniques (cancérogenèse) par voie respiratoire chez la souris mâle et femelle B6C3F1 (NTP, 1992) et chez le rat mâle et femelle F344/N (Abdo *et al.*, 2001 ; NTP, 2000) - Effet critique retenu : lésions non néoplasiques de l'épithélium olfactif (métaplasie chez la souris ; hyperplasie, atrophie et inflammation chronique chez le rat) et de l'épithélium nasal respiratoire (hyperplasie chez la souris ; hyperplasie, métaplasie, dégénérescence hyaline ou hyperplasie glandulaire chez le rat) - LOAEL = 52 mg.m^{-3} (chez la souris et le rat, correspondant à une incidence d'environ 100% chez le mâle et la femelle) - Calcul d'un $LOAEL_{ADJ}$ (*6/24*5/7) de 9,3 mg.m^{-3} - Calcul d'un $LOAEL_{HEC}$ chez le rat = 9,3 mg.m^{-3} * RGDR rat (regional gas dose ratio in the extrathoracic region = 0,132) = 1 mg.m^{-3} (pour un gaz de catégorie 1) - UF de 300 (UF_A = 3, UF_H = 10, UF_L = 10) - MRLc = 3 µg.m^{-3}
OEHHA	- REL (Reference Exposure Level) chronique construit après 2000 - A partir d'une étude chronique (cancérogenèse) par voie respiratoire chez la souris mâle et femelle B6C3F1 (NTP, 1992) - Effet critique retenu : effet sur le système respiratoire (inflammation nasale, métaplasie de l'épithélium olfactif, hyperplasie de l'épithélium respiratoire) - LOAEL = 52 mg.m^{-3} - Calcul d'un $LOAEL_{ADJ}$ (*6/24*5/7) de 9,3 mg.m^{-3} - UF de 1000 (UF_A = 10, UF_H = 10, UF_L = 10) - RELc = 9 µg.m^{-3}

Les VTR sont toutes fondées sur la même étude toxicologique de 1992 chez la souris, l'ATSDR l'ayant complétée de deux études plus récentes chez le rat datant de 2000 et de 2001. La LOAEL est dans tous les cas de 52 mg.m^{-3}, valeur confirmée chez le rat par l'ATSDR. Le MRLc a été élaboré plus récemment que les deux autres VTR en faisant intervenir un calcul d'ajustement allométrique chez le rat ($LOAEL_{HEC}$ plus faible que chez la souris) précisément détaillé. Dans ces conditions, la méthode de l'ATSDR pourrait être retenue. De fait, la **VTR de 3 µg/m^3 peut être retenue**.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Naphtalène	**Choix des VTR sans seuil**
OEHHA	- ERU construit en 2005 - A partir d'une étude de cancérogenèse par voie inhalée chez le rat F344/N mâle et femelle (NTP, 2000) - Effet critique retenu : adénomes de l'épithélium respiratoire nasal et neuroblastomes de l'épithélium olfactif chez le rat mâle (plus sensible que la femelle) - Utilisation du modèle LMS, extrapolation linéaire aux faibles doses - ERU = $3{,}4.10^{-5}$ $(\mu g.m^{-3})^{-1}$
INERIS	- ERU proposé en 2003 - Application d'un FET de 0,001 à l'ERU du BaP de l'OEHHA - Démarche appliquée conformément aux recommandations de l'INERIS « Pour les effets cancérogènes, pour une exposition par inhalation à un mélange de HAPs, l'INERIS conseille de prendre en compte le seul ERUi spécifique du BaP de $1{,}1.10^{-3}$ $(\mu g.m^{-3})^{-1}$ proposé par l'OEHHA et de lui appliquer les FET établis par Nisbet et LaGoy en 1992 » - ERU = $1{,}1.10^{-6}$ $(\mu g.m^{-3})^{-1}$

L'OEHHA propose un ERU construit à partir d'une étude de cancérogenèse chez le rat par administration inhalée de naphtalène. Les données exploitées sont donc spécifiques au naphtalène à la différence de l'approche INERIS. Les incidences tumorales observées ont été comparées aux résultats d'une étude similaire conduite chez la souris femelle B6C3F1, considérée *in fine* moins sensible que le rat. La méthode de construction de cet ERU est transparente et détaillée. En outre, elle est plus récente que la proposition de l'INERIS. Par conséquent le choix de l'ERU pour le naphtalène est celui proposé par l'OEHHA soit **$3{,}4.10^{-5}$ $(\mu g.m^{-3})^{-1}$**. A noter qu'aucun ajustement de fréquence n'a été réalisé.

XYLENES (mélange)

Xylènes	**Choix des VTR à seuil**
US EPA	- RfC (Reference Concentration) construite en 2003 - A partir d'une étude d'inhalation subchronique chez le rat mâle de 1994 - Une altération de la coordination motrice a été mise en évidence - NOAEL = 217 mg/m^3 et LOAEL = 434 mg/m^3 - Calcul d'un $NOAEL_{ADJ}$ de 39 mg/m^3 - Calcul d'un $NOAEL_{HEC}$ pour effets respiratoires gaz de catégorie 3 (RGDR = 1,7) → RGDR = 1 (on n'augmente jamais le NOAEL) soit un NOAEL HEC à 39 mg/m^3. - UF de 300 (UFA de 3 ; UFH de 10 ; UFS de 3 ; UFD de 3). - RfC = 100 µg/m^3
ATSDR	- MRL (Minimal Risk Level) construit en 2005, draft pour commentaires publics - A partir d'une étude humaine chronique (moyenne de 7 ans) de 1993 sur des travailleurs (Uchida et al. 1993) - Utilisation du plus faible LOAEL (effets subjectifs neurologiques et respiratoires) de 14 ppm - LOAEL = 61 mg/m^3 - Pas de calcul de LOAEL ADJ - UF de 300 avec un UFH de 10, un UFL de 10 et un MF de 3 compte tenu des incertitudes et du manque de données concernant les preuves de la neurotoxicité des xylènes. - MRL = 200 µg/m^3

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

OEHHA	- REL (Reference Exposure Level) construit à partir de la même étude que l'ATSDR, en 1999 - LOAEL de 14 ppm - Calcul d'un LOAEL ADJ de 5,1 ppm - UF de 30 (UFL de 3 et UFH de 10) - REL = 700 µg/m^3
RIVM	- TCA (Tolerable Concentration in Air) construite en 2001 à partir d'une étude de 1993 sur le développement neurotoxique chez le rat (exposition pendant la gestation) (Hass & Jakobsen, 1993). Exposition 6h par jour de GD4 à GD20. - L'effet critique est une altération du comportement de la progéniture - LOAEL = 870 mg/m^3. Pas de NOAEL. La toxicité maternelle n'est pas précisée. - Pas de calcul de LOAEL ADJ - UF de 1000 (UFH de 10, UFA de 10, UFL de 10) - TCA = 870 µg/m^3
Santé Canada	- TCA (Tolerable Concentration in Air) provisoire construite en 1991 à partir d'une étude de 1985 sur le développement chez le rat et le lapin (exposition pendant la gestation) (Ungvary and Tatrai, 1985). Exposition continue des rates de GD7 à GD15 - L'effet critique est une toxicité fœtale (retard squelettiques) chez le rat et le lapin. Chez le lapin, mise en évidence à 500 mg/m^3 sans toxicité maternelle. Chez le rat, mise en évidence à 250 mg/m^3 avec une toxicité maternelle (sans plus de précision). - LOAEL = 250 mg/m^3. Pas de NOAEL. Toxicité maternelle mise en évidence. - Calcul d'un LOAEL HEC de 180 mg/m^3 - UF de 1000 (UFH de 10, UFA de 10, UFL de 3 et UFD de 3) - TCA = 180 µg/m^3

A partir des critères identifiés, les seules VTR ajustées sur les fréquences d'exposition sont celles de l'OEHHA et de Santé Canada. Les VTR de l'OEHHA et de l'ATSDR ont utilisé une étude humaine chronique. Par ailleurs, les VTR du RIVM et de Santé Canada ont été construites sur la base d'effets comportementaux sur la progéniture après exposition *in utero*, sur des données animales. L'étude humaine pourrait être privilégiée mais compte tenu des effets potentiels sur le comportement des progénitures, il serait préférable de retenir la VTR de Santé Canada de **180 µg/m^3** fondée sur une étude sur le développement, même si l'exposition chez l'animal n'était que de 16 jours. Cette valeur est par ailleurs la plus conservatoire.

DIOXYDE D'AZOTE (NO_2) – exposition « aiguë »

NO2	**Choix des VTR à seuil**
OMS	- Valeur guide construite en 2001 et actualisée en 2005 - A partir d'études d'inhalation de 30 minutes chez le volontaire asthmatique (Roger et al 1990 ; Bauer et al 1986) et d'une méta-analyse avec étude de la réponse à un bronchoconstricteur (Folinsbee 1992) - Une altération de la fonction pulmonaire a été mise en évidence chez les asthmatiques faisant un exercice léger à modéré pour les premières études (avec un LOAEL à 560 µg/m^3) et la méta-analyse montrait que sur 105 sujets exposés à < 376 µg/m^3, 67 avaient une augmentation de réactivité bronchique et 38 avait une diminution de cette réactivité. - Conclusion sur un LOAEL de 380 à 560 µg/m^3 (0,2 à 0,3 ppm), et sur le fait que les asthmatiques sont plus sensibles. - Utilisation d'une marge de sécurité de 50% compte tenu du pourcentage d'individus présentant une augmentation significative de la réponse à un bronchoconstricteur (67/105) et qu'ils étaient exposés à <376 µg/m^3. Par ailleurs, une augmentation était apparemment visible dès 190 µg/m^3 mais l'analyse statistique s'est révélée inappropriée. - **VG = 200 µg/ m^3** (à 400, il est clair que des LOAEL ont été mis en évidence)

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

OEHHA	- REL for acute exposure (Reference exposure level) construit en 1999 - A partir d'une étude humaine aiguë de 1992 sur des asthmatiques (California Air ressources Board CARB 1992). Le profil toxicologique indique que des effets ont été observés chez les asthmatiques pour des expositions de l'ordre de 0,25 à 0,3 ppm. L'étude de Bauer de 1986 est citée. - Utilisation du LOAEL de 0,25 ppm - Pas d'UF retenu. - Peu d'explication quant à l'utilisation de la dose critique, qui est donnée comme un NOAEL dans le résumé, selon l'étude de CARB, 1992. Pas d'explication de l'étude de CARB 1992 - **REL = 470 µg/ m^3**

Tous les critères proposés sont respectés mis à part, pour l'OEHHA, une explication suffisamment claire et transparente de la méthode utilisée pour retenir la VTR. Il est donc préférable de retenir la VTR de l'OMS de **200 µg/m^3** fondée sur plusieurs études, dont une méta-analyse, réalisées chez l'homme (population sensible). Cette valeur est par ailleurs la plus conservatoire.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 16 : Limites des Valeurs Toxicologiques de Référence

Sources : Méthode de construction pour les VTR reprotoxiques, document en cours de publication, GT AFSSET, 2006 ; Analyse des risques alimentaires, ed. INRA tech & doc, en cours de publication 2006 ; Conférence sur le commerce international des denrées alimentaires au-delà de l'an 2000. Melbourne (Australie), 11-15 octobre 1999. Intervention du Professeur Arpad Somogyi, DG SANCO, Commission européenne.

Les VTR sont des indices toxicologiques établis par des instances internationales ou nationales telles que l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), le Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), le Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues (JMPR), Santé-Canada ou le US Environmental Protection Agency (US EPA), etc., traduisant une relation dose-réponse ou un point issu d'une telle relation. Elles sont pour cela utiles à la caractérisation, voire la quantification, d'un risque sanitaire dans une population exposée à une substance toxique. Elles sont par la même devenues indispensables à l'élaboration de standards de qualité ou de valeurs réglementaires dans le domaine de l'alimentation, de l'eau potable, ou de la qualité de l'air. Elles sont spécifiques d'une voie et d'une durée d'exposition.

Limites générales de la démarche de construction des VTR en évaluation des risques

L'évaluation des risques découle des incertitudes liées aux évaluations scientifiques. Il ne s'agit pas d'un processus précis de mesure, mais d'une approximation fondée sur des hypothèses « scientifiquement plausibles ». Dans les évaluations toxicologiques, la situation est encore compliquée par le fait qu'une extrapolation dans la portion expérimentalement inabordable de la courbe dose-réponse est réalisée. Lorsque des données animales sont utilisées, c'est sur la base d'études lors desquelles des doses élevées de substances sont administrées à un relativement petit nombre d'animaux, que sont faites les prédictions pour la population humaine exposée à des doses relativement faibles des substances considérées. Pour ces tentatives, l'utilisation de modèles d'extrapolation de plus en plus perfectionnés peut conduire à des résultats différents. Ainsi, sur la base de données identiques provenant d'une même expérience, les conclusions peuvent, selon la méthode utilisée, s'écarter de plusieurs ordres de grandeur. L'évaluation des risques fait ainsi l'objet d'interprétations différentes.

De nombreux jugements de valeur sont effectués lors de la construction d'une VTR, que ce soit dans la conduite d'une étude expérimentale (choix de l'animal, du sexe, de l'âge, de la voie et la durée de l'administration, de la longueur de la période d'observation, choix des paramètres à évaluer au cours de l'expérience, etc.) ou dans l'application des facteurs d'incertitude (en nature et en valeurs numériques). Malgré l'accroissement de la cohérence dans les études toxicologiques à l'échelle internationale (liée à l'application des lignes directrices sur les méthodes d'essai ou encore des bonnes pratiques de laboratoire), le jugement suggestif restera toujours une étape incontournable dans la construction des VTR. Devant cet état de fait, il est encore extrêmement difficile de parvenir à un consensus international sur les valeurs numériques des VTR.

Limites méthodologiques des VTR à seuil

Les principales limites sont liées aux incertitudes révélées mais non quantifiables lors :

(i) de la détermination du NOAEL et/ou LOAEL ;

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

(ii) de la fixation des valeurs numériques de chacun des facteurs d'incertitude. L'incidence est majeure sur la fiabilité de la VTR.

NOAEL et LOAEL

Le LOAEL et le NOAEL sont déterminés à partir d'une expérimentation animale grâce à un test statistique qui permet de détecter une différence significative dans les effets induits par une dose testée par rapport au témoin. Le LOAEL est identifié directement à partir du test statistique parmi les doses testées. Le NOAEL est défini comme la dose testée immédiatement inférieure au LOAEL. Dans le test statistique, l'hypothèse nulle posée est l'égalité de réponse entre la dose D_i et le témoin, autrement dit l'absence d'effet pour la dose D_i. On cherche donc la dose D_i pour laquelle cette hypothèse pourra être rejetée avec un risque α de se tromper. α est appelé risque de première espèce ; il est choisi par l'opérateur et correspond à la probabilité de dire que D_i produit un effet alors qu'elle n'en produit pas. Le risque de deuxième espèce β est la probabilité de dire que D_i ne produit pas d'effet alors qu'elle en produit un. Si α est choisi par l'opérateur, en général dans les faibles valeurs ; β résulte du test choisi, de la taille de l'échantillon, de l'hypothèse alternative, du niveau et de la variabilité de la réponse associée à la dose D_i. Qui plus est, plus on veut être sûr de ne pas se tromper en rejetant une hypothèse, plus on a de chance de l'accepter à tort. Autrement dit, β varie dans le sens inverse de α. De ce fait, plus on se fixe un α petit et plus on est sûr que le LOAEL produit un effet, mais plus il est probable que le NOAEL en produise également un. La démarche utilisée nous assure donc que le LOAEL produit un effet, sans qu'il soit quantifié, mais ne nous garantit rien concernant l'innocuité du NOAEL. En fait, l'approche utilisée, issue du domaine pharmacologique, est particulièrement adaptée pour prouver qu'une substance (un médicament par exemple) produit bien un effet positif, mais peu pertinente pour prouver l'absence d'effet.

Enfin, les LOAEL et NOAEL ont été remis en cause ces dernières années par la communauté scientifique en toxicologie pour les raisons suivantes :

- LOAEL et NOAEL font forcément parties des concentrations testées. Ils sont donc très dépendants du protocole expérimental ;
- leur valeur dépend directement de la taille des échantillons. La capacité d'une expérimentation à distinguer un effet entre une dose et le témoin augmente avec la taille des échantillons. Plus les échantillons utilisés sont de faible taille, plus le NOAEL est élevé et, par conséquent, plus le risque que le NOAEL produise un effet (risque de deuxième espèce) est grand ;
- on constate en pratique que plus l'expérience est mal faite, plus le NOAEL est élevé ;
- on ne dispose en aucun cas d'intervalle de confiance pour ces valeurs. On ne dispose pas non plus d'un niveau de précision ou d'un ordre de grandeur pour son incertitude, puisque bien souvent on a perdu trace des valeurs expérimentales qui ont conduit à la détermination du couple LOAEL/NOAEL.

C'est pourquoi les organismes proposent actuellement la BMD comme démarche alternative. Mais cette méthode est actuellement encore peu utilisée et plus complexe.

Une remarque supplémentaire d'importance est que souvent, les études toxicologiques utilisées pour construire les VTR sont anciennes. Elles n'avaient pas pour objectif premier de conduire à la

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

fixation de VTR mais plutôt d'identifier les effets délétères des substances. En outre, dans les anciennes études, les bonnes pratiques de laboratoire n'étaient pas imposée, conduisant parfois à une variabilité plus grande entre diverses études, et les lignes directrices n'étaient pas toujours disponibles, limitant les possibilités d'exploitation correcte des données. Ceci est illustré par certains auteurs qui ont montré que les NOAEL n'étaient que rarement des niveaux de dose sans effet, et que les LOAEL pouvaient atteindre des niveaux de réponse très variés.

Il est donc, par cette méthode, impossible d'avoir une idée de la relation dose-réponse dans son entier. Le NOAEL et le LOAEL restent des estimations approximatives des seuils, fixées avant tout par le protocole expérimental.

Facteurs d'incertitude

L'application de facteurs d'incertitude de 100 à la dose critique fixée (généralement le NOAEL) comporte beaucoup d'incertitude. Il n'est pas possible de la caractériser sans connaître les données toxicocinétiques et toxicodynamiques dans l'espèce étudiée et chez l'homme. Certaines de ces hypothèses restent très fragiles, comme la plus grande sensibilité de l'homme à la substance étudiée, des effets identiques chez la souris et chez l'homme, etc.

En effet, en théorie, le facteur inter individuel de 10 suppose qu'il existe des sous groupes de populations humaines qui sont plus sensibles à la toxicité d'une substance que la population moyenne. Cette variabilité est prise en compte à ce niveau car elle n'a pas été détectée dans les études en raison d'échantillons de petite taille et non représentatif (quand les études proviennent d'expérimentations animales notamment). En pratique, ce facteur a été validé au moyen d'une analyse des relations dose-effet issue d'un nombre important d'expériences de létalité aiguë chez l'animal (DL50), qui a montré que dans 92% des cas, le facteur 10 prenait en compte les individus les plus sensibles dans les expérimentations. Toutefois, l'homogénéité génétique, la stabilité des conditions de vie et l'absence de maladie particulière chez les animaux de laboratoire ne reflètent qu'une très faible variation d'effets d'un individu à l'autre, par rapport à ce qui se passe chez l'homme (hétérogénéité génétique, modes de vie très différents d'une sous population à l'autre, facteurs de risque associés, présence de pathologies particulières, états hormonaux hétérogènes, présence de sous groupes sensibles, etc.). Les études réalisées chez l'homme l'ont été pour les paramètres toxicocinétiques. Elles montrent que le facteur 10 couvrirait 80 à 95 % de la population humaine. D'autres études ont montré que les facteurs de 10 et de 5 couvraient respectivement plus de 99 % ou 95 % de la population adulte saine. Cependant, les différences en termes de mécanisme toxique peuvent également être importantes et ne sont pas prises en compte ici. Ainsi, les variations liées aux différences toxicodynamiques et aux statuts pathologiques variés sont, selon certains auteurs, sous estimées.

Par ailleurs, des études ont estimé la validité du facteur de 3,16 pour les différences toxicocinétiques, en utilisant des données humaines sur la cinétique de certains médicaments métabolisés par le cytochrome P450 1A2. Leurs conclusions étaient que si 99% de la population adulte saine était couverte par ce facteur, il ne s'appliquait pas aux femmes enceintes, aux personnes âgées, aux enfants, ou encore aux patients atteints de maladies hépatiques. Par ailleurs, il était totalement inadapté pour les nouveaux-nés (99 à 100% non couverts), et pour les femmes enceintes à terme (50% non couverts). De même pour les substances métabolisées par le cytochrome P450 2D6, ils précisaient que pour couvrir 95 à 99% des individus métaboliseurs rapides, métaboliseurs lents, des personnes âgées et des enfants, les facteurs variaient respectivement de 2,6 à 4,1, de 15 à 18, de 5 à 8,4 et de 22 à 45.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Finalement, si tous s'accordent à dire que l'âge, le polymorphisme génétique, le genre, les pathologies et le mode de vie influent de manière significative sur la variation des sensibilités d'un individu à l'autre, il n'existe pas de véritable consensus sur la signification de la valeur de 10 appliquée à UFH (certains précisent que la valeur est suffisante, d'autres précisent qu'elle ne convient pas à l'ensemble de la population générale). Par exemple, le KEMI propose l'application d'un facteur UFH de 10 à 16 comme minimum requis pour la construction d'une VTR à seuil, en précisant qu'il ne couvre pas l'ensemble des sous populations identifiées comme à risque.

De même pour le facteur d'incertitude inter espèces, la valeur numérique de 10 n'est pas toujours identifiée comme adéquate pour tenir compte des différences entre l'animal de laboratoire et l'homme. Pour illustrer cela, certains auteurs ont comparé des VTR fondées sur des données humaines disponibles dans la base de données de l'US EPA à des VTR qu'ils ont élaborées, pour les mêmes substances et les mêmes types d'exposition, à partir de données animales. Ils ont montré que seulement 40% des VTR exploitées étaient comparables, que dans 15% des cas, les VTR fondées sur des données humaines étaient inférieures aux VTR fondées sur des études animales (on peut donc sous-estimer le risque), et que dans 45% des cas, les VTR issues d'études humaines étaient supérieures aux VTR issues d'études animales. Cette étude a montré qu'il était donc difficile d'établir une règle généralisable à l'ensemble des substances, et pour tous les cas de figures, et que dans 15% des cas étudiés, il est possible que le facteur UFA de 10 ne soit pas suffisant.

Bien évidemment, si ces valeurs peuvent être utilisées en matière de gestion de risque, pour construire des limites maximales de résidus dans les aliments et éviter l'apparition de pathologies dans la population humaine, dans la majorité des cas, elles n'apportent que peu d'éléments en terme de santé publique et ne permettent pas de fixer des niveaux de risque liés aux expositions environnementales.

Les évolutions actuelles consistent à utiliser le plus souvent des modèles d'extrapolation de l'animal à l'homme, élaborés à partir des données connues de cinétique et de dynamie chez les différentes espèces, et permettant d'ajuster (en les réduisant ou en les augmentant) les facteurs d'incertitude inter espèces, et parfois inter individuels.

Limites des VTR sans seuil

Les principales limites sont liées à l'application des modèles dans le domaine des faibles doses.

En effet, si les modèles utilisés, qu'ils soient statistiques ou mécanistes, ajustent généralement bien les données expérimentales, l'extrapolation dans les faibles doses peut conduire à des résultats différents selon les modèles, sans que l'on puisse situer le vrai niveau de risque. Aussi, ces incertitudes ne sont pas quantifiables et les marges d'erreurs possibles sont rarement connues.

Par ailleurs, l'application des modèles peut parfois être limitée par la pauvreté des données expérimentales.

Enfin, la variabilité inter individuelle humaine, qui est importante, n'est que rarement prise en compte. En effet, la variabilité inter individuelle chez les animaux de laboratoire est généralement prise en compte par l'identification d'un intervalle de confiance sur la relation dose-réponse. Cependant, cette variabilité est faible puisque les animaux sont sains et sont choisis pour être les plus semblables possibles.

Parmi les organismes qui construisent des VTR, l'US-EPA est celui qui a le plus développé et largement appliqué l'approche d'extrapolation aux faibles doses et l'utilisation du modèle LMS.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Pourtant, elle n'a pas été reprise, loin s'en faut, par d'autres organismes qualifiés. L'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) ne construit pas de VTR spécifique pour les effets cancérogènes sans seuil ; ses VTR (MRL pour minimal risk levels) sont destinés à prévenir les risques pour les seuls effets à seuil. Par ailleurs, Santé-Canada fixe des doses ou des concentrations tumorigènes pour une incidence généralement de 5 % dans la population. Les évaluateurs de risque ne veulent pas endosser une extrapolation à des risques plus faibles pour lesquelles les méthodes mises en œuvre actuellement ne permettent pas l'observation. L'interprétation est établie en comparant la dose ou concentration d'exposition avec cette dose ou concentration tumorigène ; la valeur numérique du ratio est interprétée pour apprécier l'importance du risque en santé publique.

Le JECFA a posé une réflexion de même nature en préférant remettre la responsabilité sur le gestionnaire du risque, en stipulant que la finalité est de diminuer autant que faire se peut les doses d'exposition de la population humaine et générale ou de groupes d'individus particulièrement sensibles. Depuis peu, le JECFA a adopté la position de l'EFSA pour la proposition d'une marge d'exposition (MOE) annexée à la dose critique calculée, puisqu'il a proposé cette méthode pour l'évaluation de l'acrylamide.

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Annexe 17 : Concentrations ubiquitaires dans différents « micro-environnements »

Substance	Lieu	Concentration médiane (µg/m^3)	n	Année	Lieu	Référence	Commentaires
NO2	Extérieur	29		2003	France entière	MEDD, 2004	Bilan toutes AASQA
	Logement	27	238	2001	3 villes France	Schadkovski, 2005	Moyenne été et hiver
	Voiture	60	25	Automne 2001	Raleigh, USA	Riediker, 2003	Pas de données françaises représentatives, valeurs américaines
	Bureau	17	29	2001-2002	Lyon et Paris	Ginestet, 2003	Moyenne été et hiver
	Ecole	39	222	2000-2001	Paris	Domsic, 2002	Moyenne été et hiver
PM10	Extérieur	23		2003	France entière	MEDD, 2004	Bilan toutes AASQA
	Logement	31,3	95	2003-2005	France métro	OQAI, 2006	Campagne "Logements"
	Voiture	43	?	hiver 99/00	Londres	Gulliver, 2004	Pas de valeurs françaises, valeurs anglaises
	Bureau	Pas de valeur					
	Ecole	21	2	2002	Détroit, USA	Yip, 2004	Pas de valeurs françaises, valeurs américaines
PM2,5	Extérieur	16		2003	France entière	MEDD, 2004	Bilan toutes AASQA
	Logement	22	37	1998-2000	5 villes France	Gauvin, 2001	
	Voiture	16	?	hiver 99/00	Londres	Gulliver, 2004	Pas de valeurs françaises, valeurs anglaises
	Bureau	26,1	55	Déc-99/Sep-00	Paris	Mosqueron, 2001	
	Ecole	18	387	1999-2000	6 villes France	Annesi, 2005	
Formaldéhyde	Extérieur	1,9	260	2003-2005	France métro	OQAI, 2006	Campagne "Logements"
	Logement	19,6	281	2003-2005	France métro	OQAI, 2006	Campagne "Logements"
	Voiture	21,6	4	2004	Strasbourg	Marchand, 2006	1 voiture : 2 mesures en trafic dense et 2 en fluide
	Bureau	28	419	2001-2004	Allemagne	BGIA, 2005	Pas de valeurs françaises, données allemandes
	Ecole	26	401	1999-2000	6 villes France	Annesi, 2001	Résultats corroborés par (ASPA, 2005)
Benzène	Extérieur	2,4		2003	France entière	MEDD, 2004	Bilan toutes AASQA
	Logement	2,1	62	2001	3 villes France	OQAI, 2002	Campagne pilote de l'OQAI
	Voiture	10,2	11	2000	Hannovre, All.	Ilgen, 2001	Pas de données françaises récentes, valeurs allemandes
	Bureau	3,0	93	2000-2001	Paris	Dusseaux, 2001	
	Ecole	1,9	114	2000-2001	Paris	Domsic, 2002	
Acétaldéhyde	Extérieur	1,3	260	2003-2005	France métro	OQAI, 2006	Campagne "Logements"
	Logement	11,6	281	2003-2005	France métro	OQAI, 2006	Campagne "Logements"
	Voiture	12,8	4	2004	Strasbourg	Marchand, 2006	1 voiture : 2 mesures en trafic dense et 2 en fluide
	Bureau	20	419	2001-2004	Allemagne	BGIA, 2005	Pas de valeurs françaises, données allemandes

	Ecole	8	379	2004-2005	Strasbourg	ASPA, 2005-a	en accord avec OQAI, 2002 : 9,7 dans 9 écoles
Xylènes	Extérieur	3,4	15	fev.-avril 05	Mulhouse	ASPA, 2005-b	
	Logement	4,7	62	2001	3 villes France	OQAI, 2002	Campagne pilote de l'OQAI
	Voiture	23,1	11	2000	Hannovre, All.	Ilgen, 2001	Pas de données françaises représentatives, valeurs allemandes
	Bureau	13,1	93	2000-2001	Paris	Dusseaux, 2001	
	Ecole	11	5	99 puis 03	Dijon/Paris	Atm.B., 2003 et Ribéron, 2000	Valeur plutôt haute, car 11 = max OQAI, 2002
Napthalène	Extérieur	6	?	avant 91	Grenoble	Foster, 1991	
	Logement	4	1	1995	Paris	Kirchner, 1995	Valeur corroborée par INDEX, 2004 (Europe)
	Voiture	5	35	?	Birmingham	Kim, 2001	Pas de valeurs françaises, valeurs anglaises
	Bureau	8	419	2001-2004	Allemagne	BGIA, 2005	Pas de valeurs françaises, données allemandes
	Ecole	Pas de valeur					
Benzo(a)pyrène	Extérieur	0,2	2	avril 2006	Mulhouse	ASPA, 2005-b	
	Logement	0,70	33	avant 91	Etats-Unis	Wilson, 1991	Pas de données françaises, valeurs américaines
! en ng/m^3	Voiture	1,3	29	1998-1999	Gênes	Piccardo, 2004	Pas de données françaises, valeurs italiennes
	Bureau	Pas de valeur					
	Ecole	Pas de valeur					

Sont retenues les données françaises (médianes préférentiellement) les plus récentes et les plus représentatives. A défaut, les valeurs étrangères.

Critères de choix en l'absence de valeurs :

Si pas de données pour un environnement intérieur > prendre valeur logement

Si pas de données intérieur, considérer I=O > prendre valeur extérieure

Note relative au benzène en extérieur : récupérer valeurs après 2000 du fait de la limitation à 1% dans les carburants

© Afsset – SAI FORM 04 – V01

Notes

afsset

agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail
253, avenue du Général Leclerc
94701 Maisons-Alfort Cedex
Tél. +33 1 56 29 19 30
afsset@afsset.fr

www.afsset.fr

ISBN 978-2-11-096713-8

© Afsset, direction de la communication Avril 2007
Création : www.yin.fr Crédit photos : Getty Images