

ENSP

ÉCOLE NATIONALE DE
LA SANTÉ PUBLIQUE

RENNES

Ingénieur du Génie Sanitaire

Promotion : 2002 - 2003

**BILAN DES DONNEES DISPONIBLES ET PROPOSITION
POUR EVALUER LE RISQUE DANS DES ZONES DE
FORTES EMISSIONS DE COMPOSES ORGANIQUES
VOLATILS (COV)**

Présenté par :

Lionel PETIT

Ingénieur INSA-Rennes

Lieu de stage :

CIRE Rhône - Alpes - Auvergne

Accompagnant professionnel :

Bruno Fabres

Référent Pédagogique :

Philippe Glorennec

R e m e r c i e m e n t s

Un grand merci à Mr.FABRES qui a grandement contribué à l'aboutissement de ce mémoire par sa disponibilité et sa clairvoyance.

Merci à Mr.GLORENNEC pour ses précieux conseils.

Merci à Mme LOCOGE pour son appui technique.

Merci aux personnels de la CIREI Rhône-Alpes-Auvergne et du service Santé-Environnement de la DRASS Rhône-Alpes pour leur accueil.

A b s t r a c t

Evaluation of the available informations and proposition to assess the risk in zones where emissions of Volatile Organic Compounds are high.

The province of Rhône-Alpes has the feature to get together zones with high density of industrial areas (petrochemistry and chemistry especially), traffic and population on relatively limited spaces. These three factors raise the question of the health's impact of emissions of Volatile Organic Compounds (VOC) on concerned populations. Some of these compounds are indeed toxic for humans.

In a such situation, carrying out an Health Impact Assessment (HIA) is an appropriate way of taking action.

This document presents and develops the required tools for implementing Health Impact Assessment on Rhône-Alpes' zones of interest.

The employed process is based on the four classic steps of risk's assessment : hazard identification, dose response, exposure assessment and risk characterization. One other joins with other and consists in describing VOC's emissions and defining zones of interest.

It turns out that all study's steps include high levels of uncertainty which can have significant influence on the final result. The kind of pollution itself explains this level of uncertainty.

To make a study on all Rhône-Alpes' zones of interest is a doubtful issue, seeing the requirements. However, to define the future actions in this way, it's advised to carry out a complete study on a characteristic zone of interest.

Mots-clés : VOC, risk's assessment, methodology, exposure, emissions' characterization

Sommaire

INTRODUCTION.....	1
1- CONTEXTE.....	3
1.1 LES COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS : DÉFINITIONS ET PROPRIÉTÉS	3
1-1-1) Définitions.....	3
1-1-2) Les COV, précurseurs de la pollution photochimique.....	3
1-2) TOXICITÉ DES COV.....	3
1-2-1) Toxicité primaire [1] [5].....	3
1-2-2) Les effets indirects.....	4
1-3) ÉMISSIONS DE COVNM : SITUATION EN RHÔNE-ALPES	5
1-4) LA LÉGISLATION FRANÇAISE ET EUROPÉENNE CONCERNANT LES COVNM	6
1-4-1) Les sources mobiles et les carburants.....	6
1-4-2) Les sources fixes.....	6
1-5) UN ENJEU : PROPOSER UNE RÉPONSE AUX PRÉOCCUPATIONS DES ACTEURS LOCAUX DE SANTÉ PUBLIQUE... 7	
1-5-1) Rhône-Alpes, une région au carrefour de l'Europe : caractéristiques populationnelles et économiques.....	7
1-5-2) Gérer le risque.....	8
1-5-3) Une problématique qui se généralise en France.....	8
1-5-4) l'Etude d'Impact Sanitaire, un outil méthodologique prôné par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et le Haut Comité de Santé Publique (HCSP).....	9
2- OBJECTIF ET DÉMARCHE.....	9
3- OUTILS MÉTHODOLOGIQUES NÉCESSAIRES À L'ÉLABORATION D'UNE EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE DANS DES ZONES DE FORTES ÉMISSIONS DE COVNM.	10
3-1) CARACTÉRISATION DES ÉMETTEURS ET IDENTIFICATION À PRIORI DES ZONES SUPPOSÉES ÉMETTRICES	10
3-1-1) Caractérisation des sources de COVNM de l'espace urbain [19].....	10
3-1-2) Identification des zones supposées émettrices dans la région Rhône-Alpes.....	15
3-2) IDENTIFICATION DES DANGERS.....	20
3-2-1) Voies d'exposition.....	20
3-2-2) Type d'effets adverses.....	20
3-2-3) Pertinence de choix d'un indicateur de la présence de COVNM	21
3-2-4) Critères de choix des traceurs de risque.....	23
3-2-5) Application : sélection des traceurs de risque sur la zone recouvrant le sud de l'agglomération lyonnaise (Feyzin, Pierre-Bénite, Saint-Fons, Vénissieux).....	24
3-2-6) Cas des mélanges de polluants : état des lieux et perspective d'application à notre cas d'étude	27
3-3) DÉFINITION DES VALEURS TOXICOLOGIQUES DE RÉFÉRENCE (VTR).....	28
3-4) EVALUATION DES EXPOSITIONS.....	29
3-4-1) Métrologie et modélisation : deux outils pour quantifier l'exposition	30
3-4-2) Quantification des personnes exposées.....	38
3-5) CARACTÉRISATION DU RISQUE.....	42
3-5-1) Effets chroniques à seuil	42
3-5-2) Effets cancérogènes	42
3-5-3) interprétation des résultats.....	42
4-) DISCUSSION	43
4-1) IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES ZONES SUPPOSÉES ÉMETTRICES	43
4-2) IDENTIFICATION DES DANGERS ET CHOIX DES VTR.....	43
4-3) EVALUATION DES EXPOSITIONS.....	44
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	46
BIBLIOGRAPHIE.....	47
ANNEXES	51

INTRODUCTION

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 définit la pollution atmosphérique comme « ...l'introduction par l'homme, directement ou indirectement dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives ».

Les phénomènes de pollution atmosphérique présentent donc de multiples facettes et constituent en ce sens une préoccupation sociale de premier rang en matière de santé environnementale.

L'émission dans l'atmosphère de polluants gazeux ou particuliers peut être d'origine naturelle ou anthropique. Sur ce dernier point, la pollution est principalement concentrée dans des zones urbanisées ou périurbaines, autour d'émetteurs dits fixes (activités socio-économiques, zones résidentielles) et autour des axes de circulation routière. Ceci occasionne l'exposition d'importantes populations et c'est par ce caractère que la pollution atmosphérique est un souci de santé publique.

La région Rhône-Alpes présente la particularité de rassembler, sur des espaces relativement restreints (quelques km²), des zones de fortes densités industrielles (pétrochimie et chimie notamment), de trafic et de population. Cette promiscuité soulève la question de l'impact sanitaire des rejets émis par ces sources pour les populations concernées. La problématique s'articule plus particulièrement autour d'une famille de substances chimiques : les composés organiques volatils, dits COV. Face à une telle situation, la réalisation d'une évaluation de l'impact sanitaire (EIS) constitue en première approche un outil opérationnel de gestion du risque. Le travail se base sur une entité géographique originale : une zone supposée émissive et densément peuplée. Du point de vue décisionnel, cette approche présente l'avantage de pouvoir relativiser, à cette échelle, la place de chaque émetteur (ou type d'émetteur) dans un ensemble.

Les COV dans l'air ambiant extérieur souffrent d'un manque de recul scientifique en terme de santé publique et quelques questions émergent en préambule au développement de cette méthode : Qu'entend-on par COV ? Qu'en sait-on effectivement en terme de santé publique ? Qu'en est-il de leurs émissions ? Qu'en est-il encore de l'évaluation de l'exposition à de telles substances (métrologie, modélisation) ?...

Le benzène est sans doute le COV le plus connu et le plus réglementé. Il fait de plus en plus l'objet de surveillance par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air avec le développement des analyseurs BTX (Benzène-Toluène-Xylènes). Cependant, plusieurs autres COV sont eux aussi avérés dangereux voire très dangereux (butadiène, formaldéhyde, chlorure de vinyle notamment) et leur ubiquité dans l'air ambiant extérieur souligne la nécessité d'agir. Aux côtés d'indicateurs « classiques » (acido-particulaires et photo-oxydants) de la pollution atmosphérique, quelques-uns sont d'ailleurs considérés comme polluants atmosphériques majeurs par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Le présent travail s'attache à délivrer et développer tous les outils nécessaires à l'élaboration de la méthodologie de l'évaluation des risques sanitaires sur des zones d'étude de la région Rhône-Alpes combinant d'importantes émissions en COV et une forte densité de population.

Nous nous attacherons tout d'abord à définir le contexte global dans lequel s'établit la problématique afin de définir les grandes lignes dans lesquelles s'inscrit le travail.

1- CONTEXTE

1.1 LES COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS : DEFINITIONS ET PROPRIETES

1-1-1) Définitions

Il existe certaines hétérogénéités voire ambiguïtés quant à une définition exacte des Composés Organiques Volatils (COV en français, VOC en anglais). Celle-ci repose à la fois sur un critère physique (la tension de vapeur) et des critères chimiques (formule chimique) [1].

Un arrêté ministériel du 1^{er} mars 1993, relatif aux établissements classés pour la protection de l'environnement (ICPE), considère comme COV tout composé qui, à l'exclusion du méthane, contient du carbone et de l'hydrogène, lequel peut être substitué par d'autres atomes comme les halogènes, l'oxygène, le soufre, l'azote ou le phosphore, à l'exception des oxydes de carbone et des carbonates. Ces composés se trouvent à l'état de gaz ou de vapeur dans les conditions normales de température et de pression (soit 20°C et 10⁵ Pa).

L'annexe 1 étaye cette définition.

Il est tout de même à noter que le méthane, non toxique et pratiquement inerte du point de vue photochimique, n'est pas comptabilisé dans les COV. On parle alors maintenant de Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM ou NMVOC en anglais).

1-1-2) Les COV, précurseurs de la pollution photochimique

Parallèlement à leur action directe sur l'homme, les COV engendrent, par réaction dans la troposphère avec les radicaux libres, d'autres polluants dits secondaires [2].

En simplifiant à outrance le mécanisme réactionnel complexe auquel participe les COV dans l'atmosphère, on peut dire qu'ils favorisent l'augmentation de la concentration d'ozone dans la basse atmosphère, appelée troposphère. Ainsi, le concept de composés organiques volatils est apparu en physico-chimie de la troposphère dans le cadre des recherches sur la formation de l'ozone et des photo oxydants, dans des zones contaminées par des rejets anthropiques en particulier des imbrûlés de combustion [1]. Originellement, cette notion de COV est donc liée à leur réactivité chimique en phase gazeuse homogène et à la malignité des composés secondaires qui en sont issus (ozone, nitrate de peroxyacétyle (PAN), ...). C'est d'ailleurs sur cette base que s'axent nombre de sujets de recherches et que sont réalisés les inventaires d'émission de COV publiés notamment par le CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etude de la Pollution Atmosphérique) [3] [4]. Toujours sur ce thème, une campagne de mesure de 31 COV précurseurs d'ozone est menée actuellement par quelques réseaux de mesure de la qualité de l'air.

1-2) TOXICITE DES COV

1-2-1) Toxicité primaire [1] [5].

L'impact des Composés Organiques Volatils sur l'Homme (et l'Environnement) est un sujet complexe et encore très mal connu. En effet, à ce jour, peu de travaux de recherche se sont focalisés sur ces interactions multiparamètres. Quelques données sanitaires sont relevées sur le tableau 1.

Les COV représentent un réel problème en raison de l'augmentation des émissions dues au trafic routier et à leur utilisation en milieu industriel mais aussi domestique. Ils s'avèrent être responsables de différents troubles dont les fréquences et délais d'apparition varient en fonction de la durée de l'exposition, du type de polluant, de la sensibilité du sujet et de nombreux facteurs plus ou moins identifiés. Les effets des COV sont par conséquent très

divers : ils vont de la simple gêne olfactive à une irritation des voies respiratoires, à une diminution de la capacité respiratoire jusqu'à des risques d'effets mutagènes et cancérigènes. Les effets adverses résultant d'une exposition aux COV, quelque soit le type d'effet (aiguë, subaiguë, chronique) sont présentés succinctement en annexe 2.

composé	volatilité	Pénétration cutanée	Pouvoir irritant	pouvoir d'ébriété-narcotique	toxicité spécifique
acétate d'éthyle	+++	+	++	+	-
acétone	+++	+	+	++	
benzène	+++	++	+	++	moelle osseuse cancérigène
dichlorométhane	+++	+	+++	++	intoxication par le CO
éther de glycol à chaîne courte	+	++	+	+	moelle osseuse testicule tératogène
éthylène glycol	+	0	++	+	rein (en toxicité aiguë)
n-hexane	++	++	+	++	nerf périphérique
isopropanol	++	0	+	++	-
méthanol	++	++	+	+	nerf optique (en toxicité aiguë)
méthyl butyl cétone (MBK)	+	+	+	++	nerfs périphériques
méthyl isobutyl cétone (MIBK)	+	+	+	++	
perchloréthylène	++	+	++	+	cancérigène? (cancer du foie)
styrène	+++	++	++	++	moelle osseuse foie cancerogène?
tétrahydrofurane	+++	++	+++	+	foie nerfs
toluène	++	+	+	++	système nerveux central tératogène?
trichloroéthylène	++	++	++	++	cœur cancérigène
xylène	+	++	+	++	foetotoxique

Tableau 1 : caractéristiques toxicologiques de quelques solvants (d'après Le Cloirec, 1998)

1-2-2) Les effets indirects.

1-2-2-1) Transfert vers les milieux aquatiques [1]

Le transfert de COV dans l'air vers les milieux aquatiques pose quelques problèmes. En effet, la production d'eau potable peut être altérée par la présence de solvants dans les eaux souterraines ou de surface. Ainsi, six COV sont classés sur la liste I de la Communauté Européenne : le chloroforme, le tétrachlorure de carbone, le 1,2-dichloroéthane, le trichloroéthylène, le perchloréthylène et le trichlorobenzène. Ces COV absorbés dans l'eau, en faible quantité, peuvent être transférés dans l'air via des procédés tels que l'aération de l'eau (stripping), ou par adsorption sur du charbon actif. Les COV peuvent être adsorbés sur différents solides (argiles, limons...) et réapparaître par désorption lente de manière chronique dans le milieu naturel.

1-2-2-2) Toxicité des produits de la photochimie

Parmi les principaux constituants de la pollution photochimique, l'ozone fait bien évidemment figure de proue, puisqu'il est pris comme indicateur majeur de la pollution photochimique. L'ozone est un gaz oxydant puissant dont les effets néfastes sur l'organisme humain sont reconnus et font l'objet de nombreux travaux.

La production d'ozone s'accompagne d'autres espèces chimiques aux propriétés acides ou oxydantes. Parmi celles-ci se distinguent les aldéhydes et les composés organiques nitrés aux conséquences sanitaires importantes. Les aldéhydes ont un rôle très particulier dans la physico-chimie de l'atmosphère puisque, outre le fait d'être produits de la première étape d'oxydation des COV, ils constituent une source additionnel de radicaux et sont donc précurseurs de photooxydants [1]. Ces composés sont des irritants de la peau, des muqueuses (yeux, nez, gorge) et de l'arbre respiratoire. Parmi ceux-ci, le formaldéhyde est classé parmi

les produits cancérigènes probables pour l'homme – groupe 2A – selon le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC 1995) [6]. Le nitrate de peroxyacétyl (ou P.A.N.) fut le premier composé hautement redoutable détecté dans l'atmosphère alors qu'il n'avait pas été émis. Cependant, à 25-30°C, la durée de vie de ce composé est de l'ordre de l'heure.

1-3) EMISSIONS DE COVNM : SITUATION EN RHONE-ALPES

La situation au niveau régionale est déclinée principalement à l'aide de deux sources documentaires : le bilan de l'environnement industriel en Rhône-Alpes publié par la DRIRE [7] et le Plan Régional pour la Qualité de l'Air (PRQA) [8], outil d'information, de concertation et d'orientation sur la qualité de l'air. Le PRQA de la région Rhône-Alpes a été adopté par le préfet le 1^{er} février 2001.

L'inventaire établi dans le cadre du PRQA a été réalisé par le CITEPA et porte sur l'année 1994. Il révèle que, toutes sources confondues, les émissions de COVNM ont été estimées à 252600 tonnes, soit 9 % des émissions nationales. Par rapport aux autres régions françaises, ce niveau d'émission classe la région Rhône-Alpes en deuxième position, derrière la région Ile-de-France.

En terme de répartition sectorielle, les sources fixes participent aux émissions régionales à hauteur de 131400 tonnes, soit dans un rapport de 50 %. Dans ce créneau, l'industrie monopolise la moitié des rejets atmosphériques de COVNM avec 65644 t. Quatre secteurs industriels se distinguent d'ailleurs pour leurs émissions significatives. Il s'agit du bâtiment, à hauteur de 9 % des émissions régionales, de l'imprimerie (7 %), de la chimie (6,5 %) et de la distribution de l'énergie (6 %). Les secteurs « résidentiel » et « agricole » complètent les émissions régionales des sources fixes avec respectivement 34511 t et 31322 t.

L'autre moitié des émissions est imputable aux sources mobiles dont la circulation routière est la principale composante. Elle est en effet responsable de 98,4 % des émissions dues aux différents modes de transport (routier, aérien, ferroviaire et fluvial).

La figure 3 donne la répartition des émissions régionales par secteurs d'activité.

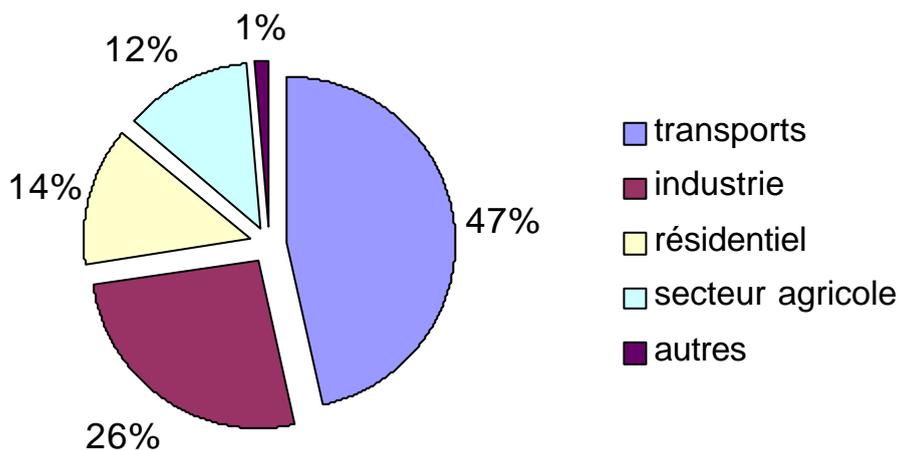


Figure 1 : répartition des émissions régionales de COVNM par secteurs d'activités

Un état des lieux de la situation à l'échelle nationale et de ses évolutions est présenté en annexe 3.

1-4) LA LÉGISLATION FRANÇAISE ET EUROPÉENNE CONCERNANT LES COVNM

La France a développé des actions en terme de réduction des émissions de COVNM à partir de 1985, date à partir de laquelle fut clairement mise en évidence la responsabilité des COVNM dans la formation d'ozone troposphérique. Dans ce contexte, la France étendit son action au niveau international et signa, en 1991, le Protocole de Genève sur la limitation des émissions de COVNM et leurs flux transfrontalières. Le Protocole donne une place importante à la recherche et à la surveillance afin de mettre au point les normes nationales ou internationales. Les actions à entreprendre rejoignent quatre axes principaux qui ont déterminé les priorités d'actions au niveau national : la composition des produits, les sources mobiles, les sources fixes et la surveillance des émissions.

1-4-1) Les sources mobiles et les carburants

Depuis trente ans, des normes ont été introduites, puis rendues toujours plus sévères, dans trois domaines qui concourent aux émissions de COVNM du transport routier [9] :

- Les rejets à l'échappement des véhicules
- L'évaporation du carburant des véhicules
- La composition des carburants

Mis en place en 1992 par la Commission Européenne, le programme "Auto-Oil" avait comme objectif d'évaluer l'impact sur la qualité de l'air en 2010, dans plusieurs villes européennes (dont Lyon), de différentes mesures portant à la fois sur la technologie des véhicules, la qualité des carburants, l'inspection et la maintenance des véhicules en service, le démarrage à froid. Sa mise en œuvre s'est traduite par deux directives importantes qui ont été transposées en droit français. L'une est relative aux véhicules et l'autre aux carburants :

- La directive 98/69/CE du 13 octobre 1998 concernant les mesures à prendre contre la pollution de l'air par les émissions des véhicules à moteurs, fixant deux nouvelles étapes de réduction des valeurs limites applicables en 2000-2001 d'une part ("EURO 3" – réduction de 15 à 40% selon le polluant et le type de motorisation) et 2005-2006 d'autre part ("EURO 4"-réduction de 50 à 70%).
- La directive 98/70/CE du 13 octobre 1998 qui réglemente la composition de l'essence et des carburants diesel. Elle fixe notamment à 1% la teneur en benzène dans l'essence (au lieu de 5% auparavant) [10].

1-4-2-2) Les sources fixes

L'action entreprise dans le domaine des sources fixes est menée au travers de la réglementation sur les installations classées pour la protection de l'environnement (loi 76-663 du 19 juillet 1976 et son décret d'application n° 77-1133 du 21 septembre 1977). Cette réglementation impose des valeurs limites ou des objectifs de réduction aux installations susceptibles de générer des nuisances ou des risques pour l'environnement.

Jusqu'à ces dernières années, les différentes actions réglementaires menées étaient spécifiques d'une activité industrielle et donc d'un type de pollution.

- L'arrêté du 02 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation

L'arrêté ministériel du 1^{er} mars 1993 puis celui du 02 février 1998, qui s'y est substitué, ont fixé au plan national des règles minimales en matière de pollution des eaux et de l'air, applicables à l'ensemble des ICPE nouvelles soumises à autorisation. Ils sont le reflet de

l'approche intégrée recommandée par les instances internationales pour assurer la protection de l'environnement.

En matière de réduction des COV, la Commission Européenne a élaboré un certain nombre de directives qui s'intègrent dans la stratégie globale d'amélioration de la qualité de l'air et sont en accord avec les objectifs du protocole de Genève. Parmi celles-ci, citons notamment :

- directive n° 2001/81/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23/10/01 fixant les plafonds d'émission nationaux pour certains polluants atmosphériques. Concernant les émissions de COVNM, le plafond fixé par la directive est de 1050 kt à l'horizon 2010.
- Directive du Conseil n° 1999/13/CE du 11/03/99 relative à la réduction des émissions de COVNM dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations.

➤ Incitations financières

La principale mesure économique instituée en France est la taxe parafiscale sur la pollution atmosphérique (Taxe Générale sur les Activités Polluantes). La TGAP assujettit notamment les ICPE soumises à autorisation dont les émissions en COVNM dépassent 150 t/an [11].

1-5) UN ENJEU : PROPOSER UNE RÉPONSE AUX PRÉOCCUPATIONS DES ACTEURS LOCAUX DE SANTÉ PUBLIQUE

1-5-1) Rhône-Alpes, une région au carrefour de l'Europe : caractéristiques populationnelles et économiques

La région Rhône-Alpes compte, en 1999, 5 645 000 habitants, ce qui la situe au deuxième rang des 22 régions de métropoles, avec 9,6 % de la région métropolitaine [12]. Les deux tiers de cette population sont regroupés sur 10 % du territoire régional compte tenu de son caractère montagneux. Ainsi, les trois unités urbaines de plus de 250 000 habitants que sont Lyon, Grenoble et Saint-Etienne rassemblent à elles seules 37 % de la population sur seulement 3,1 % du territoire régional.

Moteur historique du développement économique de Rhône-Alpes, l'industrie demeure une composante essentielle de l'activité économique de la deuxième région industrielle de France. Elle est caractérisée par des spécialités sectorielles fortes, une disparité géographique importante (la moitié de l'activité industrielle régionale est concentrée autour des trois pôles que sont Lyon, Grenoble et Saint-Etienne) et un réseau très dense de PMI (ainsi, 80 % des emplois sont le fait d'établissements de moins de 500 personnes).

Il n'est donc pas surprenant de constater que près de 12 % des sites SEVESO sont implantés en Rhône-Alpes de même qu'environ 400 sites potentiellement pollués y sont recensés. Le nombre d'Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) avoisine les 10 % du total national : 60000 ICPE relevant du régime de simple déclaration et environ 6000 soumises à autorisation et un flux de 200 nouveaux projets industriels par an faisant l'objet d'une enquête publique [7].

A titre de remarque, il convient de signaler la prépondérance des voies de communication en Rhône-Alpes. En effet, les activités économiques et touristiques induisent d'importants déplacements de personnes et de trafics de marchandises. En outre, compte tenu de sa position géographique au sein de l'Europe, la région constitue un carrefour important du trafic de transit à travers la France.

1-5-2) Gérer le risque

La région Rhône-Alpes est ainsi fortement caractérisée par la concentration d'activités industrielles et de réseaux routiers aux flux soutenus sur des zones densément peuplées. Cette constatation a menée la DDASS du Rhône à poser la problématique suivante : Quelles peuvent être les conséquences pour la santé de telles interactions industrie-traffic-population ou, plus strictement, quel est l'impact sanitaire des émissions de Composés Organiques Volatils de fortes densités populationnelles, industrielles et de trafic ?

Ceci pose aussi le problème de la gestion du risque lié aux rejets à l'atmosphère de substances polluantes sur de telles zones. En effet, l'unité géographique de l'étude est une zone de concentration humaine, industrielle et de trafic. Ceci s'inscrit dans une démarche novatrice et pose le problème de la maîtrise de la contribution de chaque émetteur dans un ensemble, ce qui est absent de la réglementation. A cette échelle et dans une optique de diminution de l'exposition de la population, il s'agit donc d'avoir des moyens décisionnels pour limiter les émissions en provenance du trafic automobile et de l'industrie selon leur contribution respective.

1-5-3) Une problématique qui se généralise en France

Plusieurs acteurs locaux de Santé Publique s'intéressent à ce problème si caractéristique de l'impact sanitaire du dégagement de polluants organiques dans l'atmosphère dans des zones industrialisées. Ainsi, la Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales (DRASS) de Haute-Normandie, la Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie et d'Intervention (CIREI) de Provence Côte d'Azur et l'Observatoire Régional de Santé (ORS) de Nord-Pas-de-Calais mènent actuellement des études sur ce thème. Ces zones sont caractérisées par la présence de raffineries et d'industries pétrochimiques, remarquables par leurs émissions de COVNM et notamment de benzène, COV avéré très dangereux et désormais réglementé. C'est sur ce polluant que se focalisent ces études.

La DRASS de Haute-Normandie, en collaboration avec l'Institut National de l'Environnement et des Risques (INERIS), travaille actuellement sur la définition des zones supposées à risque pour la population locale. La CIREI Provence Côte d'Azur est quant à elle en possession d'un document de travail élaboré par AIRFOBEP qui évalue l'exposition de la population locale à la pollution de fond en benzène [13].

De surcroît, cette problématique s'inscrit dans un cadre institutionnel plus global puisqu'elle s'insère complètement dans les objectifs et grands axes de travail préconisés par la Direction Générale de la Santé (DGS) dans son récent rapport "air et santé" [14]. Parmi ces objectifs, citons notamment la limitation à court terme des pollutions industrielles (le cas de la Vallée du Rhône apparaît) et le développement à moyen et long terme d'une approche globale par mélanges complexes de pollution d'origine anthropique, thème dans lequel s'insère bien évidemment les COVNM.

Elle trouve aussi sa place dans les recommandations émanant du Haut Comité de la Santé publique (HCSP) pour améliorer les politiques publiques relatives à la pollution atmosphérique [6] et s'inscrit ainsi dans des volontés de :

- Poursuivre l'effort de réduction des sources d'émissions de polluants, notamment en ce qui concerne les émissions des sources extérieures fixes et des sources mobiles.
- Optimiser la surveillance de la qualité de l'air en vue de l'évaluation des risques, en développant notamment la surveillance de nouveaux polluants par des moyens accrus sur le plan de l'échantillonnage et des techniques de mesurage et en

optimisant l'utilisation de données de surveillance pour estimer l'exposition des populations.

1-5-4) l'Etude d'Impact Sanitaire, un outil méthodologique prôné par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et le Haut Comité de Santé Publique (HCSP).

En parallèle à la surveillance épidémiologique qui est définie comme “un processus continu et systématique de collecte, d'analyse et d'interprétation de données épidémiologiques”, l'Evaluation d'Impact Sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique constitue un outil opérationnel de gestion du risque par sa transparence et la reproductibilité de la démarche.

La démarche de quantification de l'impact sanitaire présente également un intérêt pédagogique. En appliquant au niveau local les acquis scientifiques récents, elle contribue à l'appropriation de ces notions par le public et les décideurs locaux.

La méthode d'évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine a fait l'objet d'un guide méthodologique publié par l'Institut de Veille Sanitaire (Glenn et al., 1999) [15]. Il a été réactualisé en 2003 [16]. En accord avec les recommandations du groupe de travail de l'OMS [17], le principe général à appliquer à chaque étape de la démarche employée est de conserver la plus grande adéquation possible entre les caractéristiques de l'EIS à réaliser – population concernée, définition de l'indicateur sanitaire utilisée, construction de l'indicateur d'exposition – et celles des études épidémiologiques ayant produit les fonctions exposition/risque.

La démarche promulguée par ces guides ne se prête pas à notre cas d'étude. En effet, il s'agit ici d'évaluer le risque inhérent à une exposition de la population à des concentrations de COVNM dans l'air ambiant (“bruit de fond”) dans des zones où les émissions atmosphériques de ce type de composés sont supposées importantes. Dans le contexte de l'EIS, cette approche par zone est originale puisqu'elle ne se restreint pas forcément à l'agglomération. Au sujet des COVNM, les données nécessaires à la faisabilité locale de l'EIS sont insuffisantes, contrairement à celles concernant les indicateurs “classiques” types acido-particulaires et photo-oxydants. Ainsi, les données de surveillance de la qualité de l'air, éléments de base pour réaliser l'EIS, ne sont que parcellaires. A ce jour, les mesures de COVNM en routine débutent sous l'égide des réseaux de surveillance de la qualité de l'air. Il existe en effet quelques stations de mesures de BTX (Benzène – Toluène – Xylène) mais ces mesures ne sont pas représentatives d'une pollution de fond, élément nécessaire afin d'approcher au mieux l'exposition ambiante de la population.

En outre, nous ne disposons pas d'indicateurs de santé pour lesquelles il existe des relations exposition/risque pour les COVNM.

En définitive, il apparaît clairement que le recul scientifique n'est aujourd'hui pas assez important pour appliquer la démarche préconisée de l'EIS à notre étude. En revanche, il semble important de rassembler les éléments nécessaires pour mettre en pratique la démarche classique d'Evaluation des Risques Sanitaires sur de telles zones.

2- OBJECTIF ET DÉMARCHE

Pour appréhender la complexité de la problématique “COV”, tant du point de vue de la caractérisation des émissions, des dangers associés et de l'exposition des populations, cette étude se fixe comme objectif de fournir des outils méthodologiques nécessaires à la réalisation d'une Evaluation du Risque Sanitaire sur des zones de population supposées caractéristiques pour leurs fortes émissions en COVNM.

La finalité de l'étude est, en balayant le spectre des options possibles, de proposer une méthode adaptée à la situation locale pour établir une Evaluation des Risques Sanitaires sur une zone caractéristique de la région Rhône-Alpes.

La démarche employée s'appuie sur les 4 étapes classiques de l'ERS [18] – identification des dangers, choix de la valeur toxicologique de référence, évaluation des expositions, caractérisation du risque – auxquelles viendra s'adjoindre dans notre étude une étape d'investigation préliminaire s'attachant à définir les zones d'étude et à en caractériser les émissions en COVNM. Pour chacune des étapes précitées, la démarche employée consiste à donner un état des lieux des connaissances, à présenter les résultats importants, à établir les propositions d'actions quant à la réalisation d'une ERS et à préciser les limites de l'étude.

3- OUTILS MÉTHODOLOGIQUES NÉCESSAIRES À L'ÉLABORATION D'UNE ÉVALUATION DU RISQUE SANITAIRE DANS DES ZONES DE FORTES ÉMISSIONS DE COVNM.

3-1) CARACTÉRISATION DES ÉMETTEURS ET IDENTIFICATION À *PRIORI* DES ZONES SUPPOSÉES ÉMETTRICES

Cette section comporte deux parties distinctes : la première consiste à effectuer un état des lieux des connaissances en matière d'émissions de COVNM (sources, méthodes d'évaluation). Les critères de choix de ces zones, leur sélection et leur définition ainsi que le bilan des émissions connues feront l'objet de la seconde partie de cette section.

Il s'agit d'une étape primordiale qui repose sur la collecte de données tant qualitatives que quantitatives. Elle s'avère indispensable pour cibler les zones de population caractérisées par les émissions de COVNM dans la région Rhône-Alpes. En effet, la nature et la concentration d'un polluant primaire dans l'air ambiant sont deux indicateurs potentiels des sources d'émission présentes. L'abondance d'un composé est dans une certaine mesure liée à la présence et à la densité de ses sources sur le domaine d'étude

3-1-1) Caractérisation des sources de COVNM de l'espace urbain [19]

3-1-1-1) caractérisation des sources de COVNM : les inventaires

Une variété d'influences intervenant à différentes échelles d'espace et de temps s'exercent sur les niveaux et la composition des émissions de COVNM. Ces influences sont apparues comme autant de paramètres à prendre en compte pour une caractérisation complète des sources. Il semble donc intéressant d'apprécier dans quelle mesure les inventaires d'émission, méthode de caractérisation des sources de polluant, intègrent ces paramètres.

Un inventaire des émissions de polluants atmosphériques est un ensemble de données d'émission concernant : (a) un choix de polluants, une aire géographique, une période de référence, (b) des sources d'émission, (c) des données relatives aux sources : type d'activité, grandeur de l'activité, données techniques (flux d'émission), distribution spatio-temporelle des émissions (Bouscaren, 1989). La méthodologie européenne d'inventaire se nomme CORINAIR. Elle est largement adoptée par les pays membres de l'Union Européenne. Ses étapes sont schématisées sur la figure 2.

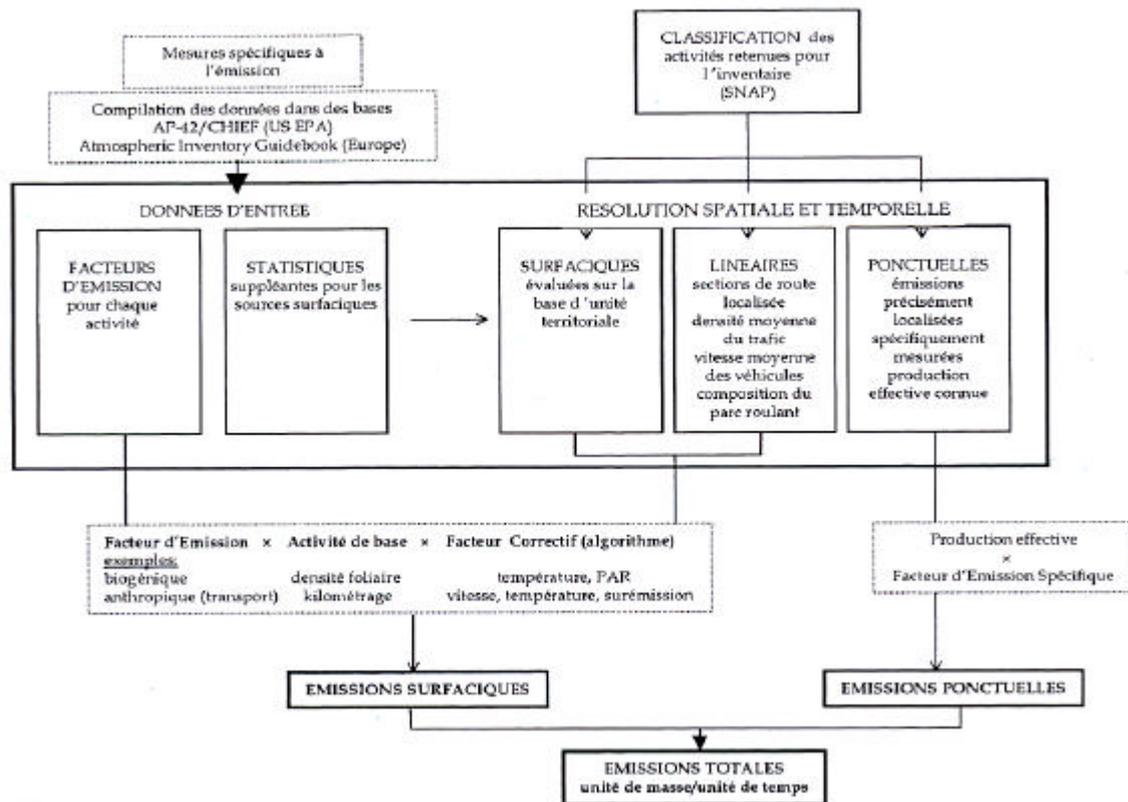


Figure 2 : schéma simplifié des méthodologies d'inventaire (d'après Borbon, 2002)

Les principales caractéristiques de cette méthodologie sont présentés en annexe 4.

L'outil de base de l'inventaire est le facteur d'émission. Il relie l'émission d'un polluant donné à la grandeur de l'activité générant l'émission. Par exemple, les émissions de COVNM à l'échappement automobile sont exprimés en masse de COVNM émis par kilomètre parcouru. Les facteurs d'émission sont souvent dérivés de mesures directes à la source. L'origine des facteurs d'émission est très diverse et les conditions de détermination ne sont pas toujours connues. Se pose donc la question de leur transposition d'une situation à une autre et notamment à l'échelle locale.

Finalement, les facteurs d'émission, les comptages des sources et l'activité des sources sont intégrés au calcul final des émissions selon la formule :

$$E_{i,\Delta t} = \sum_t \sum_i N_S F_{S,t} \Phi_{S,i,t}$$

Où $E_{i,\Delta t}$ est le taux d'émission de l'espèce i dans l'intervalle de temps Δt sur l'aire d'étude, N_S est le nombre de sources de type S sur l'aire d'étude, $F_{S,t}$ est l'échelle de temps de l'intervention de la source S , $\Phi_{S,i,t}$ est le flux de l'espèce i à l'instant t de la source S ou facteur d'émission.

Derrière cette dernière expression d'apparence simple se cache un exercice complexe car la grande variété des sources, les facteurs contrôlant ces sources et les profils décrivant leur composition sont autant d'aspects à prendre en compte. Faute de données dans certains secteurs, l'exercice est souvent incomplet. Rares sont ceux qui renseignent sur les variations temporelles des sources et sur la spéciation des émissions. Le manque d'information est réel pour les sources anthropiques tant à l'échelle globale que locale et l'exercice devient d'autant plus délicat que le domaine d'étude se réduit.

Par ailleurs, la précision de l'inventaire apparaît comme fortement dépendante de la qualité des données d'entrée. Les incertitudes sont mal connues et généralement non définies. Bouscaren (1998) parle de marge d'incertitude comprise entre 30 et 50% pour le trafic automobile et les solvants à l'échelon national français. Localement, les erreurs peuvent être nettement plus importantes (300 à 400% d'erreurs sur certaines valeurs comme les émissions domestiques et celles de certaines PME/PMI [communication avec Mr Wroblewski, Ecole des Mines]).

Compte tenu de ces limitations, d'autres méthodes ont été appréhendées dont notamment les approches sources-récepteurs qui sont une alternative intéressante aux inventaires d'émission. Une connaissance complète des sources de COVNM nécessite de disposer de données d'entrée particulièrement fines que ce soit en termes de résolutions spatiale et temporelle ou de caractérisation des composés émis. La détermination de ces paramètres exige la prise en compte d'un ensemble de données complexes et multiples qui sont autant de limites à l'exercice car de nombreux facteurs techniques et environnementaux contrôlent les émissions et leur composition.

3-1-1-2) Les sources de COVNM de l'espace urbain [19]

Nous présentons ici l'état actuel des connaissances des principales sources de COVNM de l'espace urbain : leur nature, leur importance relative en terme d'émission, leur composition chimique et les influences significatives sur leurs niveaux d'émission. Cette revue de connaissances provient de résultats croisés de quelques inventaires existants d'agglomérations françaises et de l'inventaire national détaillé des émissions pour la France CORINAIR'94. Si les résultats de ce dernier ne concernent pas l'échelle locale de la ville, leur analyse permet néanmoins d'identifier et de hiérarchiser les sources susceptibles de participer aux émissions de l'espace urbain.

3-1-1-2-1) Les processus de combustion

Les composés majeurs issus de la combustion complète de combustibles fossiles sont le dioxyde de carbone (CO₂) et l'eau. En pratique, les processus de combustion sont incomplets. Les raisons sont le caractère généralement pauvre des mélanges air/carburant ou une mauvaise combinaison du mélange air/carburant dans la zone de combustion. Cette combustion incomplète conduit à la formation de monoxyde de carbone (CO), intermédiaire à la formation initiale en CO₂ de la matière carbonée, et d'hydrocarbures (COV). Les produits hydrocarbonés retrouvés dans les émissions sont constitués à la fois d'une fraction partiellement oxydée (composés carbonylés), d'une fraction non oxydée (alcanes, aromatiques), composante du combustible, et d'une fraction obtenue suite aux réactions de combustion (alcènes, alcynes, aromatiques).

3-1-1-2-1-1) Les rejets de gaz d'échappement automobile

Le secteur des transports comptabilise entre 30 et 40% des émissions de COVNM avec une prépondérance des transports routiers (plus de 97% des émissions au niveau national). Ce secteur constituant une source prééminente de COVNM, de nombreuses études ont été consacrées à la caractérisation de ses émissions. Parmi celles-ci, citons COPERT¹ II, méthodologie développée sous l'égide de l'Agence Européenne de l'Environnement pour permettre aux états membres d'effectuer des inventaires homogènes de polluants liés au transport routier [9]. Seulement, à l'heure actuelle, les principales informations disponibles ne donnent qu'une information globale au travers des hydrocarbures totaux qui sont les polluants

¹ computer programme to calculate emissions from road transport

réglementés. Peu de travaux s'intéressent à l'estimation des émissions spécifiques. Cependant, la méthodologie COPERT III, en cours d'élaboration, prévoit d'inclure dans ses résultats la spéciation des COVNM. Elle est fournie en annexe 5. De plus, un groupe de travail regroupant des professionnels de la santé et de l'équipement travaille en concertation sur l'examen de plus de 200 polluants, dont bien évidemment des COVNM, issus du trafic routier et, plus globalement, de l'environnement inhérent à l'automobile. Les conclusions de cette étude devraient paraître pour la fin de l'année 2003 [communication personnelle avec Mr Vinot, CERTU].

Avec l'équipement des véhicules de convertisseurs catalytiques à partir de 1993 (directive 91/441/CE), des progrès considérables ont pu être réalisés en matière de réduction des émissions. Toutefois, le lent renouvellement du parc automobile rend l'importance relative des émissions encore significatives.

Des éléments concernant les principes de quantification des émissions, les paramètres influençant les émissions, les profils d'émission et le mode d'intervention de cette pollution sont fournis en annexe 6.

3-1-1-2-1-2) Les installations de combustion

Les installations de combustion regroupent non seulement les grands foyers de combustion industrielle et les centrales de chauffage urbain mais aussi les chaudières des secteurs tertiaires et résidentiel. Dans le secteur industriel et celui du réseau de chauffage urbain, les COVNM semblent être émis en relativement faible quantité lors de la combustion d'énergies fossiles. Au contraire, la combustion tertiaire et résidentielle associée à la fonction de chauffage domestique domine avec 10% des émissions nationales.

Des détails sur les profils d'émission et le mode d'intervention de ce type de pollution sont fournis en annexe 7.

3-1-1-2-2) Le stockage et la distribution de combustibles fossiles

Les quantités d'hydrocarbures émises par l'ensemble des activités consommatrices de combustibles fossiles ne représentent pas moins de 18% des émissions totales de COVNM parmi lesquelles l'évaporation des essences sur véhicules domine. Ce thème est développé en annexe 8.

3-1-1-2-3) L'usage de solvants

L'application de solvants ou l'usage des produits contenant des solvants est une des catégories de sources de COVNM les plus importantes totalisant près de 26% des émissions nationales et européennes. Son détail n'apparaît pas pour les inventaires urbains. Les solvants regroupent non seulement les produits dont la fonction principale est la dissolution d'autres substances d'un point de vue physique, la fabrication et la mise en oeuvre de peintures mais également les gaz propulseurs dans les bombes aérosols, les agents d'extraction et de revêtement. De grandes quantités de solvants organiques sont utilisés dans l'industrie chimique comme intermédiaire réactionnel. Néanmoins, ce type d'application est peu générateur de COVNM dans ce secteur, ses faibles émissions ne se distinguant pas ou peu de celles issues du procédé de fabrication. Au contraire, l'évaporation des solvants est attribuée à tout un ensemble d'autres applications relevant à la fois du secteur industriel et résidentiel. Les activités les plus concernées sont l'application de peinture, l'impression, le dégraissage des pièces métalliques et celles à des fins domestiques.

Les pertes par évaporation sont favorisées par l'utilisation de solvants organiques de tension de vapeur élevée et le traitement ou le séchage des pièces à des températures élevées. Par ailleurs, les niveaux et la composition des émissions dépendront de la nature des activités et de leur représentation dans l'espace urbain, de la mise en place d'un système d'extraction et de

traitement des vapeurs permettant de limiter les quantités émises et de la formulation des produits utilisés. La directive européenne 1999/13/CE du 11 mars 1999 relative à la réduction des rejets de solvants régleme désormais certains secteurs d'activités déjà soumis à des valeurs limites d'émission. Pourtant, l'impact sur leur réduction ne sera effectif que dans la prochaine décennie et leurs émissions constituent à l'heure actuelle un enjeu réel.

L'usage de solvants couvre non seulement de nombreuses applications mais aussi un large éventail de produits. Ajouté à cela la disparité des quelques informations disponibles sur ces catégories de sources, il apparaît, de ce fait, difficile d'appréhender ces sources de manière fiable. Bien que les profils d'émission soient très variables selon la branche d'activité considéré et les procédés mis en jeu pour une même branche, les principales catégories de solvants sont les solvants pétroliers (white spirit, toluène et autres aromatiques), les solvants oxygénés (alcools, esters, glycols, cétones) et les solvants chlorés (trichloroéthylène, tétrachloroéthylène).

Compte tenu de la multiplicité des sources rattachées à l'usage de solvants et le rythme des activités. Sources à caractère surfacique, elles peuvent toutefois revêtir un caractère ponctuel suite à des émissions erratiques.

3-1-1-2-4) Les procédés industriels

Un nombre important de sources en relation directe avec les procédés industriels a déjà été mentionné à travers notamment les installations de combustion et l'utilisation de solvants. Si, à l'échelle nationale et européenne, les procédés de fabrication ne représentent que 5% des émissions, leur contribution à l'échelle d'une agglomération dépendra, comme pour les applications de solvants, du tissu local d'activités. Les procédés les plus émetteurs appartiennent au secteur de la chimie organique (peinture et adhésifs). Ces secteurs sont également utilisateurs de solvants dans leur chaîne de fabrication. Compte tenu du caractère disparate et aléatoire de ces sources, il semble ardu d'en présenter un profil de composition. Elles correspondent généralement à de grandes sources ponctuelles dont l'impact sur les concentrations ambiantes dépendra du rythme des activités de production.

3-1-1-2-5) La source biogénique

La source biogénique participe de manière notable aux émissions de COVNM au niveau européen et national. Sa contribution annuelle aux émissions totales semblent plus réduite en zone urbaine. Peu d'études se sont intéressées aux émissions biogéniques et à leur importance relative vis-à-vis des émissions anthropiques en zone urbaine ; l'argument avancé est généralement leur faible représentation dans des zones où se concentrent les activités anthropiques. Pourtant, bien qu'encore mal quantifiée, la présence de composés biogéniques en atmosphère urbaine et ses conséquences photochimiques sont aujourd'hui plutôt bien cernées.

Les composés émis se présentent généralement sous la forme d'insaturés, cycliques ou acycliques, et sont rassemblés sous la dénomination "terpènes". Parmi eux, les plus émis sont l'isoprène ou le 2-méthyl-1,3butadiène (C_5H_8) et les monoterpènes ($C_{10}H_{16}$). Ces composés sont très réactifs et ont un rôle privilégiée dans la formation d'ozone.

En définitive, s'il s'agit de faire un bilan, on peut dire que certaines des sources de COVNM sont inhérentes au milieu urbain. C'est le cas des transports, de la distribution de combustibles fossiles, du chauffage des logements. D'autres dépendent du tissu local d'activités. C'est le cas des sources industrielles et des procédés de fabrication qui leur sont associés.

Par ailleurs, une variété de facteurs significatifs, pour la plupart identifiés mais mal ou peu quantifiés, contrôlent les niveaux d'émission et la composition des sources. Ces facteurs, non constants, augurent des modifications de l'importance relative des sources dans le temps, selon la saison ou l'heure de la journée, et de leur impact sur la distribution des concentrations ambiantes en COVNM. Par exemple et en première approximation, la combustion domestique aurait une contribution significative en hiver par opposition à l'évaporation des essences dont la dépendance directe à la température ambiante laisse prévoir sa contribution significative en été. Ces différents modes d'intervention supposés sont assez peu renseignés dans la littérature. Enfin, l'examen des données qualitatives de composition des sources a montré qu'en dépit d'une information disparate des dernières étaient relativement cohérentes. En revanche, les écarts quantitatifs sont réels pour des conditions d'expérimentation identiques, ce qui met en exergue la spécificité d'un grand nombre de profils. Cette spécificité soulève la question de la représentativité des profils d'émission et de la légitimité, discutable, de leur transposition à d'autres contextes.

3-1-2) Identification des zones supposées émettrices dans la région Rhône-Alpes

Il s'agit là de cibler les zones supposées incriminables pour leurs émissions en COVNM. Il n'existe aucun inventaire qui répertorie les sources de COVNM à cette échelle. Ce genre d'exercice, compte tenu des considérations mentionnées ci-dessus, s'avère être très coûteux (temps, moyens financiers). Notre démarche vise à identifier les pôles régionaux émetteurs de COVNM à partir de données existantes et sans à priori.

3-1-2-1) Critères de choix des zones

En tout premier lieu, notre démarche se plie à deux exigences concernant les émetteurs de polluants. On s'intéresse donc prioritairement :

- Aux sources pour lesquelles des informations quantitatives sont disponibles dans le domaine public.
- Aux sources susceptibles d'être présentes en atmosphère urbaine ou périurbaine, c'est-à-dire dans des zones au potentiel démographique fort. Ceci minimise à priori les effets dus aux sources biogéniques.

Parmi ces sources, deux se distinguent : il s'agit des émetteurs industriels et du trafic routier. Ces émetteurs sont prépondérants en Rhône-Alpes et leur concentration est la base de questions d'ordre sanitaire de la part des responsables locaux de Santé Publique (§1-5).

3-1-2-1-1) Les émetteurs industriels

Seules sont considérées ici les Grandes Sources Ponctuelles. Ces établissements sont soumis à une taxe dite *taxe parafiscale* lorsque les quantités rejetées pour un ensemble de polluants réglementés dépassent une valeur seuil établie. Ces sources sont répertoriées par la DRIRE² Rhône-Alpes dans le "bilan de l'environnement industriel en Rhône-Alpes", publié annuellement. Sur l'ensemble des établissements recensés dans l'édition 2002 [7], 92 ont leurs rejets de COVNM quantifiés (mais non spécifiés). La somme de ces rejets s'élève à 20700 tonnes pour l'année 2000, soit 31,5% des émissions imputées au secteur industriel pour la région Rhône-Alpes. Sur ces rejets, 91% ont été le fait de 42 sources dont les émissions individuelles ont dépassé 150 t/an.

Le document de la DRIRE présente des données chiffrées en termes de quantités rejetées de COVNM et cible les principales sources émettrices. Néanmoins, ce document ne tient compte que des COVNM générés par l'activité principale de l'établissement. Les COVNM

² Direction Régionale de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement

proviennent aussi de sources diffuses. Les sources, traitées collectivement, peuvent avoir un impact non négligeable sur le domaine d'étude. Les entreprises de l'industrie textile, par exemple, ne sont généralement pas considérées comme des sources significatives de polluants atmosphériques. Elles génèrent cependant des déchets spéciaux issus de l'usage de produits de teintures (déchets de peintures, colles, mastic et encre) et constituent ainsi des émetteurs potentiels de COVNM [19]. Cette remarque est extrapolable à bon nombre d'industries qui, pour un même site, scindent leurs émissions (par exemple par process de fabrication) et n'apparaissent pas dans ce bilan.

3-1-2-1-1) Le trafic routier

Le trafic routier est reconnu pour être le principal émetteur de COVNM en zones urbaines. Les émissions de polluants sur une infrastructure routière sont directement proportionnelles au flux de véhicules qui l'emprunte, à la composition des parcs automobiles, aux émissions unitaires des véhicules - ce qui renvoie à l'utilisation des facteurs d'émission (§3-1-1-1-4) – et dépendent fortement de la vitesse moyenne sur le parcours [20].

Ces inventaires d'émissions renseignent soit un axe routier seul sur le tronçon choisi, soit un périmètre donné [communication personnelle avec Monsieur Sampic, CETE de Lyon]. Ce service est dispensé par les Centres Techniques de l'Équipement régionaux (CETE).

Les seules informations disponibles dans le domaine public sont les données de trafic sur les principaux axes, ce qui constituent ainsi un bon indicateur du flux de polluant émis.

Ces données sont accessibles via internet [21] ou, sur demande auprès des CETE régionaux.

Par conséquent, nous disposons pour notre étude de cartes des comptages routiers en Rhône-Alpes pour 1998 et 1999 (moyennes journalières pour le réseau autoroutier et les routes nationales) et des moyennes journalières annuelles pour le réseau autoroutier, les routes nationales et les principales routes départementales pour chaque département.

Ces documents, permettent d'apprécier objectivement le flux de véhicules journalier en Rhône-Alpes et par là même de cibler les zones remarquables pour leurs émissions en COVNM notamment.

3-1-2-2) *Sélection et définition des zones*

Cette étape est une première approche.

Dans un premier temps, elle consiste à regrouper, sur un périmètre pouvant s'étendre jusqu'à environ 50 km², les principaux sites industriels référencés par la DRIRE. Ceci représente en effet le point de départ de définition des zones car le document DRIRE [7] constitue notre seule base de données en terme d'émissions de COVNM. Un seuil d'émissions est arbitrairement défini : seules sont retenues les zones pour lesquelles la somme des émissions industrielles dépasse ou avoisine 1000 t/an.

Dans un second temps, en s'appuyant sur les critères définis précédemment et sur des considérations topographiques, le choix des domaines d'étude est modulé par la présence de Grandes Sources Linéaires les traversant.

Nos investigations nous amènent à sélectionner, en première approche, huit zones dont les principales caractéristiques sont détaillées dans le tableau suivant :

zones d'étude	total des émissions industrielles (données DRIRE) sur la zone (en tonnes/an)	principaux axes routiers	remarques	potentiel démographique
Feyzin - Pierre Bénite - Saint Fons - Vénissieux (sud de l'agglomération lyonnaise)	2853	A7, A47 N383, N7 D381	circulation urbaine diffuse	fort
Neuville/Saône	1613	A46 D433, D16, D51		moyen
Frogès - Crolles - Villard Bonnot (vallée comprise entre le massif de la Chartreuse et la chaîne de Belledonne)	2599	A41 D10		moyen à faible
Jarrie - Pont de Claix (sud de l'agglomération grenobloise)	758	A480 N85		moyen à fort
Bellegarde	1343	A40 N84		moyen
Roussillon	1270	A7 N7		moyen
Saint Paul les 3 châteaux	1167	A7 N7		moyen
Valence	983	A7 N7 D7, D111	circulation urbaine diffuse	fort

Tableau 2 : récapitulatif des zones d'études

3-1-2-3) Bilan des émissions connues en Rhône-Alpes : Qu'en est-il de la spéciation des COVNM ?

Dans le cadre de notre étude, il est indispensable de connaître la spéciation des COVNM émis. D'une part, la famille chimique des COVNM regroupe plusieurs centaines de composés responsables individuellement de pathologies variées, selon différents types d'effets (aigus, subchroniques, chroniques) (§ 1-2). D'autre part, ceux-ci ne sont pas tous renseignés en terme d'effets sanitaires directs.

Qu'en est-il donc de la spéciation des COVNM émis à l'échelle de notre étude ?

S'agissant du trafic routier, ce type d'information est, à l'heure actuelle, accessible en 2 temps. Le premier consiste à récolter les données annuelles d'émission de COVNM globale pour un périmètre donné auprès des CETE régionaux. Le second repose sur la pondération de ces émissions, d'une part, avec les coefficients des profils d'émission faisant référence au niveau européen (COPERT II) et, d'autre part, avec la composition du parc automobile français roulant, information disponible auprès de l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS) situé à Bron (69).

Cette décomposition, à l'heure actuelle assez rare, est amenée à se développer avec l'apparition imminente de la base de données COPERT III.

Concernant les émissions industrielles, le problème est nettement plus complexe. En effet, à chaque process de fabrication correspond un profil d'émission et ce type d'information n'est renseigné que de façon lacunaire dans la littérature. En outre, leur impact sur les concentrations ambiantes en COVNM dépend du rythme inhérent à chaque activité de production.

Il semble donc difficile de pouvoir spécifier pléthoriquement et objectivement les émissions de COVNM dues à ce type de source.

Cependant, un travail en collaboration avec la DRIRE permet d'accéder à une définition plus fine des émissions en COVNM par consultation de la déclaration annuelle des rejets des sites industriels soumis à la taxe parafiscale. Pour les entreprises comprises dans les zones d'étude, ces informations ont été collectées auprès de Mr Bouillot (DRIRE Rhône-Alpes) et figurent en annexe 9.

Ces données DRIRE permettent une avancée certes significative dans la connaissance qualitative et quantitative des émissions de COVNM mais elles ne présentent malheureusement pas un profil pleinement exhaustif. En effet, les données sont parfois incomplètes ou inexploitable, notamment par l'utilisation des noms commerciaux, ce qui rend difficile l'identification des substances (exemples : F1131a et F142B émis par Atofina – Pierre Bénite). Signalons aussi les variations des quantités de COVNM émises avec une tendance globale à la réduction due à la mise en place récurrente de techniques de réduction des émissions à la source (incinération, oxydation thermique régénérative, adsorption sur charbon actif, ...). Ceci s'opère parfois dans des proportions spectaculaires, comme en témoigne la diminution par trois des émissions de COVNM par Péchiney à Froges (38) entre 2000 et 2001.

3-1-2-4) proposition : optimisation de la connaissance des émissions de COVNM sur les zones d'étude

Les investigations précédentes sont le reflet de la difficulté à établir un inventaire complet de façon qualitative (par l'identification des substances dangereuses susceptibles d'être émises) et quantitative (par le relevé de l'ensemble des flux d'émissions disponibles).

Cependant, il convient d'aller plus avant en accentuant la démarche de connaissance des émissions à l'échelle des huit zones d'étude. Cette focalisation sur le tissu local d'activités est nécessaire pour avoir un panorama plus complet des substances et des quantités émises. Le niveau de précision obtenu dépend pour partie de l'existence ou non d'inventaires d'émissions déjà réalisés par des professionnels de la question (réseau de mesure de la qualité de l'air, universitaires, laboratoires de recherche environnementale internes aux entreprises). Cette partie de l'étude consiste à caractériser les sources surfaciques ; sources qui regroupent notamment des émetteurs fixes moins importants ou très dispersés. Parmi celles-ci, trois sont à prendre en compte :

- Les entreprises n'étant pas soumises à la taxe parafiscale et qui n'apparaissent donc pas dans le bilan DRIRE. Pour la région Rhône-Alpes, cette catégorie représente près de 70% des émissions de COVNM industrielles.
- La circulation urbaine diffuse
- Les émissions résidentielles

3-1-2-4-1) identification des émetteurs

Sur la zone d'étude, plusieurs sources d'information permettent d'identifier les émetteurs fixes de COVNM associés à une activité professionnelle. Elles comprennent notamment :

- Les fiches d'entreprises du répertoire KOMPASS France qui rassemble les établissements de l'industrie et des services.
- Le répertoire SIRENE (système informatique pour le répertoire des entreprises et des établissements), géré par l'INSEE, qui recense toutes les entreprises et leurs établissements.
- Les fichiers de recensements économiques disponibles dans chaque Chambre de Commerce et d'Industrie (CCI).

3-1-2-4-2) Caractérisation des émissions

Dans le contexte industriel, le profil spécifié des composés émis est intrinsèque à chaque type de process utilisé. Même s'il est connu, ce qui n'est pas toujours le cas, celui-ci n'est pas forcément représentatif des teneurs en COVNM présents dans l'air ambiant compte tenu de la variabilité spatio-temporelle des COVNM dans l'atmosphère.

Dans ce cadre, l'ambition de cette section est de fournir les outils (base de données informatiques ou support bibliographique) qui permettent de qualifier, ne serait-ce que partiellement, les émissions en COVNM et orienter ainsi le choix des composés nocifs d'un point de vue sanitaire. Le but est double : d'une part compléter les données DRIRE qui ne sont que parcellaires et, d'autre part, augmenter le degré de précision de la spéciation des émissions à l'échelle des zones d'étude en se penchant sur le cas des émetteurs surfaciques de COVNM.

Les sources de données sur le thème de la spéciation des COVNM sont assez disparates. Nous pouvons cependant citer les éléments suivants :

- Le document du CITEPA intitulé "Spéciation des composés organiques volatils non méthaniques" [3] et évoqué plus haut (§3-1-1-4). Ce document donne en annexe, la répartition des émissions nationales des COVNM, par familles de composés, pour les secteurs d'activité détaillés. Ce détail correspond au niveau 2 du code SNAP ou format UNECE requis dans le cadre de la Convention sur la Pollution Atmosphérique Transfrontalière. Ce code répertorie dans un premier niveau des catégories de sources qui sont ensuite discrétisées dans un second niveau.
Dans le cadre de notre étude, ce document fournit une approche très large et ne permet ainsi pas de pouvoir extrapoler les données à l'échelle de notre zone. Il a cependant le mérite de permettre d'appréhender les proportions de quelques familles de COVNM et de quelques composés imputables aux secteurs d'activité considérés.
- SPECIATE, base de données détaillée et transparente développée par l'Agence Américaine de l'Environnement, USEPA. La version 3.2 est disponible gratuitement sur le site internet de l'USEPA [22]. Il s'agit là d'un outil très complet donnant accès aux profils de répartition de COVNM pour un large panel de sources. Ces profils sont dédiés notamment au développement de modèles sources-récepteurs. A titre de remarque, ce logiciel est complété par une liste bibliographique regroupant 165 articles scientifiques publiés depuis 1990 qui sont supposés contenir des informations utiles pour compléter les profils d'émission. Le seul problème concerne l'extrapolation de ces données au contexte français.
- L'inventaire d'émissions britanniques (National Atmospheric Emission Inventory) accessible via internet [23]. Celui-ci donne accès à une base de données de facteurs d'émission. Elle regroupe une grande variété de facteurs d'émission mais ne renseigne que les COVNM totaux, le benzène et le 1,3-butadiène.
- Le guide européen produit par l'Agence Européenne de l'Environnement (Atmospheric Emission Inventory Guidebook [24]) et le formulaire AP-42 [25] de

l'USEPA sont de très volumineuses bases de données servant de référence à la méthodologie d'inventaire CORINAIR. Elles compilent notamment nombre d'informations sur les process mis en oeuvre pour chaque domaine d'activité et les facteurs d'émission inhérents à ceux-ci pour de nombreux polluants atmosphériques.

La solution "idéale" repose sur l'existence d'un cadastre d'émission sur les zones d'étude considérées. Cependant, cette alternative, qui demande des moyens conséquents et des compétences adéquates, n'est que très peu développée sur notre territoire. En outre, rares sont les cadastres qui font apparaître une spéciation des COVNM.

Il est tout de même à signaler qu'un cadastre d'émissions sur l'agglomération lyonnaise est actuellement en cours d'élaboration. Ce travail est réalisé par le réseau de mesure de la qualité de l'air lyonnais, à savoir COPARLY et sera disponible d'ici quelques mois.

Au niveau local, les Volets Sanitaires d'Etude d'Impact des ICPE, consultables dans les DDASS, permettent d'apporter un complément d'information quant à l'identification du site industriel (nature des produits utilisés, taille des établissements, représentation sur l'agglomération). Cependant, leur contribution n'est pas suffisante en matière de caractérisation des émissions.

En théorie, l'étude d'environnement de l'installation existante doit être présentée dans l'étude d'impact correspondante ; celle-ci constitue donc la principale source de données initiales pour l'ERS. En effet, l'évaluateur doit pouvoir retrouver dans cette étude d'impact les éléments de base indispensables à l'évaluation du risque, à savoir :

- un inventaire des substances dangereuses (manipulées, transformées, stockées ...)
- les mesures et/ou modélisation quantifiant les rejets (canalisés ou diffus)
- les concentrations de toxiques indispensables à la détermination des expositions
- une description de l'environnement et des populations potentiellement exposées

3-2) IDENTIFICATION DES DANGERS

L'identification du potentiel dangereux ou identification des dangers consiste à identifier des effets indésirables que les substances sont intrinsèquement capables de provoquer.

Le nombre de COVNM présents dans l'atmosphère ambiant des zones d'étude rendent ce processus d'évaluation compliqué. Ceci est renforcé par le fait que les émissions gazeuses, d'un point de vue physique et chimique, doivent être considérées comme des systèmes extrêmement complexes et très dilués.

Ces constatations nous amène à poser une réflexion préalable sur le choix du ou des polluant(s) à considérer.

3-2-1) Voies d'exposition

Dans notre cas d'étude, les substances mises en cause appartiennent à la famille chimique des COV et sont, par définition, à l'état gazeux dans les conditions normales de pression et de température. Par conséquent, l'inhalation constitue la voie d'exposition majeure.

3-2-2) Type d'effets adverses

Selon le guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact, publié en 2000 par l'InVS [18], deux grands types d'effets sont à distinguer en fonction de l'intensité et de la durée du contact substance/personne : les effets aigus et les effets chroniques.

Les effets aigus sont des troubles liés à une exposition courte mais à forte dose. Généralement, ils sont immédiats ou surviennent à court terme (quelques heures à quelques

jours) et disparaissent spontanément quand cesse l'exposition, si celle-ci n'a pas occasionné des désordres irréversibles.

Les effets chroniques correspondent à des troubles en rapport avec une exposition faible et prolongée. Ils surviennent en général avec un temps de latence qui peut atteindre plusieurs mois, voire des décennies, et sont habituellement irréversibles en l'absence de traitement.

Les COVNM sont susceptibles de provoquer ces deux types d'effet chez la personne exposée. Cependant, notre étude se propose d'étudier l'impact sanitaire de concentrations en COVNM dans l'atmosphère ambiante, c'est-à-dire à des niveaux de pollution de fond. Les niveaux de concentration des COVNM, faibles dans l'air ambiant, sont inférieurs au seuil de toxicité aiguë. Par conséquent, la base de nos investigations se porte bien évidemment sur la toxicité chronique des COVNM chez l'individu exposé.

3-2-3) Pertinence de choix d'un indicateur de la présence de COVNM

3-2-3-1) Un obstacle majeur : la multiplicité des polluants et des sources d'exposition.

En première analyse, il semble perspicace d'étudier l'existence d'un indicateur de la pollution par les COVNM dans l'air ambiant. Cette supposition ne trouve aucune issue. En effet, la pluralité des paramètres (sources de polluants, polluants émis, typologie géographique de la zone entre autres) dont dépendent les concentrations de fond en COVNM ne permet pas d'identifier un indicateur propre à ce type de pollution.

Il convient d'ajouter quelques précisions s'agissant des deux sources prépondérantes de COVNM dans l'atmosphère que constituent le trafic routier et l'industrie.

A propos du premier, l'interaction pollution atmosphérique automobile/santé publique est un sujet récurrent dans la littérature scientifique, dont notamment un ouvrage publié par la Société Française de Santé Publique (SFSP) qui dresse un bilan de 15 ans de recherche internationale [26], et fait l'objet de nombreuses recherches internationales (programme européen AUTO-OIL notamment). Du fait de la croissance globale du trafic routier depuis une vingtaine d'années et de la réduction régulière des émissions industrielles, la part relative des transports a progressé. Ces émissions liées au trafic ont une caractéristique préoccupante : elles diffusent au voisinage immédiat de la population générale, à hauteur des voies respiratoires des individus, "immergés" dans cette atmosphère au cours des activités quotidiennes. Malgré la perpétuelle évolution de la structure du trafic due à la nature des véhicules, la pollution d'origine automobile est sensiblement homogène, en terme de composition. Les principaux indicateurs ont longtemps été le monoxyde de carbone (CO) et le plomb. Le premier reste l'indicateur majeur. Compte tenu, des évolutions technologiques et météorologiques, d'autres s'y ajoutent, dont notamment certains COVNM. Parmi ceux-ci se distinguent les Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques (HAM) [26], considérés globalement (THAM) ou plus spécifiquement (benzène, toluène, éthylbenzène, méta et paraxylènes, orthoxylène et 1,2,4 triméthylbenzène notamment [27]) et les aldéhydes (formaldéhyde et acétaldéhyde).

Concernant les émetteurs industriels, la situation est nettement plus complexe. C'est là où réside l'impossibilité de définir un indicateur représentatif de la situation globale. En effet, comme il l'est spécifié plus haut, la composition des émissions en COVNM est, dans ce cas, intrinsèque à chaque type de process et peut donc être très variable, dans l'espace et dans le temps, sur un même site industriel. Cette remarque revêt une importance particulière en terme de reproductibilité de la démarche. Le choix des substances dangereuses à intégrer dans l'étude est dépendant de la composante "émissions industrielles" sur la zone considérée. Celui-ci ne doit pas être le fruit d'une réflexion globale à grande échelle. Il doit donc être adapté au contexte local et n'est pas systématiquement transposable à d'autres configurations.

3-2-3-2) Cas du benzène

Le cas du benzène n'est pas à dissocier des affirmations précédentes. Cependant, outre les COVNM, les préoccupations des professionnels locaux de Santé Publique pointaient *a priori* sur les conséquences sanitaires inhérentes à la présence de benzène dans l'air ambiant et ce, en grande partie, en raison de la présence de la raffinerie de Feyzin, productrice et utilisatrice de benzène. C'est pourquoi il convient de justifier le "statut" de ce polluant dans le cadre de notre étude.

Le benzène est un polluant ubiquitaire, présent plus particulièrement en milieu urbain et dont l'origine est principalement anthropique. L'exposition humaine se fait presque exclusivement par la voie pulmonaire. Sa présence dans les produits de combustion de produits organiques (notamment dans la fumée de tabac et dans les gaz d'échappement de véhicules à moteurs à explosion) explique que toute la population est exposée à des degrés divers à cette substance [28], [29], [30], [31], [32]. C'est un cancérigène pour l'homme, reconnu comme tel par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) comme par l'ensemble des organismes internationaux : il est classé en catégorie 1³ par l'Union Européenne, dans le groupe 1⁴ par le CIRC (1987) et en catégorie A⁵ par l'US-EPA (1998) et induit principalement des leucémies et des lymphomes.

Evaluer le risque lié au benzène représente donc un enjeu important de Santé Publique car c'est incontestablement le cancérigène le plus présent dans l'environnement. Ce thème fait d'ailleurs l'objet de nombreuses publications. L'étude publiée par l'INERIS (1997) consacrée à l'évaluation des risques pour la santé liés au benzène [29] arrive à la conclusion que l'exposition environnementale serait responsable de 2 à 3% des décès par leucémies et lymphomes.

De plus, les études concernant la toxicité du benzène sont nombreuses et suffisamment cohérentes chez l'animal et chez l'homme. Ces données sanitaires sont complétées en annexe 10.

Au delà des conséquences sanitaires liées au benzène, l'intérêt porté à cette substance se justifie aussi par les moyens d'action existants. En effet, sa situation réglementaire et le développement de mesures en routine le placent dans une situation privilégiée en matière d'évaluation et de gestion du risque. Il s'agit du seul COVNM faisant l'objet d'une réglementation européenne quant à sa concentration dans l'air ambiant (directives de qualité pour l'air en 2000). En France, le décret du 6 mai 1998 fixe un objectif de qualité à 2 µg/m³. En Rhône-Alpes, le benzène est mesuré en routine à Lyon et Grenoble, chaque agglomération possédant 2 sites de mesure de proximité (trafic et industrie). En outre, afin d'élaborer une méthodologie pour l'établissement de cartes de pollution, l'ASCOPARG, COPARLY et SUPAIRE, associations de surveillance de la pollution atmosphérique, ont souhaité réaliser, au cours de l'hiver 2002, une première cartographie des niveaux de fond en benzène à l'échelle des départements du Rhône et de l'Isère. La position des 225 sites de mesure a été choisie pour être représentative de la variabilité spatiale supposée des polluants dans les zones d'étude. Les concentrations régionales varient de 0 à 3 µg/m³. Les zones les plus exposées sont les centres-ville des grandes agglomérations (Lyon et Grenoble) et renvoient donc aux émissions denses et diffuses du trafic automobile.

Cette attention particulière met l'accent sur le fait que le benzène, par son omniprésence dans l'atmosphère urbaine et sa nocivité, doit être prioritairement pris en compte. Cependant, dans le contexte de l'étude, il ne reflète pas à lui seul l'exposition des populations aux COVNM et

³ substance que l'on sait être cancérigène pour l'homme

⁴ agent cancérigène pour l'homme

⁵ substance cancérigène pour l'homme

ce en raison de la pléthore de secteurs d'activités pris en considération. D'autres COVNM, dangereux pour la santé et émis en quantité dans les zones choisies, ne peuvent être ignorés.

3-2-4) Critères de choix des traceurs de risque

Dans la plupart des cas, le nombre de substances en présence (plusieurs dizaines) rend le processus d'évaluation complexe. Sous réserve d'une justification des critères de sélection, il peut être procédé à un choix raisonné d'un nombre limité de polluants. Ce choix doit être effectué de manière transparente et être basé sur des critères définis et identiques pour toutes les substances. A cet égard, les critères suivants sont utilisés :

- Toxicité des substances : Les substances sélectionnées doivent avoir un impact sanitaire significatif dans la croissance de pathologies chroniques. On choisit ainsi systématiquement toutes les substances ayant un effet cancérigène et on procède à une sélection raisonnée selon les critères qui suivent pour les autres. Cette méthode a été utilisée pour évaluer les risques liés aux rejets atmosphériques dus à l'incinération des déchets [33].
- Quantités émises : La présence d'une substance dans un milieu d'exposition est en relation directe avec les quantités émises à la source. La connaissance de cette quantité est donc indispensable.
- Existence de Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR). Les COVNM disposant de valeurs guides OMS feront l'objet d'une attention plus particulière. Ces valeurs guides ne sont pas des normes mais doivent apporter une information générale aux pays engagés dans leur préparation.
- Spécificité de la substance à l'émetteur : les principaux polluants dus au trafic routier sont connus et constitue ainsi un "tronc commun" à la liste des polluants sélectionnés. Le choix des substances prises en considération est explicité plus loin. Quant aux émetteurs industriels, le minimum exigible est de recueillir les données de spéciation DRIRE (cf § 3-1-2-3). A l'avenir et pour les principaux types d'installations industrielles, il serait donc utile [18]:
 - De disposer d'une base de données la plus complète possible, fournissant la liste exhaustive des polluants susceptibles d'être retrouvés sur le site et aux alentours afin de pouvoir vérifier que les substances retenues dans l'étude ont été sélectionnées à partir d'une liste pertinente.
 - D'établir la liste des agents polluants traceurs pertinents ainsi que des critères permettant l'utilisation de cette liste de polluants dans le cas de nouvelles installations (nature et capacité de l'installation, caractéristiques des procédés technologiques mis en œuvre notamment au niveau de la dépollution...)
- Comportement physico-chimique de la substance dans l'environnement : réactivité avec les radicaux OH (formation de polluants secondaires dont l'ozone), persistance.
- Synergie avec d'autres polluants : approche de la toxicité d'un mélange de polluants atmosphériques.
- Substances faisant l'objet de réglementation

Un seul critère n'est pas suffisant pour justifier du choix d'une substance. Une substance faiblement toxique et présente en quantité limitée pourra ainsi ne pas être prise en compte. Un calcul rapide du niveau d'exposition et du niveau de risque (utilisation des relations dose-réponse) peut être un moyen de justification efficace. Un calcul ultra-majorant, considérant que la cible est exposée par inhalation à la concentration à l'émission, permet, en cas de résultat favorable, d'écarter les substances présentant un faible risque. Ceci insiste sur la nécessité de connaître les flux annuels de polluants à l'émission (en mg/m³). Enfin, d'autres

critères peuvent influencer sur le choix des substances tels qu’une problématique locale liée à l’inquiétude de la population sur telle ou telle substance [34].

Les informations servant à ces critères doivent provenir de données propres à la zone d’étude et aux sites industriels le composant, lorsqu’elles sont disponibles (substances dangereuses (manipulées, transformées, stockées), la quantification des rejets de polluants, ...) et de données bibliographiques (toxicité des substances, devenir des polluants dans l’environnement, connaissance d’éventuels problèmes sanitaires environnementaux liés au type d’activité ou de substance).

En s’inspirant de la méthodologie développée dans le guide “Evaluation des risques sanitaires dans les études d’impact des ICPE – substances chimiques” publié par l’INERIS en 2003, les critères de choix, qu’ils soient présentés sous forme qualitative ou quantitative selon la nature des informations à disposition, peuvent être rassemblées et condensées dans un tableau dont un exemple est fourni ci-après :

Substances	Concentrations à l’émission *	Toxicité chronique par inhalation (effets critiques)		VTR	spécificité	Persistance dans l’environnement	retenu
	F/M/I **	Non cancérigène	Cancérigène	O/N	F/M/I	F/M/I	O/N

Tableau 3 : exemple de synthèse des critères de choix de polluants

* quantité relative d’une substance par rapport à une autre à l’émission

** F/M/I : Faible/Moyen/Important

3-2-5) Application : sélection des traceurs de risque sur la zone recouvrant le sud de l’agglomération lyonnaise (Feyzin, Pierre-Bénite, Saint-Fons, Vénissieux)

Cette zone périurbaine, comprise dans la vallée du Rhône et nommée “Couloir de la chimie”, est fortement représentative du cas d’étude : elle rassemble nombres d’industries chimiques et pétrochimiques d’envergure et est traversée par un réseau routier dense qui connaît une des plus importantes affluences au niveau national. Sur le thème des émissions polluantes et de la santé, elle est d’ailleurs à la base de préoccupations institutionnelles locales mais aussi nationales.

L’identification du potentiel dangereux de chacune de ces substances est réalisée à partir des principales sources de données disponibles au niveau national et internationale [34]:

- Les avis du Conseil Supérieur d’Hygiène Publique de France
- Les fiches de données toxicologiques de l’INERIS
- Le Journal Officiel de la Communauté Européenne
- Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC)
- L’Organisation Mondiale de la Santé par l’intermédiaire des monographies IPCS/INCHEM
- La base de données IRIS de l’Agence américaine de Protection de l’Environnement (US-EPA)
- Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (USA-ATSDR)
- National Institute of Public Health and Environment (RIVM, Pays-bas)
- Hazardous Substances Data Bank (HSDB)

3-2-5-1) Traceurs de risque du trafic routier

Etant donné le caractère prépondérant de l'émetteur, ces traceurs forment une base reproductible sur tous les autres sites sélectionnés. Leur liste est établie à partir d'une revue bibliographique sur le sujet et pourra être complétée prochainement suite aux conclusions rendues par le groupe de travail santé/équipement sur la dangerosité des polluants émis par le trafic routier. Celui-ci se penche plus particulièrement sur une spéciation précise des COVNM, considérés jusque là globalement dans la plupart des cas, et sur l'éventualité de pouvoir estimer individuellement leur impact sanitaire (communication personnelle avec Mr Vinot du CERTU et Mme Cassadou de l'InVS).

Le choix des COVNM s'est prioritairement axé sur leur potentiel cancérigène. En s'appuyant sur [26] et [35], on retient les substances suivantes :

Substances retenues	Classification	
	CIRC-IARC	US-EPA
Benzène	1	A
1,3-butadiène	2A	B1
1,2-bibromoéthane	2A	B2
1,2- dichloroéthane	2B	B2
Acétaldéhyde	2B	B2
Formaldéhyde	2A	B1

Tableau 4 : traceurs du trafic routier

L'automobile est en grande partie responsable de la pollution atmosphérique par le **benzène** (gaz d'échappement, émanations lors du remplissage des réservoirs) [28].

Le **1,3-butadiène** est un composé chimique très réactif, présent dans les gaz d'échappement de véhicules et qui se forme par combustion incomplète du carburant mais il n'est pas émis par l'évaporation du carburant. Aux Etats-Unis, l'US-EPA (1993) estime que 94% des émissions de 1,3-butadiène sont dus aux transports dont une majorité (59%) est attribuable au véhicules routiers [26]. Le choix de cette substance est renforcée par le fait que la raffinerie de Feyzin est référencée comme étant l'un des émetteurs majeurs de 1,3-butadiène au niveau national [36]

Le **formaldéhyde** est le plus prévalent et le plus simple des aldéhydes. La plus grande partie du formaldéhyde présent dans l'environnement est anthropique et résulte des échappements non catalysés des automobiles [37].

L'**acétaldéhyde** est un aldéhyde, libéré en partie par la combustion des carburants automobiles [26].

La présence de **1,2-dichloroéthane** dans l'atmosphère ambiant est uniquement anthropique [38]. Elle résulte de la production, des diverses utilisations de ce produit et des gaz d'échappement des véhicules.

3-2-5-2) Traceurs de risque des émetteurs industriels de la zone étudiée

Le choix des traceurs de risque dues aux émissions industrielles sur la zone considérée est établi à partir des données de spéciation DRIRE (cf § 3-1-2-3) :

substances	Concentrations à l'émission	Toxicité chronique par inhalation (effets critiques)		VTR	Persistance	retenu
	F/M/I	Non cancérogène	Cancérogène	O/N	F/M/I	O/N
chlorobenzène	M	foie, rein (RIVM, 2000)	D (US-EPA)	O		N
MiBC	F	Réduction du poids du fœtus, variations du squelette (IRIS, 2003)	-	O	F	N
méthanol	F	SNC* (IPCS)	-	N	F	N
éther isopropylique	M	-	-	N	-	N
toluène	M	SNC	D (US EPA) 3 (CIRC)	O		
chlorure de méthyl	M	Lésions cérébrales (US-EPA)	D (US-EPA) 3 (CIRC)	O		N
tetrachloroéthylène	M	Maladies rénales	B2 (US-EPA) 2A (CIRC) cancer du foie	O		O
méthylcyclohexane	M	SNC (HSDB)	-	N		N
isopropanol	F	Neurotoxique	3 (CIRC)	N		N
benzène	F	Décroissance des lymphocytes (US EPA)	A (US EPA) 1 (CIRC) leucémogène	O	M	O
MEC	I	dvpt du fœtus (US EPA)	D (US EPA)	O		N
trichlorométhane	F	-	-	N	-	N
xylènes	M	dvpt du fœtus	D (US-EPA) 3 (CIRC)	O		
Alcool butylique	F	-	-	N	-	N
éthanol	I	Neurotoxique (HSDB)	-	N	-	N
chlorure de vinyle monomère (CVM)	F	chgt cellulaire (US-EPA) hépatotoxique (ATSDR)	A (US EPA) 1 (CIRC) foie, cerveau, poumon, système hématolymph opoiétique	O	F	O

Tableau 5 : tableaux récapitulatif des critères de choix de traceurs de risque pour la zone 1
*SNC : système nerveux central

Il convient de signaler à nouveau que cet inventaire ne constitue qu'une base minimum à l'établissement du choix des traceurs de risque. Il devra être complété pour les sites industriels dont les données d'émission ne sont que parcellaires ou incomplètes (raffinerie de Feyzin notamment).

3-2-5-3) Traceurs de risque : récapitulatif

En définitive, le choix des traceurs de risque sur la zone recouvrant le sud de l'agglomération lyonnaise s'établit comme suit :

- benzène
- 1,3-butadiène
- 1,2-dichloroéthane
- formaldéhyde
- acétaldéhyde
- dibromoéthane
- tétrachloroéthylène (perchloréthylène)
- chlorure de vinyle monomère

Un exposé du potentiel dangereux de chaque substance est fourni en annexe 10.

3-2-6) Cas des mélanges de polluants : état des lieux et perspective d'application à notre cas d'étude

Ce mode de présentation des données ne doit pas faire oublier que l'air respiré dans les zones d'étude est un mélange extrêmement complexe dans lequel les multiples COVNM et autres gaz et aérosols subissent des interactions physiques et chimiques. L'effet propre de chaque élément devient alors difficilement discernable.

La réalisation d'une évaluation des risques sanitaires en rapport avec une exposition à des agents multiples pose le problème des interactions possibles entre les divers constituants du mélange considéré. Elles peuvent affecter la cinétique des substances chimiques (absorption, distribution, métabolisme, stockage et élimination) comme leur activité toxique sur les cellules et les organes cibles. De telles interactions peuvent conduire à un effet global supérieur à la somme des effets des substances prises individuellement (synergie) ou au cas contraire inférieur (antagonisme). Dans d'autres cas, les différentes molécules dangereuses ont des effets identiques qui s'additionnent entre eux (additivité), ou encore leurs effets toxiques – totalement indépendants les uns des autres – se juxtaposent sans interférence (indépendance).

Les études d'identification des dangers relatifs à une exposition à des mélanges d'agents toxiques sont encore rares. Quand elles existent, l'exploitation de leurs résultats en ERS soulève l'épineuse question de la transposition de données obtenues avec une autre association moléculaire, qui s'écarte nécessairement du mélange considéré par les proportions de ses constituants élémentaires et/ou leur nature. Il est utile de souligner que c'est la composition du mélange au point d'exposition humaine qui doit être prise en compte dans l'évaluation, et non à la source de pollution [18].

Ces quinze dernières années, l'étude des mélanges de substances toxiques est devenue une sous-discipline sans cesse croissante de la toxicologie. Il est vrai que les expositions "mixtes" sont omniprésentes et constituent la règle plutôt que l'exception. Pourtant, jusqu'à aujourd'hui, environ 95% des sources de données en toxicologie sont dédiées à l'étude de composants seuls. Les programmes de recherche incluent notamment la modélisation PBPK/D (physiologically based pharmacokinetic/pharmacodynamic) qui incorpore les interactions possibles entre composants selon une même voie métabolique, l'utilisation de

concepts physico-chimiques dans l'élucidation des interactions toxicologiques, le développement d'outils statistiques et la modélisation mathématique du processus d'action des mélanges cancérigènes. Plus concrètement, des études expérimentales ont été menées sur des mélanges auxquels les populations sont couramment exposées, notamment dans le domaine de la qualité de l'air : émissions diesel, échantillons d'air urbain, fumée de cigarette, fumées de fonderie, émissions d'incinérateur [39], [40]. Les COVNM constitue dans ce cadre un axe d'étude prépondérant. Par exemple, on retrouve ainsi cités de manière récurrente le formaldéhyde, l'acétaldéhyde et l'acroléine, tous trois aldéhydes, pour leur action conjointe dans l'incidence de pathologies nasales.

Dans l'état actuel des connaissances, un tel raisonnement ne sied pas à notre cas d'étude. En effet, étant donné la complexité du mélange atmosphérique de COVNM et de ses conséquences potentielles en terme de toxicologie humaine, il n'existe pas de méthodologie générale pouvant être appliquée directement. Les modalités de son application doivent être abordées grâce à l'utilisation de guides méthodologiques sur le sujet [41], [42]. Ceux-ci développent notamment le concept d'indice de danger, ou Hasard Index (HI) en anglais, qui est l'approche la plus appropriée pour les mélanges de substances qui causent le même effet par le même mécanisme d'action. Dans ce cas, concernant les effets non cancérigènes, cet indice de danger est défini comme étant la somme de tous les ratios de dangers propres à chaque composant du mélange chimique. Cette méthode a été récemment développée par l'ATSDR pour l'évaluation des risques sanitaires liés à l'exposition au BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes) [43]. Ces COVNM sont omniprésents dans l'environnement et de plus en plus mesurés en routine, accompagnant les industries utilisatrices de solvants notamment et le trafic automobile. Aucune donnée n'est disponible quant aux potentialités toxiques et cancérigènes d'un tel mélange. Ainsi, une approche qui considère à la fois les effets critiques partagés par toutes les substances (neurologiques) et les effets propres à chaque composants (hématologiques/immunologiques/cancérigènes) doivent être pris en compte.

En définitive, une telle démarche mérite d'être abordée dans une problématique COV/santé. Elle présente cependant l'inconvénient d'être sélective. Il convient donc de répéter qu'une étude fouillée des modalités d'application des méthodologies préconisées par l'US-EPA et l'ATSDR s'avère indispensable quant à l'évaluation sanitaire (cancérogénicité dans notre cas d'étude) d'un mélange atmosphérique de substances toxiques.

3-3) DÉFINITION DES VALEURS TOXICOLOGIQUES DE RÉFÉRENCE (VTR)

La relation dose-réponse, spécifique d'une voie d'exposition, établit un lien entre la dose de substance mise en contact avec l'organisme et l'occurrence d'un effet jugé critique. Cette fonction est synthétisée par une entité numérique appelée indice ou valeur toxicologiques de référence (VTR).

Deux catégories de relations dose-réponse sont considérées en ERS, selon des hypothèses conventionnelles sur les mécanismes mis en jeu dans la survenue des effets toxiques :

- les effets à seuil (déterministes)
- les effets sans seuil (stochastiques)

Dans le cas de notre étude, la mesure de l'effluent n'est pas souvent sélective et ne quantifie par exemple que les hydrocarbures totaux. Ainsi, en l'absence de données toxicologiques sur tous les éléments d'une famille de substances devant être prise en compte dans l'évaluation, il est parfois recommandé de mener celle-ci en appliquant à l'ensemble de cette famille une valeur toxicologique de référence de l'élément connu au sein de cette famille comme le plus toxique, en utilisant par exemple le benzène comme référence permettant d'évaluer le risque

cancérogène pour une mesure disponible en COVNM totaux [34], [44]. Cette démarche ultra-majorante n'est pas acceptable ici car elle ne va pas dans le sens d'une amélioration de la caractérisation des émissions.

La sélection des valeurs toxicologiques de référence de chaque substance choisie s'opère par consultation de travaux d'expertise et elle doit être faite en tenant compte de :

- la durée de l'exposition considérée : exposition chronique (de quelques années à la vie entière)
- la voie d'exposition étudiée : l'inhalation
- les effets considérés : chroniques systémiques et cancérogènes
- des justifications scientifiques apportées [18]:
 - ✓ l'étude d'origine, la méthode de dérivation, les facteurs d'incertitude et leur justification, la date d'actualisation de la valeur toxicologiques sont décrits
 - ✓ la voie et la durée minimale d'exposition , l'organe cible et l'effet critique sont précisés,
 - ✓ l'étude d'origine porte sur l'espèce humaine
 - ✓ la position de la dose (externe ou interne) est explicite
 - ✓ la valeur des facteurs de biodisponibilité de la substance (extraction et absorption) est fournie
 - ✓ en cas d'équivalence des critères précédents, l'indice toxicologique le plus conservatoire pour la santé publique

Les sources d'informations concernant les données toxicologiques et les VTR figurent en annexe 11.

Les VTR intéressant les polluants choisis dans le cadre de l'étude sont reportées en annexe 10.

3-4) EVALUATION DES EXPOSITIONS

L'exposition à une substance toxique dépend :

- De sa concentration dans les compartiments environnementaux et de son comportement physico-chimique
- Des voies et des conditions d'exposition des individus en contact avec cette substance

L'exposition est caractérisée par sa durée et sa fréquence et par le niveau de concentration. Les quantités de COVNM inhalés sont calculés à partir des hypothèses formulées sur les activités et le comportement des populations. Pour la voie respiratoire, on s'intéresse à la concentration moyenne inhalée qui s'exprime en mg ou µg de polluant par mètre cube.

L'évaluation de l'exposition humaine aux contaminants atmosphériques est aujourd'hui considérée comme insuffisamment maîtrisée et constitue donc un maillon faible dans l'étude des relations entre santé et pollution de l'air. Sur le terrain, c'est un problème souvent très difficile à résoudre en raison de la multiplicité des environnements fréquentés par les citoyens, de la diversité des polluants présents et de la variabilité spatio-temporelle de leur teneur. En général, les professionnels de la santé publique utilisent, comme variable environnementale, une mesure collective de l'exposition issue des enregistrements des stations fixes des réseaux de surveillance [45].

Ceux-ci n'incluent que très rarement la mesure des COVNM en routine. Ainsi, en Rhône-Alpes, les réseaux COPARLY et ASCOPARG disposent de deux analyseurs BTX (Benzène-Toluène-Xylènes) chacun. Il s'agit de capteurs de proximité (stations industrielles et de trafic) qui ne sont par conséquent pas représentatifs des niveaux de fond.

Deux alternatives se proposent à nous pour établir un indicateur d'exposition fiable : la **mesure** et la **modélisation** de l'exposition. Il s'agit de développer les modalités d'application de ces deux méthodes dites "indirectes".

L'approche dite "directe" consiste à effectuer, en continu sur une période donnée, une mesure personnalisée de l'exposition à un ou plusieurs polluants d'un ensemble d'individus représentatifs de la population ciblée par l'étude. Cette évaluation est le plus souvent obtenue par l'utilisation de capteurs ou d'analyseurs portatifs mais le biomonitorage peut également apporter une contribution. Il s'agit cependant d'études contraignantes qui se révèlent difficiles voire impossibles à généraliser sur de grandes populations. Cette option est à écarter de notre étude à cause de la lourdeur de sa mise en application.

3-4-1) Métrologie et modélisation : deux outils pour quantifier l'exposition

La métrologie et la modélisation sont des outils complémentaires dans la quantification de l'exposition et du risque qui possèdent chacun des avantages et des inconvénients. On cherchera autant que possible à mettre en accord les résultats de la modélisation avec des mesures existantes en tenant compte à la fois de la variabilité des mesures et de l'imperfection des modèles.

3-4-1-1) Des émissions aux immissions

Les émissions décrites précédemment représentent de manière très imparfaite les expositions des personnes. Un grand nombre de facteurs physico-chimiques (pour les COVNM : oxydation par le radical OH dans la troposphère, réaction avec d'autres espèces réactives, photolyse, décomposition sèche ou humide) et les processus dynamiques de transport des polluants dans la troposphère conditionnent, à partir des sources d'émission (industrielle, résidentielle, trafic,...), les teneurs ambiantes des différents polluants, qu'ils soient primaires ou secondaires. Ces valeurs de concentration ambiante sont appelées **immission**.

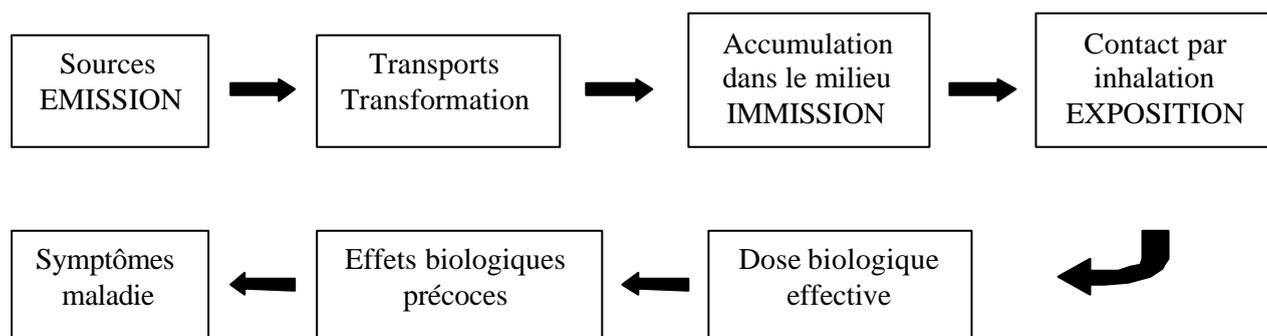


Figure 3 : schéma de principe d'exposition aux polluants atmosphériques

3-4-1-2) Métrologie des COVNM : modalités d'application

3-4-1-2-1) Mise en place d'une campagne de mesure et recueil des données pertinentes

Les connaissances acquises concernant les effets liés à la présence des COVNM dans la basse troposphère sont aujourd'hui telles qu'une surveillance continue de leurs niveaux de concentration dans l'air apparaît désormais indispensable. Pourtant la mise en œuvre des actions de mesure n'est encore qu'aux premiers stades de développement et la plus grande part des données de concentrations des COVNM dans l'atmosphère est issue d'opérations

ponctuelles de mesure. Hormis quelques travaux ponctuels⁶ [46], la région Rhône-Alpes ne déroge pas à cet état de fait. Il s'agit donc d'entreprendre des campagnes de mesure sur les sites d'étude.

3-4-1-2-1-1) Une nécessité : travailler en collaboration avec les réseaux de mesure de la qualité de l'air

Le grand nombre de COVNM présents dans l'air ambiant, leurs diverses caractéristiques physico-chimiques, les contraintes liées au milieu et la présence de composés interférents sont autant de contraintes à leur mesure et leur analyse. Il faudra être à même de choisir à bon escient des paramètres comme : le lieu et le mode de prélèvement, sa durée ainsi que sa fréquence pour que l'analyse qui suivra conduise à des résultats fiables. Le problème de la **représentativité** du milieu est donc loin d'être simple et nécessite des connaissances approfondies dans de très nombreux domaines. En outre, le choix de la méthode de prélèvement et d'analyse relève d'un travail important de compilation bibliographique et méthodologique [1]. Cette travail ne pourra être effectué correctement sans l'appui expert des réseaux de la qualité de l'air.

3-4-1-2-1-2) Prélèvements

Le prélèvement par tubes à diffusion passive représente la méthode de mesure la plus adaptée à la connaissance de la pollution atmosphérique de fond à l'échelle des zones d'étude sélectionnées. En effet, les tubes à diffusion passive, de faible coût et de mise en œuvre simple, permettent d'instrumenter un nombre important de sites de mesure provisoires afin de mener une surveillance intensive de la qualité de l'air [46]. Le spectre des COVNM mesurés doit inclure au minimum les polluants identifiés comme dangereux pour la santé sur la zone d'étude. Compte-tenu des COVNM à mesurer, une technique de piégeage courante peut être retenue ou une technique spécifique doit être recherchée et mise au point [1].

Le principe de l'échantillonnage passif (adsorption statique), préconisé plus haut, repose sur la collecte de polluants gazeux ou à l'état de vapeur pour lesquels la vitesse de captation est contrôlée par diffusion ou par perméation à travers une membrane. Les processus de diffusion et de perméation sont décrits par dérivation de la première loi de Fick qui relie mathématiquement la masse de composé collectée au gradient de concentration dans la zone de diffusion, à la durée d'exposition et à la surface de l'adsorbant [46]. Chaque adsorbant est plutôt spécifique d'une catégorie de composés. Si l'air à analyser comporte des polluants de nature très variables, il sera peut-être nécessaire d'utiliser plusieurs tubes adsorbants ou de réaliser un mélange d'adsorbants au sein d'une même cartouche. Une approche méthodologique a été proposée pour trouver le mélange d'adsorbants le plus efficace vis-à-vis d'une situation particulière et créer ainsi la cartouche multi-adsorbants la plus appropriée à la situation. Sur ce point, la collaboration de laboratoires d'analyses de la qualité de l'air semble être nécessaire [1].

L'implantation des points de mesure doit viser à caractériser la pollution de fond, c'est-à-dire les niveaux de pollution moyens représentatifs de l'exposition moyenne de la population sur un secteur donné, hors influence directe d'une source d'émission voisine du point de mesure.

La connaissance de cette exposition moyenne aux COVNM soulève le problème de leur représentativité spatio-temporelle. Contrairement aux polluants acido-particulaires et photo-oxydants "classiques" dont les comportements respectifs sont étudiés et connus depuis plusieurs années, les COVNM ne jouissent pas d'un recul scientifique suffisant pour conclure objectivement sur la représentativité de leur mesure dans l'espace et le temps. En d'autres

⁶ COPARLY, ASCOPARG et SUPAIRE ont établi une cartographie des niveaux de fond en benzène sur les départements du Rhône et de l'Isère lors de deux campagnes de mesure, courant 2002.

termes, il est toujours possible d'effectuer un prélèvement en un lieu donné. Le problème est de savoir si un autre prélèvement, situé à proximité du point précédent, donne un résultat analytique analogue. La méthode appropriée consiste à mailler le territoire d'étude [1]. Avant d'effectuer un prélèvement, il s'agit, avec les professionnels de la métrologie atmosphérique, de bien préciser les buts de l'étude, d'avoir une idée des caractéristiques du milieu pour effectuer un maillage valable, de faire un bilan des paramètres qui font qu'une ou plusieurs mailles seront sélectionnées et/ou de choisir les points de prélèvement les plus représentatifs du milieu concerné.

Une étude menée en 1997 sur l'influence d'émetteurs fixes sur la concentration ambiante en COVNM nous permet d'appréhender cette notion de représentativité des mesures [47]. En étudiant l'influence d'une usine pétrochimique grâce à 3 sites de mesure situés à différentes distances de l'émetteur, les auteurs mettent en évidence une forte disparité de concentrations des familles de COVNM (aromatiques, alcanes, aldéhydes, halogénés,...). Ceci suggère que, d'une part, de nombreux émetteurs peuvent contribuer à l'émission d'un même composé dans l'air ambiant et que, d'autre part, les différentes compositions de polluants aux points de mesure sont caractéristiques de sources d'émission spécifiques.

3-4-1-2-1-3) Définition de la période d'étude

Les expositions à considérer sont de type chronique. La période d'étude doit donc correspondre à une fraction de la durée de vie significative. La durée minimale préconisée est une année, soit deux saisons tropicales (du 1^{er} avril au 30 septembre pour la période estivale et du 1^{er} octobre au 31 mars pour la période hivernale). Compte tenu des moyens (matériels et financiers) mis en jeu, la campagne de mesure envisagée ne peut raisonnablement pas s'étaler sur une année. Par conséquent, la période de mesure doit être définie de telle sorte qu'elle puisse permettre d'estimer le plus précisément possible la concentration moyenne annuelle de chaque COVNM. En ce sens, une étude menée en 2000 qui traite de la mesure des COVNM sur de longues périodes [48], indique que les concentrations en COVNM dans l'air ambiant fluctuent significativement d'un jour à l'autre, reflétant le niveau des activités socio-économiques et les conditions météorologiques (direction du vent en l'occurrence). Les auteurs en arrivent à la conclusion que les COVNM peuvent être mesurés sur des périodes d'une semaine minimum pour garantir la représentativité des résultats. Il serait tout de même préférable de vérifier que chaque COVNM considéré répond à ce critère. Selon les moyens matériels, financiers et humains mis à disposition, la durée de mesure peut s'échelonner d'une semaine à un mois et, dans la mesure du possible, être reconduite plusieurs fois au cours d'une même année pour accroître la représentativité des mesures.

3-4-1-2-2) Limites

Au rang des principales limites au choix de la métrologie réside la difficulté de la résolution des problèmes analytiques. En effet, les coûts élevés des analyses et de l'appareillage mais également la complexité de ces mesures empêchent une résolution aisée. Cette forte contrainte financière se justifie d'une part par l'achat de plusieurs tubes passifs et d'autre part par l'intervention obligatoire d'analystes [1]. Ensuite, il s'agit ici de revenir sur le souci lié à la représentativité des mesures évoquée plus haut et qui remet en cause l'investissement de moyens importants dans une campagne de mesure.

3-4-1-3) La modélisation : quelles perspectives ?

La pertinence du recours à une méthode donnée de mesure de l'exposition dépend de la précision et de la validité attendues de cette méthode. En pratique, elle dépend également des

alternatives et des moyens disponibles. Dans le cadre d'une EIS, en l'absence d'informations sur l'exposition des sujets, on pourra être amené à utiliser la modélisation pour estimer cette dernière [49].

On appelle modèle la représentation mathématique d'un ensemble de phénomènes naturels. La modélisation permet de réduire une réalité physique complexe à un ensemble de relations mathématiques qui vont permettre d'effectuer des simulations.

Dans notre cas d'étude, la finalité d'utilisation d'un modèle est double : cela permet d'une part d'apprécier de manière plus fine la définition des zones d'étude et d'autre part, de donner une estimation rapide des niveaux d'exposition en COVNM dans l'air ambiant.

En outre, la modélisation présente un autre avantage : ses faibles coûts de mise en œuvre. Le coût de la méthode reste un facteur déterminant dans le choix d'une méthodologie de mesure de l'exposition.

La mise en œuvre du ou des modèles adéquats pourra être confiée à une structure compétente ou être développée en interne. L'analyse des résultats de simulations nécessitera toujours néanmoins la collaboration de spécialistes.

Les étapes de la démarche de modélisation sont :

- examen de la situation
- choix de la méthode de mesure de l'exposition
- choix du modèle
- détermination des données à collecter
- détermination de leur mode de recueil
- recueil des paramètres d'entrée du modèle
- réalisation de la modélisation
- analyse et interprétation des résultats de la modélisation

3-4-1-3-1) Les processus de la dispersion atmosphérique

La dispersion atmosphérique est constituée de deux processus principaux : le transport et la diffusion. On peut illustrer ces deux processus en considérant un nuage de polluant à deux instants différents. Le déplacement du centre de gravité du nuage entre ces deux instants est le processus de transport. La dilution de ce nuage par mélange avec l'air ambiant pendant le même temps, c'est-à-dire le déplacement relatif des volumes élémentaires constituant le nuage par rapport à leur centre de gravité, constitue le processus de diffusion. Ces deux processus sont liés aux mouvements atmosphériques dans lesquels on distingue habituellement, bien que de façon un peu arbitraire, le vent moyen et la turbulence. Ils sont aussi liés aux caractéristiques propres du gaz à sa sortie dans l'atmosphère (vitesse, température, densité, réactivité) si celles-ci diffèrent de celles de l'air ambiant [1].

Les principaux facteurs qui interviennent dans le transport et la diffusion d'un polluant sont [49] :

- le débit et la température d'émission, la hauteur effective du rejet (plus elle est grande, plus les immissions au sol sont faibles)
- la dilution par les vents (rôle de la vitesse du vent) et l'enlèvement par les vents ou "advection" (qui dépend de la direction de la vitesse et du vent)
- les flux turbulents qui entraînent une dispersion latérale et verticale du polluant (les flux verticaux jouant un rôle important dans la déposition au sol). L'effet des turbulences constitue le facteur le plus difficile à traiter mathématiquement dans un modèle.
- la structure thermique de l'atmosphère (qui favorise l'expansion verticale des polluants dans la couche de mélange) ; plus l'atmosphère est instable, plus la dispersion du panache est importante

- les transformations chimiques des polluants et notamment les réactions de formation de l’ozone qui impliquent à part entière les COVNM.
- les précipitations
- la nature des obstacles au sol et la topographie du terrain

3-4-1-3-2) Renseigner le modèle : les données d’entrée

Renseigner un modèle nécessite généralement deux types de données d’entrée : données d’émission et données météorologiques.

- ✓ **Données d’émission** : Elles doivent inclure avec le plus d’acuité possible les émissions issues des différentes sources présentes sur la zone. La caractérisation de ces émissions et les lourdes difficultés inhérentes à une définition précise de celle-ci fait l’objet d’un long paragraphe (cf § 3-1). Cependant, il convient de rappeler que trois sources d’émission se distinguent : les sources canalisées, les grandes sources linéiques et les sources diffuses. Chacune d’elle nécessite des moyens et des exigences variées en terme de modélisation. Les émissions associées aux sources canalisées sont qualifiées comme étant “aisément” quantifiables [34]. En effet, la géométrie de la source (forme, taille, hauteur) ainsi que ses propriétés physiques et thermodynamiques (vitesse d’éjection, densité, température du polluant rejeté) peuvent être mesurées ou modélisées et directement fournies au code de calcul de la dispersion. Nous avons déjà souligné plus haut que ces caractéristiques demandent des investigations poussées. Les modèles de type gaussiens y sont bien adaptés, ayant à l’origine été spécifiquement développés pour reproduire leur comportement atmosphérique. Les grandes sources linéiques font elles aussi l’objet de nombreuses recherches dans ce domaine, notamment dans l’espace urbain, et une grande diversité de modèles sont aujourd’hui disponibles [50]. Les sources diffuses, dont la contribution peut s’avérer importante, peuvent être appréhendés à l’aide de modèles tridimensionnels. Ceux-ci sont les plus adaptés au traitement de ces rejets. Tout le problème réside dans la quantification de l’émission associée, difficilement mesurable. Il est cependant essentiel de surmonter cette difficulté si l’on veut espérer réaliser une modélisation correcte des phénomènes.

Les zones d’étude marient ces trois types d’émetteurs, ce qui en fait la configuration la plus complexe qui soit en terme de modélisation de la dispersion atmosphérique [communication personnelle avec Mr Wroblewski, professeur à l’école des mines de Douai]. Il convient aussi de rappeler que les COVNM sont des précurseurs de la formation d’ozone. Ainsi, la dégradation photochimique doit être prise en compte comme paramètre d’entrée du modèle (par l’intermédiaire du potentiel photochimique des polluants considérés). La prise en compte de phénomènes de dégradation des substances au cours du temps peut nécessiter une acquisition de données d’ajustement du modèle, comme la mise en place d’essais de biodégradation dans les conditions du site. De telles manipulations ne sont pas envisageables dans le cadre de notre étude. En première approche, on pourra ne pas considérer la transformation photochimique, ce qui majore l’évaluation des concentrations de polluants dans l’air ambiant.

- ✓ **Données météorologiques** [34] : Elles incluent la température, la vitesse et la direction du vent et tout élément susceptible d’évaluer la stabilité atmosphérique. Sur ce dernier point - le plus difficile à appréhender – certaines stations de Météo France peuvent fournir avec un pas horaire la nébulosité (en octats avec une valeur de 1 à 8), l’ensoleillement, le rayonnement. Il est alors possible d’en déduire une classification de la stabilité atmosphérique via des tables de correspondance bien

connues dans la littérature. Météo France peut parfois fournir directement ce résultat sous forme de roses de stabilité. Une information sur la hauteur de la couche de mélange peut s'avérer également très pertinente, notamment en situation d'inversion de température.

Météo France dispose de plusieurs stations par département susceptibles de fournir des informations sur le vent et la température. Il faut accorder un soin particulier au choix de la station utilisée pour représenter la météorologie sur le site étudié. Le problème est la prise en compte des effets de vent locaux (en particulier en présence de relief) qui implique que le vent sur le site ne présente pas les mêmes caractéristiques que celui au niveau de la station. Météo France devrait prochainement proposer un service permettant d'obtenir, par extrapolation numérique, la rose des vents de la zone concernée, à partir de celle d'une station météorologique proche, en tenant compte du relief. Ceci peut avoir des applications intéressantes dans le cadre de certaines zones d'étude sujettes à des variations de relief remarquables.

La nébulosité est, quant à elle, évaluée le jour avec un pas tri-horaire en un nombre restreint de points (au moins un par département). En combinant ces différentes sources d'informations, Météo France peut fournir une information sur la nébulosité sur la zone d'étude. Ces considérations illustrent bien combien il est délicat d'ajuster convenablement les données au problème que l'on souhaite traiter. L'exercice de modélisation consiste à simuler l'ensemble des situations météorologiques recensées sur une période représentative (5 ans typiquement) et à en déduire une évaluation des concentrations annuelles. Les situations météorologiques sont en principe regroupées par classe de caractéristiques similaires auxquelles on affecte des fréquences d'apparition. Les valeurs de concentration annuelles sont obtenues en effectuant la moyenne des valeurs calculées pour chaque classe, pondérée par sa fréquence d'apparition.

- ✓ **Autres paramètres** : D'autres phénomènes pourront être pris en compte pour accroître le degré de précision de l'étude :
 - l'effet du terrain peut être important, notamment en cadre urbain. Il peut modifier le flux du vent. On pourra ainsi être amené à considérer la rugosité du terrain, le type de végétation, la présence de collines, de montagnes, d'immeubles.
 - la dissolution des COVNM sous forme gazeuse sur les particules en suspension dans l'air
 - l'adsorption des polluants sous forme gazeuse sur les particules en suspension dans l'air
 - les précipitations qui réduisent les quantités de polluant dans l'atmosphère
 - la photolyse, c'est-à-dire la dégradation des composés par le rayonnement solaire.

3-4-1-3-2) Quels modèles [34]

La mise en œuvre d'un modèle de dispersion n'a pas pu être développée au cours de ce travail. Il s'agit cependant de dresser un état des lieux de la modélisation de la dispersion atmosphérique et d'en tirer des perspectives d'application éventuelle à notre étude. Pour cela, cette section s'inspire des travaux menés par l'INERIS dans le cadre du guide méthodologique "Evaluation des Risques Sanitaires dans les Etudes d'Impact des ICPE – substances chimiques".

- ✓ Les modèles gaussiens

De manière générale, il s'agit là des modèles les plus utilisés pour les études de rejets industriels. Il ont d'ailleurs été développés dans cet optique.

Le traitement des sources non ponctuelles (c'est-à-dire linéiques ou surfaciques) fait l'objet de traitements spécifiques dans les modèles gaussiens. Plusieurs méthodes sont ainsi rencontrées :

- l'intégration numérique d'une infinité de sources ponctuelles qui représentent la source réelle
- le découpage de la source en un nombre fini de sources ponctuelles judicieusement placées et paramétrées en fonction du vent et de la position des récepteurs.
- l'assimilation de la source surfacique à une source ponctuelle à localiser correctement de manière à retrouver les caractéristiques de la source réelle au niveau de la dispersion (principe du point source virtuel)

Des résultats relativement discordants peuvent être obtenus suivant la technique employée. Il s'agit là d'une limitation dans l'usage des modèles gaussiens.

Dans tous les cas, le plus grand avantage de ces outils reste leur faible coût de mise en œuvre qui permet de réaliser un nombre important de simulations et donc d'établir des bilans annuels ou pluriannuels, en de nombreux points de la zone d'étude.

L'investissement en moyens humains et matériels est relativement faible. En effet, l'usage pertinent de ces modèles repose avant tout sur l'expérience de terrain et les concepts pragmatiques sur lesquelles ils s'appuient ne requièrent pas de connaissances poussées en analyse numérique.

Ces modèles sont souvent utilisés dans des configurations long terme pour extraire des moyennes annuelles de concentrations en polluant. Des logiciels tels que ADMS3 et Aria Impact, modèles commercialisés respectivement par Aria Technologies et le CERC (Cambridge Environmental Research Center), permettent également de réaliser des analyses statistiques pour aboutir à une estimation des percentiles, ce qui peut avoir un intérêt dans notre cas d'étude dans l'établissement de scénarios d'exposition.

Les concentrations sont en général représentés par des coupes horizontales qui permettent de visualiser la concentration de polluants sur l'ensemble du domaine d'étude. Le système de représentation, s'il est connecté avec un Système d'Information Géographique (SIG), aboutit à la création de cartographies facilement interprétables.

✓ Les modèles eulériens tridimensionnels

Ces modèles constituent la seule alternative raisonnable pour le traitement numérique de certains types de simulations complexes telles que :

- Les zones de fort relief (à fortiori les montagnes)
- Les situations dans lesquelles on souhaite évaluer l'impact de la source en champ proche et en présence d'obstacles (tel qu'en milieu urbain)
- La prise en compte correcte des sources diffuses, paramètre non négligeable pour notre étude

Leur contexte d'utilisation est radicalement différent de celui évoqué précédemment puisque :

- Ces modèles sont lourds à mettre en œuvre (place mémoire et temps de calcul)
- Ils résultent de l'implantation numérique de techniques sophistiquées pour approcher les équations de la physique et ne peuvent donc être appliqués de manière pertinente que par des utilisateurs avisés. En effet, la génération

d'un maillage cohérent, l'identification et la neutralisation d'éventuels artefacts numériques sont autant de difficultés qui ne peuvent être surmontées sans un niveau de connaissance suffisant.

Pour ces raisons, leur usage est souvent limité à la simulation de situations ponctuelles, caractéristiques d'un type de condition météorologique pour lesquelles le calcul est effectué. Le choix de ces situations est dicté par la prédominance de tel ou tel vent sur le site (après analyse de la rose des vents), la recherche de scénarios majorants et donc pénalisants du point de vue de la dispersion, la proximité de zones sensibles.

De manière générale, ces outils sont relativement onéreux. Le prix d'une licence est de l'ordre de 25 à 40 kEuros. Il faudra intégrer en complément du module de calcul, les outils annexes nécessaires à leur utilisation (outil de définition de la géométrie, outil de maillage, post-processeur pour la représentation).

Quelques produits disponibles, soit gratuitement via internet soit commerciaux, sont sommairement décrits dans le document de l'INERIS cité plus haut. En tout état de cause, l'éventualité de leur application à notre étude doit faire l'objet d'une concertation avec les professionnels de la modélisation de la dispersion atmosphérique et de l'exposition des personnes aux polluants associés : réseaux locaux de la qualité de l'air, laboratoires universitaires, cabinet d'expertise entre autres. Il est indispensable, d'une part, que l'évaluateur sache quels sont les phénomènes qui sont ou non pris en compte dans le modèle et, d'autre part, qu'il connaisse les hypothèses simplificatrices qui sous-tendent le modèle et les conditions d'application. En définitive, le choix d'un modèle dépendra de sa propension à intégrer les COVNM dans les codes de calcul, du degré de précision requis de l'analyse, des moyens matériels, humains et financiers disponibles et de la qualité et la quantité de données disponibles.

3-4-1-4) métrologie/modélisation : critères de choix

La métrologie et la modélisation sont des outils complémentaires dans la quantification de l'exposition. Ils possèdent chacun des avantages et des inconvénients. Ces méthodes fourniront des données valides et précises lorsqu'elles seront combinées. On cherchera alors à mettre en accord les résultats de la modélisation avec des mesures existantes en tenant compte à la fois de la variabilité des mesures et de l'imperfection des modèles.

Si, étant donné les moyens importants qu'elle réclame, l'association métrologie-modélisation n'est pas réalisable, quelles sont alors les critères de choix propres à chaque démarche ? Il s'agit là de synthétiser leurs intérêts et limites afin de proposer des actions applicables au contexte d'étude.

Tout d'abord, la métrologie s'avère prioritaire. Dans le cadre de notre étude, qui n'est pas une étude prédictive, les résultats d'analyse constituent la meilleure estimation de l'exposition au moment présent. Elle permet d'intégrer la configuration complexe des zones d'étude. La mesure des COVNM comporte quelques contraintes de taille. La première réside dans le coût très élevé d'une campagne de mesure et de son analyse. La seconde concerne la représentativité des mesures, faible en l'occurrence étant donné le peu de recul scientifique que l'on a face à la présence de ces composés dans l'air ambiant.

Concernant la modélisation, globalement, son intérêt réside dans sa reproductibilité. Une fois développé, un modèle peut alors s'avérer être un bon outil de prédiction à l'échelle de la zone lors de changement éventuels de configuration (changement de process, installation d'une industrie sur la zone, ...). Cependant, les modèles sont fondés sur des hypothèses et des simplifications qui, par conséquent, influent sur la justesse du résultat. Une difficulté inhérente à tous types de modèles pour notre étude repose sur la difficulté de lui fournir des données d'émissions précises, étant donnée la complexité du problème. Pour que le modèle

conserve son intérêt, il faut que les phénomènes déterminants soient pris en compte. Parmi les types de modèles exploitables ici se distinguent les modèles gaussiens et les modèles eulériens. Les premiers sont peu coûteux, faciles à mettre en œuvre et permettent une obtention rapide des résultats. A leur décharge, ils sont basés sur des formulations qui supposent des hypothèses fortes pouvant induire en erreur. Les seconds, par leur complexité, nécessitent des moyens (humains, financiers, techniques) importants compensés par une meilleure capacité à gérer des situations telles que celles étudiées, notamment dans la prise en compte des sources diffuses.

D'une manière générale, les moyens à mettre en place dépendent de l'acuité du problème et du rapport coût/bénéfice attendu de ces moyens dans la résolution du problème.

3-4-1-5) Propositions pour quantifier l'exposition

Dans notre cas, on peut préconiser, dans la mesure du possible, de coupler les résultats d'une campagne de mesure par tubes passifs à ceux obtenus par un modèle gaussien. Cette seconde phase s'avère d'ailleurs essentielle pour permettre une estimation spatiale du problème de pollution.

Cette démarche paraît être celle qui répond le mieux aux exigences de faisabilité (meilleur rapport coût/bénéfice) de quantification de l'exposition aux COVNM. Etant donné les moyens mis en jeu, une campagne préliminaire peut être mise en application sur la zone d'étude la plus représentative du problème étudié. Il s'agit dans notre cas de la zone recouvrant le sud de l'agglomération lyonnaise (Feyzin-Pierre Bénite-Vénisseux-Saint Fons).

Une telle campagne ne peut être menée sur une année entière en continu (§ 3-4-1-2-1-3). On peut donc séquencer ces mesures sur la base de durées leur garantissant une certaine représentativité : soit huit fois une semaine, soit quatre fois deux semaines. Ces campagnes doivent être réparties uniformément dans le temps de façon à tenir compte des variabilités saisonnières.

Aucune proposition concrète ne peut être faite quant à une définition précise du maillage de la zone d'étude ainsi que du nombre de capteurs nécessaires. Ces points sont à discuter avec les métrologistes (réseaux de mesure de la qualité de l'air).

Les données brutes de mesure doivent aboutir à la construction d'indicateurs de pollution. La méthode à employer peut être appréhendée après l'acquisition des données de mesure en fonction des résultats effectivement obtenus (disparité des valeurs, spécificité d'un polluant vis-à-vis d'un émetteur, validité des mesures,...). En première approche, la méthode à utiliser peut s'inspirer de celle décrite dans [15]. L'estimation de l'exposition repose sur l'hypothèse selon laquelle la moyenne des mesures effectuées sur la zone pour la période d'étude constitue une bonne approximation de la moyenne des expositions individuelles sur cette même période. La construction de l'indicateur d'exposition pour chaque polluant nécessite alors l'utilisation d'outils statistiques : d'une part, pour la sélection des données de mesure qui peut s'effectuer par une étude des corrélatons entre les niveaux d'un même polluant mesuré dans différentes mailles de la zone d'étude (ce qui permet de vérifier l'homogénéité des variations spatio-temporelles) et, d'autre part, pour la définition de l'indicateur d'exposition par le calcul de la moyenne arithmétique des mesures sélectionnées.

3-4-2) Quantification des personnes exposées

3-4-2-1) Définition précise de la zone d'influence

La détermination de la zone d'influence des émetteurs principaux de COVNM est importante car elle conditionne la population qu'il faudra considérer en vue de l'ERS. En préambule à l'étude, les zones d'étude ont été ciblées de manière "grossière". Il s'agit maintenant d'en affiner la définition géographique. Sur ce point, elles présentent la

particularité d'inclure un ensemble d'émetteurs, ne concernant donc ni un site industriel seul ni forcément une agglomération dans son ensemble. A cette échelle, les données bibliographiques et analytiques ne sont pas nombreuses.

Tout d'abord, plusieurs outils permettent d'appréhender la configuration géographique et topographiques des zones d'étude : cartes IGN au 1/25000^{ème} (support papier ou multimédia (logiciels "carto exploreur")), documents d'urbanisme dont notamment le plan d'occupation des sols (POS) disponibles en Mairie. La localisation précise des sites industriels émetteurs peut être obtenue par géocodage. Des prestataires de service, tels que la société de service CLARITAS, calculent la position d'un site à partir de trois données de base : le code postal, le nom de la commune et le nom de la voie. Les coordonnées sont exprimées dans le système de projection Lambert II étendu.

Ensuite, la zone d'influence doit regrouper les zones d'influence de chaque émetteur. Le périmètre global de la zone d'influence englobe les zones d'influence des ICPE soumises à la TGAP référencées plus haut (cf § 3-1-2-3). A ce stade, un modèle simple (gaussien) de dispersion suffit pour estimer chaque zone d'influence dues aux émissions canalisées. Néanmoins, ces outils nécessitent l'apport de données d'émission (localisation des points de rejet, indication des flux et conditions de rejet) et de données météorologiques. Insistons une nouvelle fois sur la difficulté de renseigner exhaustivement les données d'émission dans certaines situations complexes. Par exemple, la raffinerie de Feyzin comporte plusieurs dizaines de rejets canalisés répartis sur plusieurs hectares. Les zones d'influence de chaque grande source ponctuelle intégrées aux zones d'étude (autoroutes) sont elles aussi prises en compte pour affiner la définition de la zone d'influence globale. La pollution atmosphérique primaire générée par un trafic routier suit l'infrastructure. En effet, des analyses le long de plusieurs voies montrent que la pollution décroît de manière gaussienne au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source lorsqu'il n'y a aucun obstacle [35]. Les sources diffuses (trafic urbain, zones résidentielles, activités professionnelles (atelier de peinture, nettoyage à sec,...)) sont difficilement quantifiables et constituent l'agglomération dans son entier. Elles ne sont donc pas prises en compte dans la définition du périmètre de la zone d'influence. La figure_ illustre schématiquement par un exemple le type de résultat obtenu.

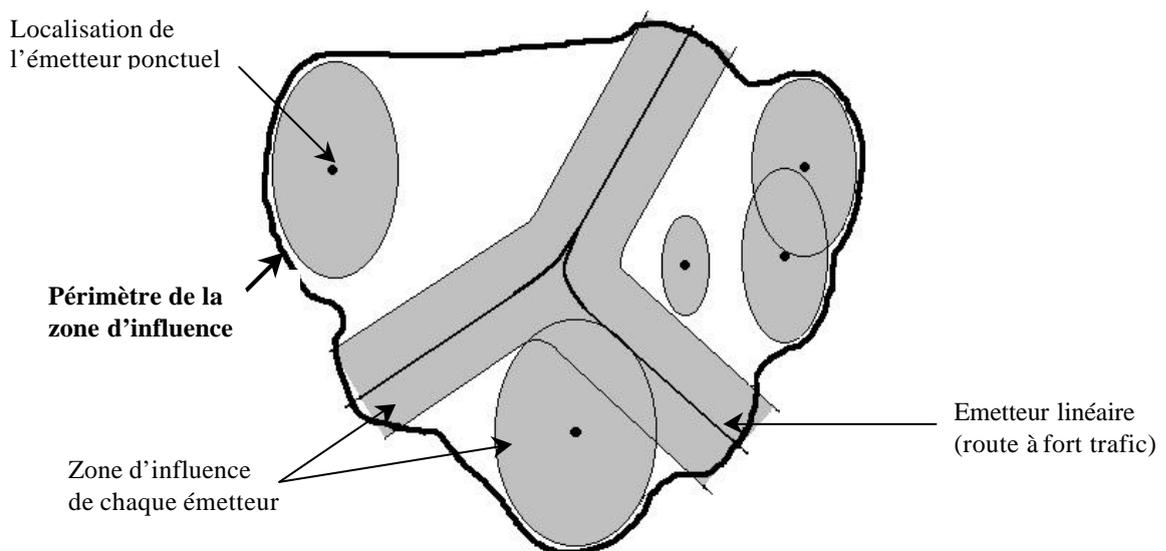


Figure 4 : zone d'influence – exemple (schéma non à l'échelle)

Enfin, la zone d'étude finale (celle sur laquelle on va évaluer les expositions de la population) est donc à priori la zone influencée par les divers émetteurs la constituant où vivent les populations. Sa géométrie peut néanmoins varier selon la prise en compte :

- de sources fixes supposées émettrices non soumises à la TGAP pour lesquelles des données d'émission sont disponibles
- de lieux sans contact entre le milieu et la population
- de la précision des outils de quantification des populations et des exigences en terme de caractérisation de ces mêmes populations

3-4-2-2) Populations concernées

Les personnes potentiellement exposées sont celles qui vivent ou viennent pour des activités professionnelles ou récréatives dans la zone d'influence des émetteurs précités. La caractérisation de cette population nécessite de rassembler les informations ayant trait [51] :

- à sa répartition
- à sa taille

La plus petite entité géographique permettant le moins d'approximation dans le dénombrement des populations à risque est l'îlot de population. L'îlot est avant tout un zonage élémentaire du territoire défini pour des besoins de repérage. En milieu urbain, la notion générale d'îlot INSEE fait référence à une configuration de la voirie. Il s'agit de la plus petite surface délimitée par des voies publiques et/ou privées : l'îlot correspond ainsi à ce que l'on entend communément par pâté de maisons. A cette échelle est disponible la répartition de la population par sexe et cinq tranches d'âge (0-19, 20-39, 40-59, 60-74, 75 ou +). Les zones d'étude peuvent ainsi être modulées par la géométrie des îlots les constituant.

L'utilisation d'un Système d'Information Géographique constitue une excellente alternative. Il s'agit là d'un outil informatique qui permet d'intégrer, de localiser, d'analyser et de représenter des données qui ont ou non une dimension géographique. Dans notre cas d'étude, les données nécessaires sont : les cartes scannées au 1/25000^{ème} de l'IGN, les contours numérisés des IRIS de recensement de l'INSEE. Les IRIS sont définis comme un ensemble d'îlots contigus et ils constituent l'échelon territorial le plus petit de la diffusion infracommunale tout public de la plupart des informations issues du recensement.

L'usage de ces données, couplées à la définition des zones d'influence précitées, permet de moduler les zones d'étude en y incluant les IRIS qui font partie, soit intégralement soit partiellement, des zones d'influence. Ceci doit tout de même être apprécié au cas par cas en fonction de la configuration locale des IRIS.

Les hypothèses ayant trait aux activités et au comportement des populations peuvent être appréhendées par l'intermédiaire de base de données telles que l'Exposure Factor Handbook (US-EPA) ou CIBLEX, établie par l'IRSN pour le compte de l'ADEME. Cette dernière compile les paramètres descriptifs de la population française (âge, sexe, budgets espace-temps, consommations alimentaires...) en fonction de l'occupation des sols (zones continentales, surface des eaux...) et de l'usage type (résidentiel, professionnel, récréatif...) des zones potentiellement concernées par la pollution d'un site. L'échelle spatiale minimale décrite est le département. En outre, les données de navette, qui recensent les déplacements quotidiens entre le domicile et le lieu de travail, peuvent servir à dénombrer le nombre d'actifs qui pénètrent ou sortent de la zone d'étude quotidiennement. Toutefois, l'intérêt de ces données réside dans le choix des scénarios d'exposition retenus.

3-4-2-3) Scénarii d'exposition

L'exposition journalière totale d'un individu à la pollution de l'air est la somme des expositions à la pollution de l'air de cet individu quand il/elle traverse une série de milieux,

également (appelés micro-environnements) durant la journée. L'exposition dans chacun de ces micro-environnements est estimée égale au produit de la concentration du polluant en question par le temps passé dans cet environnement.

C'est dans cette définition que prend source le besoin de définir des scénarii d'exposition. Dans notre cas d'étude, leur établissement est très complexe et ceci pour deux raisons principalement. La première réside dans le fait que le milieu extérieur est une source mineure d'exposition aux COVNM. En effet, on a identifié dans l'air des locaux plusieurs centaines de substances organiques volatiles qui constituent une contamination chimique majeure de l'habitat [52]. A l'intérieur se retrouvent les COV émis dans les locaux et ceux ayant pénétré secondairement [53]. Il y a donc une maigre corrélation entre les niveaux de COVNM retrouvés à l'intérieur et à l'extérieur des locaux qui dépend du taux de renouvellement d'air et de la nature du polluant. Les sources d'émission intérieures de COVNM ont trois origines : activités, comportements et présence d'êtres humains ; processus de combustion ; matériaux de construction, revêtement et ameublement. Une étude portant sur l'évaluation des risques liés à la présence de COVNM dans l'habitat [54] constate que les populations passent la majorité de leur temps à l'intérieur des locaux (de l'ordre de 80 à 90%) et, surtout, que les concentrations des polluants étudiés y sont souvent plus importantes qu'à l'extérieur. Ainsi, pour les COVNM étudiés (benzène, formaldéhyde, chloroforme, tétrachloréthylène, trichloréthylène, styrène, toluène et xylènes), la part d'exposition intérieure dans le calcul de l'excès de risque reste globalement majoritaire de 78 à 99%. En outre, le tabagisme est source d'exposition prépondérante à certains COVNM dont notamment le benzène et les aldéhydes (inhalation de benzène estimée à 48 µg/cigarette [29]).

Notre étude porte sur l'évaluation de l'impact sanitaire des COVNM dans l'air ambiant extérieur. En respect des considérations ci-dessus, la définition de scénarii basés sur des budgets espace-temps (BET) est écartée dans le cadre de notre étude. On supposera que toute la population habitant dans la zone d'étude est exposée incessement à la concentration moyenne de chaque COVNM retenu pour chaque zone d'étude. Cette hypothèse est considérée comme raisonnablement majorante par rapport à une exposition aux COVNM présents dans l'air ambiant extérieur mais, au vu des éléments précités, elle semble forcément minorante dans un cas réel où la personne passe la grande majorité de son temps à l'intérieur.

3-4-2-4) calcul de la dose d'exposition

Pour la voie respiratoire, la dose d'exposition répond à l'expression suivante :

$$CI = C \times t \times F \times \frac{T}{T_m}$$

avec :

- CI : concentration moyenne inhalée (en µg/m³)
- C : concentration de polluant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps t (en µg/m³)
- t : fraction du temps d'exposition à la concentration C pendant une journée
- T : durée d'exposition (en années)
- F : fréquence ou taux d'exposition (sans dimension)
- T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (en années)

Rappelons que la durée d'exposition considérée dans l'étude est T = 1 an et que les populations sont supposées être exposées à la concentration C pendant toute la journée et ce pendant toute la durée d'exposition soit t = 1 et F = 1.

- effets chroniques à seuil :

L'exposition est calculée sur la durée effective d'exposition soit : $T_m = T$ d'où :

$$CI = C$$

➤ effets cancérigènes :

T_m sera assimilé à la durée de la vie entière, prise conventionnellement égale à 70 ans, soit $T_m = 70$ d'où :

$$CI = \frac{C}{70}$$

3-5) CARACTERISATION DU RISQUE

3-5-1) Effets chroniques à seuil

Pour chaque polluant sélectionné i , un quotient de danger QD_i est calculé en faisant le rapport entre la concentration moyenne inhalée et la concentration admissible dans l'air pour l'effet considéré (VTR) :

$$QD_i = \frac{CI_i}{CAA_i}$$

Cette valeur numérique n'est pas un risque et l'évaluation est ici de nature qualitative : un rapport inférieur à 1 signifie que la population exposée est théoriquement hors de danger; alors qu'un quotient supérieur à 1 signifie que l'effet toxique peut se déclarer sans qu'il soit possible de prédire la probabilité de survenue de cet événement.

Le cas de l'exposition aux COVNM répond à la situation d'une co-exposition à plusieurs substances dangereuses. A défaut d'information spécifique à cette association, les quotients de danger peuvent être additionnés en un indice de danger lorsque le mécanisme de toxicité et l'organe cible des composés présents sont similaires, sous l'hypothèse d'une action simple des effets. S'ils sont différents, les dangers sont simplement juxtaposés en supposant l'absence d'interaction.

3-5-2) Effets cancérigènes

Pour les effets cancérigènes et mutagènes, l'évaluation des risques est véritablement quantitative. La probabilité d'occurrence du cancer pour la vie entière des sujets exposés est donnée par l'excès de risque individuel (ERI_i) pour chaque polluant étudié i :

$$ERI_i = CI_i \times ERU_i$$

On lui privilégiera un résultat rendu sous forme d'impact ou excès de risque collectif (ERC) qui représente une estimation du nombre de cancers en excès pour la population appartenant aux zones d'étude :

$$ERC_i = ERI_i \times n$$

3-5-3) interprétation des résultats

Tout d'abord, les résultats obtenus ne présentent qu'une vision partielle de la réalité. En effet, seuls sont considérés ici quelques COVNM parmi le large spectre de COVNM présents dans l'air ambiant.

Pour pouvoir aider à d'éventuelles décisions en matière de réduction des risques sanitaires liés à de telles configurations, ces résultats doivent être replacés dans un contexte plus global. Il serait ainsi intéressant de relativiser le poids de ces résultats par rapport à ceux exprimés soit à l'échelle régionale ou même nationale si ceux-ci sont disponibles voire mêmes quantifiables.

4-) DISCUSSION

La principale originalité de l'évaluation de risques est de tenir compte des incertitudes scientifiques. Plusieurs facteurs propres aux avancées scientifiques et techniques et aux choix proposés pour établir la méthode induisent un certain niveau d'incertitude qu'il est nécessaire de qualifier. Tous les points méthodologiques nécessitent donc d'être discutés et appuyés par une série d'hypothèses formulées explicitement donc réfutables et sujettes à débat.

4-1) IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES ZONES SUPPOSEES EMETTRICES

Même si elle n'est pas une fin en soi dans le cadre d'études à visée sanitaire, la connaissance des émissions et l'identification des sources de polluants demeure une composante essentielle à la prise de décision. Dans la recherche de données précises, ce sujet a été partiellement discuté (§ 3-1-1). Il convient tout de même de souligner que cette connaissance demeure encore insuffisante du fait des limites des méthodologies mises en œuvre. Faute d'une information exhaustive et pérenne sur les sources (composition des émissions, niveaux de précision, représentativité, facteurs de variation), les inventaires d'émissions, exercices coûteux, s'avèrent souvent incomplets, notamment en terme de résolution temporelle et de spéciation des COVNM. Dans le cadre de notre étude, ces deux points nécessitent pourtant la plus grande attention d'une part dans le choix des COVNM nocifs et d'autre part dans l'évaluation des expositions (représentativité).

Cette contrainte pèse sur la définition des zones supposées émettrices au niveau local car plus l'échelle géographique est restreinte et plus la marge d'incertitude est grande. Les résultats présentés dans le choix des zones supposées à risque en Rhône-Alpes se nourrissent ici d'une démarche minimaliste, ne s'appuyant que sur les données DRIRE qui quantifient les niveaux d'émission globaux des sites industriels soumis à la TGAP. Cette sélection non exhaustive peut laisser passer à travers ses mailles des zones supposées à risque, soit par l'émergence d'autres types d'émetteurs, soit par les niveaux d'émission de substances dangereuses insuffisants pour être référencés par la DRIRE mais suffisants pour avoir des conséquences néfastes au sein des populations environnantes. En outre, l'obtention de données de spéciation délivrées par la DRIRE sont incomplètes. Citons dans notre cas d'étude la raffinerie de Feyzin, fabricant de benzène et de butadiène notamment, mais dont les données d'émission ne sont que parcellaires. Un changement de process ou l'adoption de techniques de réduction des émissions peuvent faire varier considérablement les niveaux d'émission d'une année à l'autre. Il est alors indispensable d'avoir accès aux rejets des autres sources fixes moins importantes et surtout du trafic.

Intrinsèquement, l'inventaire des rejets en COVNM est une discipline nourrie d'incertitudes. Il est néanmoins nécessaire d'effectuer un effort conséquent dans cet exercice car il constitue une base de travail dans l'évaluation des risques proprement dite : choix des substances dangereuses, choix d'une méthode de quantification de l'exposition, dénombrement des populations impactées.

Un compromis doit être trouvé entre le niveau de précision recherché dans l'acquisition des données et les moyens (financiers, humains,...) à mettre en œuvre pour y parvenir.

4-2) IDENTIFICATION DES DANGERS ET CHOIX DES VTR

Le nombre de COVNM présents dans l'air ambiant rend le processus d'identification des dangers très complexe. Un choix de polluants incriminés doit donc être effectué sur la base de critères s'appuyant sur des considérations sanitaires (types d'effet), la prépondérance d'une substance dans la zone d'étude et ses caractéristiques physico-chimiques. La très grande majorité des COVNM présents dans l'atmosphère ambiant ne sont donc pas pris en

considération. Bon nombre d'entre eux ne font pas l'objet d'investigations en matière d'identification des dangers. A l'inverse, en fonction du niveau de précision fourni par l'inventaire des émissions, des COVNM dangereux peuvent être omis. Pour pallier à cette lacune, la quantification des expositions peut être effectuée en prélevant un ensemble de COV. L'analyse spéciée de l'échantillonnage peut alors permettre de choisir parmi les polluants dangereux effectivement présents dans l'atmosphère ambiant des zones d'étude. En tout état de cause, étant donné le manque de références bibliographiques sur ce thème, il est nécessaire de solliciter l'appui expert de professionnels de la chimie des COVNM en atmosphère ambiant et la collaboration des réseaux de mesure de la qualité de l'air. Globalement, les données sanitaires au sujet des COVNM sont disparates. Ainsi, l'OMS [54] concède que, dans l'établissement d'une méthode d'évaluation des valeurs guides, le niveau d'incertitude est fonction de l'exhaustivité et de la base de données concernant les polluants visés. Au contraire de polluants atmosphériques classiques (dioxyde de soufre, ozone, plomb), l'OMS cite ainsi les COV comme étant des composés susceptibles d'impliquer un niveau d'incertitude élevé (voir tableau 6).

Exemples	Exhaustivité / taille de la base de données	Incertitudes	Faisabilité d'un avis expert	Nécessité d'une approche standardisée
SO ₂ , ozone, plomb	+++	+	+++	+
Manganèse, nickel	++	++	++	++
COV	+	+++	+	+++

Tableau 6 : taille et exhaustivité de la base de données en relation avec le méthode d'évaluation des valeurs guides (d'après WHO Air quality guidelines for Europe, 2000)

L'aspect odorant de certains COVNM n'a pas été pris en considération au cours de cette étude. Pourtant, cette caractéristique peut constituer une gêne quotidienne et influencer sur le bien-être des populations.

En outre, la possibilité d'une interaction liée à une exposition concomitante à plusieurs COVNM produisant des effets de synergie et d'antagonisme a été abordée au cours de ce travail. Il s'avère que les avancées scientifiques ne permettent pas de conclure face à une telle situation.

Enfin, la définition des relations dose-effet s'appuient dans la plupart des cas sur des extrapolations homme/animal et hautes doses/basses doses, ce qui est une source supplémentaire d'incertitude dans la quantification du risque.

4-3) EVALUATION DES EXPOSITIONS

La gestion éclairée des risques induits par la pollution de l'air requiert une bonne estimation des expositions de la population.

Quelles qu'elles soient, les méthodes indirectes de quantification de l'exposition présentée dans ce travail sont sources d'incertitudes (métrologie, modélisation). Ces méthodes gagnent en faisabilité ce qu'elles concèdent à la précision. Leur combinaison peut permettre un niveau de précision accru. La mesure des COVNM en routine se limite à la mesure des niveaux de benzène, toluène et xylènes à l'aide d'analyseurs BTX. Cette discipline ne bénéficie pas du recul scientifique et des moyens métrologiques que connaissent les indicateurs classiques de la pollution atmosphérique, ce qui soulève le problème de sa représentativité. En outre, la prise en compte de niveaux de fond n'est elle-même pas forcément représentative de valeurs d'immission qui peuvent être fortement contrastées sur une même zone d'étude. Cette hypothèse implique une sous-estimation de l'exposition des populations aux polluants visés

[55]. Comment procéder alors pour représenter l'exposition sur un territoire inhomogène ? Une alternative est de réaliser une cartographie des niveaux d'immission pour chacun des polluants concernés sur la zone d'étude. Une campagne de mesure à l'aide de capteurs passifs, suivi d'un traitement géostatistique (par interpolation) de ces mesures peut aboutir à un tel résultat. Combiné avec l'utilisation d'un SIG, cette méthode peut permettre d'appréhender avec plus d'acuité les niveaux d'exposition. La période de mesure préconisée dans cette étude est elle-aussi sujette à discussion. En effet, elle devrait idéalement s'étaler sur une année entière pour intégrer toutes les variabilités saisonnières. Cependant, une telle durée n'est raisonnablement pas envisageable vu les moyens à mettre en œuvre.

La modélisation nécessite l'apport de données qualitatives et quantitatives quant aux rejets de polluants. Tel qu'il est énoncé plus haut, ces données sont entachées d'incertitudes. En outre, les modèles sont basés sur des hypothèses simplificatrices, sources de résultats possiblement erronés.

Les caractéristiques populationnelles ne sont ici abordées que partiellement. En premier lieu, le degré de précision, en terme de recensement de la population, dépend du niveau d'échelle géographique pour lequel les informations nécessaires sont disponibles. Il s'agit de la commune, voire des IRIS lorsqu'ils existent.

L'hypothèse proposée ici tend à sur-évaluer l'exposition des populations aux niveaux de pollution extérieure étant donné que ces derniers sont nettement moins élevés que ceux de l'intérieur des locaux. Cette approche correspond à l'évaluation du risque sanitaire de premier niveau, où seule une estimation déterministe du résultat est obtenue, basée principalement sur des hypothèses considérées comme majorantes [34]. En outre, les déplacements journaliers vers l'intérieur et l'extérieur de la zone peuvent respectivement sous-estimer et sur-estimer les estimations puisque la population rentrante n'est pas comptabilisée.

Face à la difficulté de ne postuler qu'une uniformité de comportement, la construction de scénarii d'exposition, basés sur des budgets espace-temps (BET), permet d'apprécier des contrastes de population pour une situation donnée en fonction de différents comportements ou mode de vie [54].

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Outre leur propension à être des précurseurs d'ozone, bon nombre de composés organiques volatils se caractérisent par leur dangerosité primaire pour la santé de l'homme. Les conséquences sanitaires potentielles dues à l'exposition à de telles substances interpellent les acteurs de santé publique en diverses circonstances. Ce travail consiste donc en une approche méthodologique de la problématique dans des zones combinant une forte densité d'émetteurs et de population par la méthodologie d'évaluation des risques sanitaires. Néanmoins, toutes les étapes comportent de fortes incertitudes qui peuvent influencer grandement sur le résultat final et ainsi perturber la prise de décision quant à des mesures de réduction des expositions. La nature même de la pollution explique ce niveau d'incertitudes. Le nombre considérable de substances, des niveaux de concentrations faibles et appartenant à une gamme très étendue, la multiplicité des types d'effets sanitaires expliquent le relativement faible degré d'avancement des politiques de surveillance, les données sanitaires souvent lacunaires et les contraintes liées à l'évaluation de l'exposition des populations. Cet ensemble de contraintes à la fois techniques et stratégiques expliquent les carences actuelles des législations des pays industrialisés en ce qui concerne ces composés. Dans l'optique d'optimiser la démarche, des avancées scientifiques sont attendues dans les domaines suivants :

- caractérisation des émissions : poursuivre l'inventaire des sources notamment dans la résolution temporelle et la spéciation des rejets.
- identification des dangers : mettre à disposition des données sanitaires pour un plus grand nombre de substances et travailler des notions de relation structure-activité, c'est-à-dire sur les corrélations entre les effets sur la santé et la structure moléculaire du composé incriminé.
- caractérisation des expositions : optimiser la surveillance de certaines substances pour ainsi permettre une plus grande représentativité de la mesure des polluants. De plus, il convient de signaler que la caractérisation de l'exposition des populations est l'un des objectifs du programme de recherche PRIMEQUAL-PREDIT.

Dans le domaine de la pollution atmosphérique, la mise en place d'études à visée sanitaire nécessite d'entretenir des relations étroites avec les réseaux de mesure de la qualité de l'air.

L'ubiquité des COVNM dans certaines zones de population nécessite d'agir. La faisabilité d'une étude à l'échelle de la région Rhône-Alpes est discutable tant les moyens nécessaires sont importants. Néanmoins, une étude préliminaire complète peut être menée sur la zone recouvrant le sud de l'agglomération lyonnaise (Feyzin-Pierre Bénite-Vénissieux-Saint Fons). Il s'agit là d'une zone qui suscite, par ses concentrations d'industries, de trafic et de population, les préoccupations de professionnels de la santé au niveau local mais aussi national. Une telle étude peut servir d'étalon quant à :

- une éventuelle prise de décision si des niveaux de risque conséquents sont mis en évidence.
- l'éventuelle réalisation d'une telle étude dans les autres zones supposées critiques pour leurs émissions en COVNM.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : LE CLOIREC P., coordinateur.
Les Composés Organiques Volatils (COV) dans l'environnement.
Editions Lavoisier Tec & Doc, 1998, 734 p.
- [2] : MEYBEC M., DELLA MASSA J-P., SIMON V., GRASSET E., TORRES L. (2000)
Etude de la distribution atmosphérique de composés organiques volatils aromatiques :
benzène, toluène, xylènes (BTX) et du dioxyde d'azote sur l'agglomération
toulousaine.
Pollution atmosphérique, 168, 569-582
- [3] : CITEPA (1998)
Spéciation des Composés Organiques Volatils Non Méthaniques
- [4] : ALLEMAND N. (CITEPA) (2002)
Le point sur les émissions de COV en France
Surfaces, 312 ; 28-31
- [5] : [http://www.pharma.uhp-nancy.fr/formation/cours/Toxicologie%20COV%20\(2\).pdf](http://www.pharma.uhp-nancy.fr/formation/cours/Toxicologie%20COV%20(2).pdf),
vu le 09/07/03
- [6] : Haut Comité de la Santé Publique
Politiques publiques, pollution atmosphérique et santé : Poursuivre la réduction des
risques.
Editions ENSP, 2000, 261 p.
- [7] : DRIRE Rhône-Alpes
Bilan de l'Environnement industriel en Rhône-Alpes, édition 2002.
- [8] : Plan Régional pour la Qualité de l'Air – Région Rhône-Alpes (2001)
- [9] : ADEME
Emissions de polluants et consommation liées à la circulation routière
Ademe Editions, 1998, 92 p.
- [10] : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (2001)
Dossier de presse – Le point sur les actions menées par le ministère de l'aménagement
du territoire et de l'environnement en matière de reconquête de la qualité de l'air
- [11] : INERIS (2002)
Etudes de mesures économiques et structurelles pour réduire les émissions de NOx,
SO₂, COV et NH₃, 192 p.
- [12] : INSEE
Tableau de l'économie Rhône-Alpes 2001/2002
- [13] : AIRFOBEP
Exposition potentielle des habitants de l'Ouest des BdR à la pollution de fond en
benzène – Résultats des campagnes de mesure (juillet 2001 à juillet 2002)
- [14] : THIROIN I., Direction Générale de la Santé
Quels grands axes, quelles méthodologies, quelles actions ? - Pour une prévention au
long terme « air et santé » 2003-2010 (2003), 62 p.
- [15] : GLORENNEC P., QUENEL P.
Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine – guide
méthodologique
InVS, 1999, 31 p.
- [16] : WHO Regional Office for Europe.
Quantification of the health effects of exposure to air pollution. Report on a WHO
working group, Bilthoven, The Netherland, November 2000, 29 p.
- [17] : PASCAL L., CASSADOU S.

- Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine – actualisation du guide méthodologique : Recommandations provisoires pour les évaluations de l'impact sanitaire court terme et long terme
InVS, 2003, 18 p.
- [18] : InVS (2000)
Analyse du Volet Sanitaire des études d'impact, 49 p.
- [19] : BORBON A.
Le comportement des Hydrocarbures Non Méthaniques en zone urbaine : identification et contribution des sources
Université des Sciences et Technologies de Lille, Ecole des Mines de Douai, 2002, 263 p.
- [20] : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
Note méthodologique sur les études d'environnement dans les projets routiers – volet « air », 26 p.
- [21] : www.rhone-alpes.equipement.gouv.fr, vu le 23/07/03
- [22] : <http://www.epa.gov/ttn/chief/software/speciate/index.html>, vu le 24/07/03
- [23] : <http://www.naei.org.uk/emissions/selection.php>, vu le 24/07/03
- [24] : <http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR3/en>, vu le 24/07/03
- [25] : <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>, vu le 24/07/03
- [26] : Société Française de santé publique
La pollution atmosphérique automobile et la santé publique – bilan de 15 ans de recherche internationale
Collection Santé et Société n°4, 1996, 251 p.
- [27] : COURSIMAULT A., DELAUNAY C., GOUPIL G., LAURENT A-M., LE MOULLEC YVON, PERSON A.
Evaluation de l'exposition des citoyens aux polluants d'origine automobile au cours de leurs déplacements dans l'agglomération parisienne
Programme PRIMEQUAL – rapport de fin d'étude, 1998, 95 p.
- [28] : INERIS (2000)
Benzène. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, 42 p.
- [29] : CICOLELLA A.
Evaluation des risques pour la santé liés au benzène
INERIS, 1997, 68 p.
- [30] : DUARTE-DAVIDSON R., COURAGE C., RUSHTON L., LEVY L. (2001)
Benzene in the environment : an assessment of the potential risks to the health of the population
Occupational and environmental medicine, 58, 2-13
- [31] : CARLETTI R., ROMANO D. (2002)
Assessing health risk from benzene pollution in an urban area
Environmental Monitoring and Assessment, 80, 135-148
- [32] : COCHEO V., SACCO P., BOARETTO C., De SAEGER E., BALLESTA P.P., SKOV H., GOELEN E., GONZALEZ N., CARACENA A.B. (2001)
Urban benzene pollution and population exposure
Newsletter 2001, n°27 – WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Pollution Control, 6 p.
- [33] : Société Française de santé publique
L'incinération des déchets et la santé publique : bilan des connaissances récentes et évaluation du risque
Collection Santé et Société n°7, 1999, 209 p.

- [34] : INERIS (2003)
Evaluation des risques sanitaires des installations classées – risques dus aux substances chimiques, 152 p.
- [35] : CATELINOIS O. (2000)
Evaluation du risque sanitaire lié à la pollution atmosphérique générée par l'usage d'un équipement routier, 45 p.
- [36] : INERIS (2003)
Approche sectorielle du risque sanitaire. Installations émettrices de butadiène et de co-monomères – synthèse, 63 p.
- [37] : INERIS formaldéhyde
- [38] : INERIS dichloroéthane
- [39] : FERON V.J., CASSEE F.R., GROTEN J.P., VAN VLIET P.W., VAN ZORGE J.A (2002)
International issues on human health effects of exposure to chemical mixtures
Environ Health Perspect, 110 (suppl 6), 893-899
- [40] : FERON VJ, GROTEN JP
Toxicological evaluation of chemical mixtures
Food and chemical toxicology, 40, 825-839
- [41] : ATSDR (2001)
Guidance manual for the assessment of joint toxic action of chemical mixtures, 53 p.
- [42] : US-EPA (2000)
Supplementary guidance for conducting health risk assessment of chemical mixtures, 143 p.
- [43] : ATSDR (2002)
Interaction profile for : benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes (BTEX), 80 p.
- [44] : NEDELLEC V., MOSQUERON L. (2002)
Etude des impacts sanitaires en population générale liés aux rejets atmosphériques de la torchère équipant le CET d'Erouville (Manche), 89 p.
- [45] : LE MOULLEC Y. (1999)
Mesurer l'exposition sur le terrain : les perspectives européennes et françaises
Pollution atmosphérique, numéro spécial, 41-55
- [46] : ASCOPARG, COPARLY, SUPAIRE (2003)
Cartographie du dioxyde d'azote et du benzène - Etude préliminaire de janvier-février 2002, 15 p.
- [47] : HERBARTH O., REHWAGEN M., RONCO A.E. (1997)
Environ toxicol water qual, 12, 31-37
- [48] : UCHIYAMA S., HASEGAWA S. (2000)
Environmental science and technology, 34, 4656-4661
- [49] : RNSP (1998)
Etude des effets sur la santé d'une source locale de pollution atmosphérique – Mesure de l'exposition et modélisation de la dispersion des polluants dans l'atmosphère, 40 p.
- [50] : LMFA UMR CNRS 5509 Ecole Centrale de Lyon (2000)
Modèles numériques de diagnostic pour la pollution de l'air à proximité des infrastructures routières – inventaires et procédures d'évaluations, 139 p.
- [51] : InVS (2001)
Dépistage du saturnisme infantile autour des sources industrielles de plomb – tome 1, 41 p.
- [52] : CSHPF
Pollution atmosphérique à l'intérieur des bâtiments : sources, expositions et risques sanitaires

- Editions Lavoisier Tec & doc, 1996, 100 p.
- [53] : COURDIER M.
Evaluation du risque sanitaire lié à la pollution atmosphérique intérieure en rapport avec certains composés organiques volatils et le benzo(a)pyrène : comparaison air intérieur / air extérieur
Université Henri Poincaré Nancy I, Faculté de Médecine de Nancy, 2002, 125 p.
- [54] : WHO Regional Office for Europe (2000)
Air Quality Guidelines for Europe, 251 p.
- [55] : ZMIROU D. (1999)
Evaluer les expositions : les besoins des épidémiologistes et des décideurs
Pollution atmosphérique, numéro spécial, 57-63
- [56] : CITEPA (2000)
Calculs des émissions dans l'air – principes méthodologiques généraux, 24 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Définitions des COV

La notion de COV est fonction de la définition que lui donne le praticien. Les COV constituent d'ailleurs un axe de recherche éclectique et prépondérant en matière d'impact sur l'environnement et sur la santé (réactivité photochimique, effet de serre, caractère odorant, toxicités primaire et secondaire...). Les définitions des Composés Organiques Volatils sont donc abordées de la façon suivante, telles qu'explicitées dans [1] :

➤ **Définition suivant leurs propriétés physico-chimiques**

Un arrêté ministériel du 1^{er} mars 1993, relatif aux établissements classés pour la protection de l'environnement (ICPE), considère comme COV tout composé qui, à l'exclusion du méthane, contient du carbone et de l'hydrogène, lequel peut être substitué par d'autres atomes comme les halogènes, l'oxygène, le soufre, l'azote ou le phosphore, à l'exception des oxydes de carbone et des carbonates. Ces composés se trouvent à l'état de gaz ou de vapeur dans les conditions normales de température et de pression (soit 20°C et 10⁵ Pa).

La tension de vapeur seuil à partir de laquelle un composé organique est considéré volatil est choisie de façon purement arbitraire. Un projet de directive européenne complète ainsi la définition précitée en ajoutant que tout produit organique ayant une pression de vapeur supérieure à 10 Pa dans des conditions normales de températures et de pression totale est considéré comme un composé organique volatil. Aux Etats-Unis, le seuil de tension de vapeur retenu est bien plus faible, à savoir 0,13 Pa. Dans l'état actuel des choses, il s'avère que les définitions européennes et américaines sont très différentes et rendent difficiles toutes comparaisons et, en particulier, les comparaisons concernant les flux émis dans l'atmosphère ou les réglementations.

Les COV constituent un sous-ensemble des composés organiques et ils incluent certains hydrocarbures (souvent assimilés à tort aux COV). Les hydrocarbures, au sens strict du terme, sont des molécules qui ne contiennent que des atomes d'hydrogène et de carbone, que leur structure soit linéaire, ramifiée ou cyclique et qu'elles contiennent plusieurs doubles ou triples liaisons. La figure 1 présente une structure très simplifiée des principales catégories de composés chimiques organiques.

➤ **Définition par rapport à leurs effets sur l'environnement**

Moretti et Mukhopadhyay (1993) ont proposé un critère discriminatoire supplémentaire basé sur la longévité des COV dans le milieu naturel et une réactivité suffisante lors de réactions photochimiques de l'atmosphère. Les auteurs anglo-saxons, quant à eux, classent souvent les COV en fonction de leur comportement vis-à-vis du radical libre (OH[•]). Aussi, en 1986, l'Agence Américaine de Protection de l'Environnement (US-EPA) a défini les COV comme toutes substances carbonées (exceptées le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone, les acides carboniques, les carbures et les carbonates métalliques et les carbonates d'ammonium) qui participent aux réactions photochimiques de l'atmosphère. Une liste de 318 produits considérés comme des COV a été dressée.

➤ **Restriction sur les définitions : cas du méthane**

Jusqu'à une date récente, le méthane dont on connaissait mal les sources (fermentation, élevage, riziculture, extraction et transport du gaz, ...) et les flux émis était généralement inclus dans la catégorie des COV. Le méthane n'est pas toxique et il est pratiquement inerte du point de vue photochimique. Actuellement, du fait de sa concentration non négligeable (1 à 2 ppm, soit 600 à 1200 µg/m³) dans l'atmosphère et de sa forte contribution à l'effet de serre, le méthane est comptabilisé séparément des COV bien que, du point de vue purement chimique, ce soit réellement un COV. On

parle alors maintenant de Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM ou NMVOC en anglais).

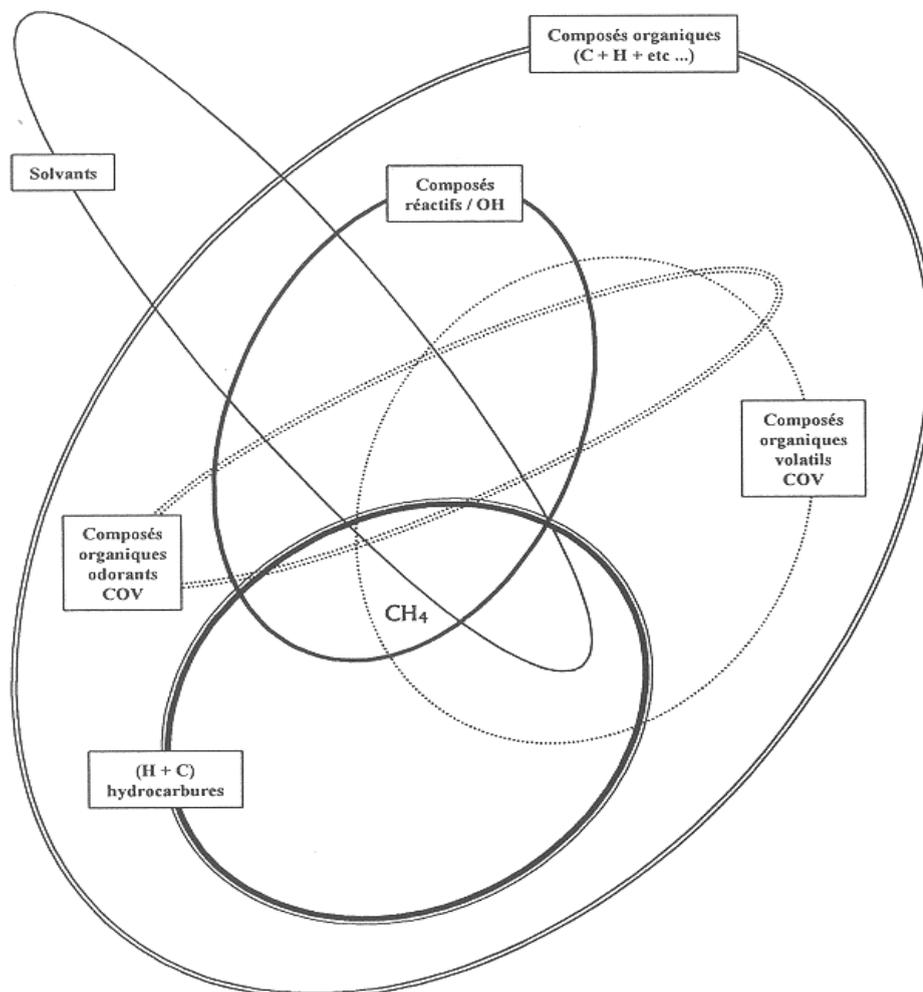


figure A1-1 : approche schématique de la définition des COV (d'après Le CLoirec, 1998)

Annexe 2 : toxicité primaire des COV

1) Effets systémiques

1-1) Irritations

L'irritation peut être définie comme une modification réactionnelle locale et se manifeste, dans le cas d'une exposition aux COV, selon différents modes d'actions :

- Irritations cutanées : elles s'observent très souvent par une rougeur de la zone et/ou une démangeaison locale ou générale. Elles sont dues à une dégradation des tissus dermiques dont la cause peut être une exposition aux hydrocarbures aromatiques ou aux hydrocarbures halogénés. C'est le cas notamment des solvants à base d'hydrocarbures aromatiques en particulier le styrène. A titre de remarque, les produits solvants commerciaux sont le plus souvent lipophiles et se dirigent donc principalement vers les tissus adipeux. On peut ainsi mettre en relation la concentration en hydrocarbures halogénés dans le corps humain et l'état d'obésité. Citons plus particulièrement, parmi ceux-ci, le chloroforme.
- Irritations des yeux : elle est souvent provoquée par une exposition prolongée à des hydrocarbures aromatiques non substitués tels que le benzène, le toluène, l'éthylbenzène, le xylène (BTEX) ou autres composés benzéniques qui sont les constituants principaux de la majeure partie des solvants et des diluants. On retrouve donc ce symptôme dans le syndrome des bâtiments malsains, chez les travailleurs des stations-service et, de façon plus générale, chez toutes les personnes soumises à des hydrocarbures sous leur forme brute ou dans des mélanges : les produits de nettoyage et de dégraissage, les colles, les produits de traitement des mobiliers, les solvants utilisés pour la synthèse ou la purification de composés organiques...
- Irritation des organes respiratoires : les muqueuses nasales sont les sites privilégiés d'action de polluants gazeux car elles sont un lieu naturel de passage et de rétention des particules et des produits adsorbables. L'irritation des voies nasales est la conséquence d'une altération des muqueuses. Elle peut survenir notamment à la suite d'une inhalation, par exemple, d'hydrocarbures aromatiques ou de diisocyanates. Cette irritation s'accompagne souvent de maux de gorge.

1-2) Troubles cardiaques

Certains COV peuvent provoquer des troubles cardiaques. Par exemple, à fortes concentrations, le toluène et le chloroforme peuvent provoquer une fibrillation ventriculaire, complication majeure de l'infarctus du myocarde dans ses premières heures, qui si elle se généralise à toutes les fibres cardiaques, peut rapidement engendrer la mort en l'absence de d'un traitement d'urgence.

Lors d'une intoxication aiguë à forte concentration, le 1,1,1-trichloroéthane ou méthylchloroforme (CH_3CCl_3) peut provoquer des troubles du rythme cardiaque et une déprime du système cardio-vasculaire (hypotension).

1-3) Troubles digestifs, rénaux et hépatiques

Un certain nombre de molécules organiques volatiles (benzène, toluène, hydrocarbures halogénés) agissent sur le système digestif. Elles peuvent provoquer des douleurs, des nausées et des vomissements.

D'autres, parmi lesquelles se distinguent les BTEX, le cumène et les hydrocarbures halogénés aliphatiques, peuvent provoquer des dommages aux reins (généralement en cas d'intoxication

aiguë importante) et des atteintes hépatiques chroniques ou aiguës causant des dommages aux tissus du foie.

1-4) Maux de tête

La plupart des COV sont généralement reconnus pour entraîner l'apparition de migraines à la suite d'expositions suffisamment importantes. Les céphalées peuvent, par exemple, être provoquées par une inhalation prolongée de toluène ou de benzène à des concentrations supérieures à 100 ppm.

1-5) Troubles du système nerveux

Les COV sont reconnus pour être généralement toxiques pour le système nerveux central. Les hydrocarbures aromatiques et les hydrocarbures halogénés, en particulier, provoquent généralement un état d'excitation très proche de l'état d'ivresse alcoolique, suivi d'une dépression du système nerveux. Ceux-ci peuvent également engendrer des troubles de la parole et de la vision.

D'autres COV, comme le dichlorométhane ou le chloroforme peuvent avoir des effets anesthésiques, parfois narcotiques. Certains sujets en contact avec des COV présentent des troubles de la mémoire, ainsi que des problèmes d'attention, de concentration et de confusion mentale. L'inhalation volontaire de toluène par des toxicomanes a engendré des séquelles neurologiques graves : encéphalopathie permanente, troubles comportementaux, syndrome neuropsychiatrique (vertiges, syncope, hallucinations, léthargie), auxquelles s'ajoutaient des désordres gastro-intestinaux, une atteinte rénale et une possibilité de myocardite.

Une exposition sévère et prolongée au benzène ou au 1,1,1-trichloroéthane (CH_3CCl_3), surtout en espace confiné, peut provoquer la mort après une narcose (sommolence forcée) et des convulsions.

1-6) Toxicité hématopoï étique

Les COV sont responsables d'effets hématologiques sévères. Ainsi, le styrène inhalé est notamment responsable de leucopénies et de thrombopénies. En outre, lors d'une exposition au benzène, le système hématopoï étique apparaît comme l'organe cible [3]. Le benzène induit en effet une pancytopénie comprenant une diminution du nombre d'érythrocytes circulants, de leucocytes et de thrombocytes. Le mécanisme de développement d'une pancytopénie chez l'homme comprend une destruction des cellules souches de la moëlle osseuse, un dysfonctionnement de la différenciation cellulaire et/ou la destruction des précurseurs hématopoï étiques les plus matures des cellules circulantes.

1-7) Effets sur la fertilité masculine

Ces effets néfastes ont été mis en exergue lors d'une étude canadienne datant de 2001 (Occup. Envir. Med. 2001 ; 58 : 635-640). Elle s'intéresse aux conséquences sanitaires d'une exposition à des niveaux modérés de solvants (de peinture, pour l'encre d'imprimerie et le nettoyage de vêtements) et implique 1200 travailleurs en consultation pour la période 1972-1991. La conclusion en fut que des personnes exposées à de tels taux de solvants sont deux fois plus susceptibles d'avoir un nombre faible de spermatozoï des, avec peu ayant des caractéristiques normales de mobilité. Les solvants principalement suspectés au cours de cette étude étaient les éthers de glycol.

2-) Actions cancérogènes et mutagènes des COV

2-1) Actions cancérogènes

De nombreux COV sont généralement reconnus comme des composés potentiellement cancérogènes. L'un des premiers faits reconnus a été une relation entre l'exposition à des vapeurs de benzène et la leucémie. De même, les effets cancérigènes du 1,3-butadiène ont été révélés. Il en a été de même avec des produits utilisés dans la fabrication des polymères comme l'acrylonitrile ou le chlorure de vinyle. Cette liste est loin d'être exhaustive mais elle montre le caractère dangereux de polluants organiques volatils omniprésents dans l'atmosphère.

Il convient ici de signaler le caractère très cancérigène des hydrocarbures aromatiques polycycliques, dits HAP, qui constituent une vaste famille de quelques centaines de composés de structure chimique commune. Le plus connu est le Benzo(a)pyrène. Tous les phénomènes de combustion sont à l'origine de leur formation (incinération, sidérurgie, moteurs automobiles, feux de cheminée, tabagisme, ...). Dans l'air, ils sont surtout présents sous forme de particules, en s'adsorbant sur la fraction particulaire carbonée lors de l'émission [4] [5]. Par conséquent, ces composés ne sont pas classés comme COV.

2-2) Actions mutagènes

Les hydrocarbures insaturés (alcènes, oléfines,...) inhalés subissent des transformations qui les rendent très toxiques. Ainsi, par exemple, environ 5 % de l'éthylène (éthène) se transforme en oxyde d'éthylène qui est à la fois cancérigène et mutagène.

Certains hydrocarbures halogénés aliphatiques ont également à la fois des actions cancérogènes (notamment les dérivés non saturés) et mutagènes. Ainsi, les dérivés chlorés de l'éthylène, du butène et du butadiène absorbés donnent naissance à des dérivés epoxydes dont certains sont très réactionnels. Ils peuvent se fixer sur l'ADN et ainsi déterminer une action mutagène. Ils sont aussi tératogènes.

Des composés aromatiques tels que le styrène et le benzène provoquent des aberrations chromosomiques. Celles créées par le benzène ont une importance toute particulière du fait de son utilisation courante et de sa forte toxicité. Les conséquences de l'intoxication chronique au benzène sont même regroupées sous le terme de benzénisme ou benzolisme

Annexe 3 : Inventaire des émissions au niveau national

Une part importante des COVNM provient des différents usages humains de matières fossilisées. En particulier, le transport des biens et des personnes (gaz d'échappement, évaporation des combustibles...) et les activités annexes qu'il génère (production, distribution des combustibles...) constituent une source prépondérante de ces composés. De même, la fabrication et la mise en œuvre de produits contenant des solvants organiques représentent une source non moins négligeable. Enfin, les sources biogéniques participent de manière notable aux émissions [11]. Les caractéristiques de ces différents émetteurs de COVNM seront développés ultérieurement.

Si de nombreux efforts ont été consacrés depuis une vingtaine d'années au bilan des sources des COVNM et leur participation aux phénomènes photochimiques, notamment à travers la mise en place de vastes programmes de recherches nationaux (PRIMEQUAL⁷ pour la France) ou internationaux (EUROTRAC/Sous Projet GENEMIS⁸, SCOS97-NARSTO⁹ aux Etats-Unis), cette connaissance demeure encore insuffisante du fait des limites des méthodologies mises en œuvre. Les exercices d'inventaire des émissions, d'une part, s'avèrent coûteux et, faute d'une information exhaustive et pérenne sur les sources (composition des émissions, niveaux de précision, représentativité, facteurs de variation) apparaissent souvent incomplets, notamment en terme de résolution temporelle et de spéciation des COVNM.

Selon les estimations du CITEPA, qui assure la réalisation technique des inventaires en France, les émissions de COVNM d'origine anthropique et d'origine biogène s'élèvent à 2,07 millions de tonnes en 2000 [4]. La figure 2 présente la répartition des émissions totales de COVNM en France métropolitaine en 2000.

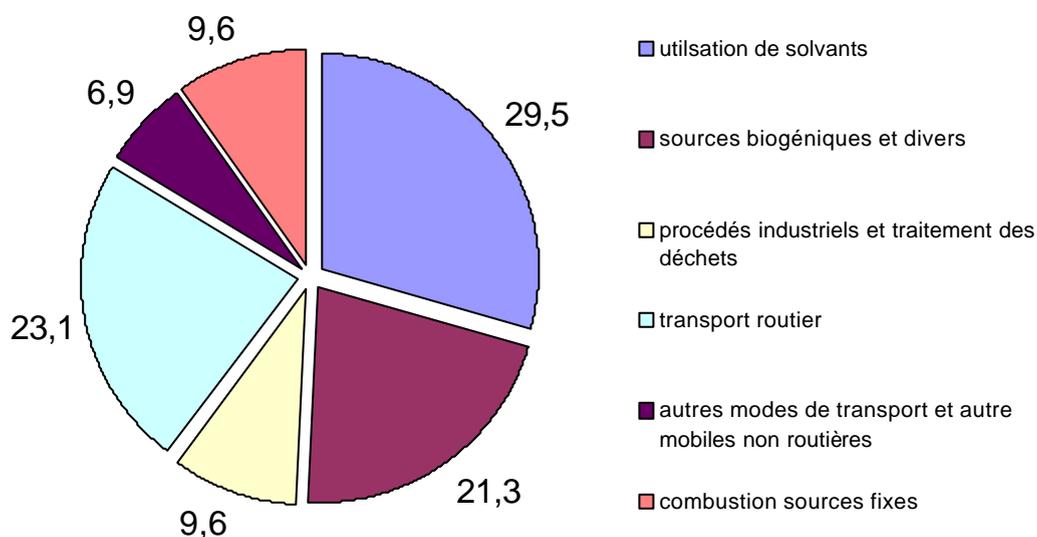


Figure 2 : répartition des émissions de COVNM en fonction des secteurs d'activité en France métropolitaine pour l'année 2000 (en %)

A cela peuvent s'ajouter les commentaires suivants :

⁷ Programme de Recherche Interorganisme pour une Meilleure Qualité de l'Air à l'Echelle Locale

⁸ Generation and Evaluation of Emission Data

⁹ 1997 Southern California Ozone Study-North America Research Strategy for Tropospheric Ozone

- Les sources mobiles (les véhicules routiers mais également les engins non routiers tel le trafic aérien, le trafic fluvial et le trafic maritime) contribuent pour 30 % des émissions totales.
- La combustion dans les sources fixes représente 10 % des émissions totales mais l'usage des combustibles fossiles (combustion dans les sources fixes et mobiles) et la combustion de la biomasse (bois dans les foyers domestiques particulièrement) représentent 40 % des émissions totales.
- L'usage des solvants dans les activités industrielles (revêtement de surface, nettoyage, imprimerie, transformation du caoutchouc, fabrication des matières actives pharmaceutiques...), les activités domestiques (peintures domestiques, usage de colles, de produits d'entretien...) et les activités artisanales (nettoyage à sec, usage des peintures par les peintres professionnels (bâtiment), réparation, automobile...) représentent 29 % des émissions totales.
- Les sources biogènes représentent environ 21 % des émissions totales.

Cette répartition valable pour la France métropolitaine peut évoluer en fonction de l'aire géographique de résolution de l'inventaire considérée. En fonction de l'intensité de l'urbanisation, du tissu industriel, la répartition des émissions varie d'une région à l'autre et d'une agglomération urbaine à une autre et cette répartition est différente de la répartition valable pour la France dans son ensemble.

Une autre approche possible consiste à présenter les émissions de COVNM par familles chimiques. Le tableau A3-1 et le graphique A3-2 illustrent ainsi la contribution des différentes familles chimiques de COVNM aux émissions nationales totales dont les sources proviennent du CITEPA [3] pour l'année de référence 1996.

	famille	émissions en tonnes
<i>alcanes</i>	ethane	42,499
	propane	10,555
	autres alcanes	721,732
<i>alcènes</i>	éthène	128,869
	propène	40,866
	autres alcènes	467,069
	acétylène	62,298
	autres alcynes	4,055
<i>alcools</i>	alcools	161,86
<i>esters</i>	esters	20,526
<i>aromatiques</i>	benzène,	36,591
	halobenzènes	
	autres	341,258
	aromatiques	
	phénols et crésols	0,026
<i>aldéhydes</i>	styrènes	6,839
	formaldéhyde	30,12
	autres aldéhydes	28,506
<i>cétones</i>	acétone	8,003
	autres cétones	47,408
<i>acides</i>	acides	1,288
<i>organiques</i>	organiques	
<i>haloalcènes</i>	haloalcènes	24,81
<i>non réactifs</i>	non réactifs	21,561
<i>autres</i>	autres	124,795
<i>non identifiés</i>	non identifiés	128,06

Tableau A3-1 : contribution des différentes familles de COVNM aux émissions nationales totales

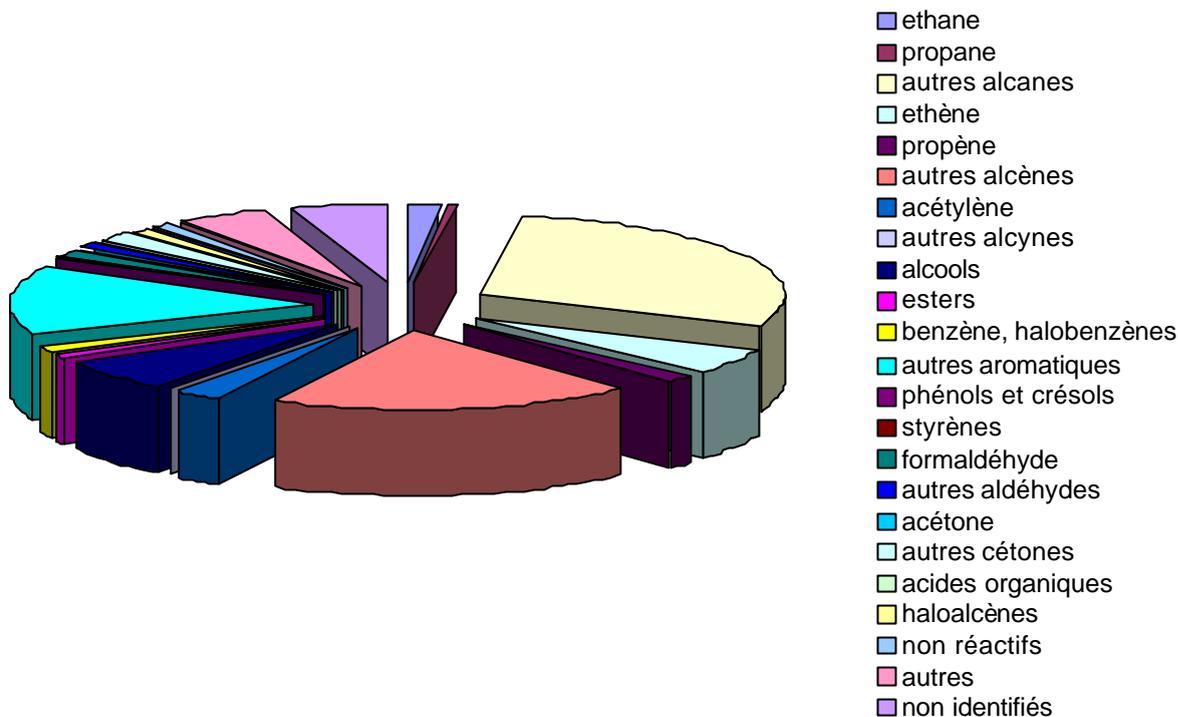


Figure A3-2 : contribution des différentes familles chimiques de COVNM aux émissions nationales totales

Quelles évolutions ?

En 1990, les émissions de COVNM en France métropolitaine étaient estimées à 2,8 mégatonnes. De façon globale, les émissions ont donc diminué de 26 % depuis 1990 jusqu'à 2000. Cette réduction substantielle des émissions de polluants est due en partie aux efforts des industries sous la pression réglementaire et grâce aux avancées technologiques et scientifiques.

Dans cette optique, les stratégies de la commission européenne et de l'organe exécutif de la convention LRTP (CEE-NU) fixent les plafonds d'émissions de polluants (dont les COVNM) à respecter en 2010. En France, pour les sources concernées, la directive 2001/81/CE alloue à la France un plafond d'émissions s'élevant à 1050 kt (elles sont de l'ordre de 1660 tonnes pour l'année 2000). Tenant compte des exigences réglementaires, des données d'évolution du parc et du trafic automobile et des scénarios d'activité énergétique, le CITEPA a évalué les émissions de COVNM à l'horizon 2010 à environ 950 kt [4].

Annexe 4 : les principales caractéristiques de la méthode d'inventaire

1-) Les substances inventoriées

Au total, 26 substances sont étudiées par la méthodologie CORINAIR. Sous l'acronyme COVNM, les Composés Organiques Volatils sont considérés globalement (le méthane étant exclus). Aucun composé particulier n'est différencié. Les émissions correspondent à la somme des émissions de corps chimiquement différents [56]. Une enquête de ce même CITEPA sur les substances couvertes par les inventaires (Rivière, 2000) montre que la prise en compte de la spéciation des COVNM est peu considérée. Ces inventaires proposent généralement une quantification des émissions par grand secteur d'activité et pour la totalité des COV (avec ou hors méthane) émis [20].

Ces exercices apparaissent d'autant plus pertinents que l'impact d'une quantité de COV émise sera potentiellement différent selon la nature des espèces émises (réactivité, effets sur la santé). Dans le cadre de ces travaux de réalisation d'inventaires d'émission dans l'atmosphère en France, le CITEPA a adopté cette démarche [3], c'est-à-dire apporter une spéciation des COVNM émis en 250 espèces ou familles de composés, mais souligne ses limites. En particulier, les auteurs ont été amenés à utiliser des profils d'émission provenant de sources bibliographiques internationales et s'interrogent sur la légitimité de leur transposition à la situation française.

2-) Les catégories de sources

Les sources, de COVNM en particulier, sont classées en sources ponctuelles, surfaciques et linéaires. Il s'agit de distinguer parmi celles-ci les Grandes Sources Ponctuelles (sources fixes canalisées ou diffuses dont les rejets potentiels ou effectifs dans l'atmosphère excèdent certains seuils, et les Grandes Sources Linéaires qui, de manière analogue, regroupent des tronçons de route à fort trafic dont les niveaux d'émissions sont comparables à ceux atteints par des émetteurs ponctuels (autoroute, route nationale, ...) [56].

Elles sont traitées individuellement ou collectivement. L'approche individuelle s'applique aux grandes sources ponctuelles (raffineries, ...) dont les émissions sont généralement localisées et très souvent mesurées. L'approche collective, plus délicate, s'applique aux sources surfaciques et linéaires, émetteurs moins importants, diffus et disséminés (utilisation de solvants, véhicule du transport routier mais aussi source biogénique).

c-) Résolution spatio-temporelle de la source

Un grand nombre de facteurs contrôlent les émissions de COVNM et expliquent leur grande variabilité à l'échelle de l'heure, de la journée ou des saisons. Les inventaires se doivent de rendre compte de cette distribution inégale dans le temps, rendue d'autant plus nécessaire à l'échelle urbaine. Mais une enquête du CITEPA montre la part belle aux inventaires intégrés sur une base annuelle (60% des inventaires en France).

Les résolutions temporelles journalières et horaires ont reçu peu d'attention. La génération de bases de données d'émissions horaires est onéreuse ; elle s'appuie sur des données statistiques rendant compte, par exemple, du rythme journalier des activités humaines (comptage de véhicules, heures de fonctionnement de certaines industries). Ces informations ne sont pas toujours disponibles au niveau local. En outre, comme on peut l'imaginer, elles nécessitent un effort considérable de rassemblement de données, qu'il est à fortiori coûteux de réactualiser.

Annexe 5 : Spéciation des COVNM données par la méthodologie COPERT III

Alcanes : éthane, propane, butane, isobutane, pentane, isopentane, hexane, heptane, octane, 2-méthylhexane, nonane, 2-méthylheptane, 3-méthylhexane, decane, 3-méthylheptane, alcanes C>13

Cycloalcanes

Alcènes : éthylène, propylène, propadiène, 1-butène, isobutène, 2-butène, 1,3-butadiène, 1-pentène, 2-pentène, 1-hexène, diméthylhexène

Alkynes : 1-butine, propine, acétylène

Aldéhydes : formaldéhyde, acétaldéhyde, acroléine, benzaldéhyde, crotonaldéhyde, méthacroléine, butyraldéhyde, isobutanaldéhyde, propionaldéhyde, hexanal, I-valéraldéhyde, valéraldéhyde, o-tulualdéhyde, m-tulualdéhyde, p-tulualdéhyde

Cétone : acetone, méthylethylketone

Aromatiques : toluène, éthylbenzène, mp-xylène, o-xylène, 1,2,3-triméthylbenzène, 1,2,4-triméthylbenzène, 1,3,5-triméthylbenzène, styrène, benzène, propylbenzène, 2-éthyltoluène, 3-éthyltoluène, indane, isopropylbenzène, 1,2-diéthylbenzène, 1,3-diéthylbenzène, 1-méthyl et 3-propylebenzène, 1-méthyl et 3-isopropylebenzène, isotutylbenzène, sec-butylbenzène, aromatiques C>13

Annexe 6 : Les rejets de gaz d'échappement automobile

La quantification de la consommation et des émissions liées à la circulation routière s'appuie sur les principes suivants :

- Un véhicule soumis à des conditions de circulation données est caractérisé par sa consommation et ses émissions unitaires de polluants que l'on exprime en grammes par kilomètre parcouru.
- On procède à une segmentation du parc français de véhicules en les répartissant en classes considérées comme homogènes au regard de leur consommation et de leur émissions.
- On évalue la consommation et les émissions unitaires moyennes du parc en pondérant les émissions unitaires de chaque classe de véhicules par leur taux de présence moyen sur la voirie
- La consommation ou la quantité de chaque polluant émis par un flux de véhicule est alors le produit de la consommation ou de l'émission unitaire moyenne par le nombre de véhicules concernés.

1-) Paramètres influençant les émissions

Les émissions de COVNM dans les gaz d'échappement automobile dépendent de différents paramètres :

- Des paramètres intrinsèques aux véhicules : types de véhicule, motorisation, technologie de contrôle des émissions
- Des paramètres relatifs à l'usage des véhicules : maintenance du véhicule, vieillissement
- Des conditions de conduite : vitesse moyenne du véhicule, cinématique du trajet
- Des conditions thermiques : température du moteur, température ambiante
- La composition du carburant

2-) Profils d'émission

Si les émissions des hydrocarbures totaux, polluants réglementés, par les véhicules sont grandement renseignés, en revanche leur décomposition spécifique, la plus complète possible est plutôt rare. Des exemples de compositions massiques de COVNM des émissions de gaz automobile sont présentés dans le tableau A6-1.

Les familles hydrocarbonées les plus représentées sont celles retrouvées dans les effluents de combustion, constitués à la fois d'une fraction imbrûlée (alcanes, aromatiques) et d'une fraction produite par les réactions de combustion (alcènes, aromatiques). Les composés fortement émis sont l'isopentane, l'éthylène, le propène, l'acétylène, le benzène, le toluène, l'éthylbenzène, les xylènes et le formaldéhyde, en particulier à l'échappement des motorisations diesel.

3-) Mode d'intervention

Les différentes influences sur les niveaux d'émission et la composition des gaz d'échappement automobile agissent sur leur incidence différenciée sur la distribution spatio-temporelle des concentrations ambiantes de la majorité des COVNM. Sources à caractère linéique, leur action sera particulièrement marquée au coeur de l'espace urbain (centre ville) caractérisé par un réseau routier et un trafic dense et par la nature des déplacements en son sein : vitesse réduite, multiplication des phases de ralenti et d'accélération. Sur une base temporelle, son échelle d'intervention est associée aux heures de pointe du trafic journalier. Des températures plus faibles en hiver et l'augmentation des rejets à froid seraient en faveur d'une action plus grande en hiver de la combustion automobile.

intitulé du profil	VP essence non catalysées	VP essence catalysées	VP diesel	transports routiers
alcanes hors méthane	21,75		23,66	6,34
éthane	1,3		2,48	0,36
propane	0,09		0,09	0,88
n-butane	1,3		1,02	3,95
isobutane	0,5		0,41	1,97
n-pentane	1,31		1,22	2,76
isopentane	5,11		5,23	4,15
2,2-diméthylbutane	4		4,65	
2-méthylpentane	1,34		1,22	2,07
n-hexane	0,39		0,28	0,99
alcanes > C6	6,42		7,05	5,09
dont alcanes > C10	-	-		4,74
cycloalcanes	1,3		0,59	0,59
alcènes	23,02		14,74	30,41
éthylène	8,92		5,19	17,07
propène	4		2,39	5,54
1-butène	0,83		0,39	1,57
trans-2-butène	0,5		0,24	0,21
cis-2-butène	0,38		0,17	0,13
isobutène	1,8		4,08	0,65
1,3-butadiène	1,15		0,44	1,18
1-pentène	0,28		0,09	0,77
trans-2-pentène	0,56		0,15	0,1
autres	4,6		1,59	3,19
alcynes	5,49		1,98	4,58
acétylène	4,89		1,72	4,31
propyne	0,38		0,19	0,21
2-butyne	0,22		0,08	0,06
aromatiques	39,64		38,45	6,5
benzène	4,76		6,29	2,15
toluène	10,96		12,34	1,09
éthylbenzène	2,36		2,23	0,15
m+p-xylène	6,89		7,36	0,26
o-xylène	2,72		2,84	0,14
1,2,4-triméthylbenzène	2,57		2,1	0,44
1,3,5-triméthylbenzène	0,74		0,66	0,11
n-propylbenzène	0,52		0,4	0,07
autres	8,12		5,36	4,38
aldéhydes	3,96		3	42,47
formaldéhyde	1,81		1,19	24,32
acétaldéhyde	0,4		0,86	6,77
cétones	0,31		0,55	2,14

Tableau A6-1 : composition massiques de COVNM des émissions de gaz automobile (Borbon, 2002)

Annexe 7 : rejets des installations de combustion

1-) profils d'émission

Le bilan des émissions des COVNM est difficile à établir car le nombre de documents est restreint. Les compositions des émissions varient considérablement selon le combustible utilisé. Un exemple en est présenté dans le tableau A7-1.

Avec la combustion du bois et du charbon, des quantités significatives d'alcènes et de composés aromatiques sont rejetées dans l'atmosphère. Au contraire, la composition des profils "fuel" et "gaz" indique la présence d'une fraction imbrûlée importante avec des quantités significatives d'alcanes, la présence de formaldéhyde mais aussi de benzène et de toluène. Si les profils européens confirment que les paraffines, l'éthylène, le propène, l'acétylène, le benzène et les composés carbonylés (formaldéhyde) composent la fraction organique majeure de la combustion non industrielle, il n'existe pas, à l'heure actuelle, de vision très claire de la composition en COVNM de cette catégorie de source.

2-) mode d'intervention

Les émissions de COVNM par les installations de combustion ont un caractère ponctuel dans le cas des grandes installations de combustion ou surfacique dans le cas des plus petites installations du fait de leur dissémination sur l'ensemble de l'espace urbain. Elles sont à priori étroitement liées aux besoins énergétiques. Leur action associée à la fonction de chauffage domestique serait plus marquée en hiver avec la baisse des températures qui implique une augmentation de la consommation énergétique.

références	France						UK	IER-PRIMEQUAL	
	charbon	charbon	bois	gaz combustion externe	fuel	gaz combustion interne	mixte	mixte	
éthane		2,09	8,47				8,51	10,63	10,99
propane		1,78	2,22		9,09	1,2	1,27	6,07	4,39
éthylène			26,59				25,22	7,24	21,63
propène			3,25				15,76	3,34	2,1
éthyne							9,96	0,05	5,63
n-butane		0,98			20,45	12,2	0,43	7,95	0,95
butènes		0,79	0,79				11,71	0,12	
1,3-butadiène							6,08		
pentane					13,64	4,7	0,052	12,56	
autres paraffines	8,84	18,56					0,24	16,25	19,69
benzène	4,95		30,69		9,09		6,92	7,2	7,7
toluène	6,6	5,62			4,54		0,02	3,32	2,37
xylènes	35,84	47,89						0,36	1,11
autres aromatiques	14,79	11,25						0,6	0,21
formaldéhyde					18,18	48,7	13,38	4,41	1,19
autres	29		28		25		0,43	20	21

Tableau A7-1 : exemples de compositions massiques non méthaniques (en % masse) d'installations de combustion du secteur tertiaire et résidentiel

Annexe 8 : le stockage et la distribution de combustibles fossiles

1-) Les pertes par évaporation sur véhicule

Les pertes par évaporation sur véhicules représentent généralement 30% des émissions de COVNM par les transports à l'échelle nationale et urbaine. Les pertes des véhicules diesel légers ou lourds sont minimales voire nulles étant donné la très faible pression de vapeur du gazole (1 mbar à température ambiante).

Les niveaux et la composition des émissions par évaporation des essences dépendent de quatre paramètres majeurs :

- Du dispositif de contrôle des émissions (piège de charbon actif ou canister)
- Des conditions thermiques : température ambiante, température du moteur
- De la volatilité et de la composition de l'essence
- Des conditions de conduite (longueur du trajet, temps de stationnement)

Les profils d'émission sont très variables. Outre les méthodologies de caractérisation, ces différences s'expliquent déjà par les variations notables de composition des essences selon les fournisseurs. Néanmoins, les vapeurs d'essence contiennent en majorité des constituants légers (alcane en C₄-C₅), une fraction aromatique importante (benzène, toluène, xylènes) et des alcènes (butènes, pentènes).

Les différentes influences sur les niveaux et la composition des émissions par évaporation des essences sur véhicules augurent leur incidence sur la distribution spatio-temporelle des concentrations ambiantes des COVNM et notamment sur la fraction organique légère, très fortement représentée. Les émissions par évaporation ont une composante linéique ou surfacique selon qu'elles sont associées à des déplacements de véhicules (pertes en croisière) ou à des stationnements (pertes à l'arrêt). Leur dépendance vis-à-vis de la température ambiante laisse prévoir leur action privilégiée en été.

2-) Les pertes par évaporation liées à la distribution des essences

Ces pertes sont faibles comparativement à celles sur véhicules. Elles sont amenées à diminuer par l'imposition de systèmes de récupération des vapeurs dans les stations services et notamment au cours du ravitaillement des véhicules (arrêté du 17/05/01 relatif à la réduction des émissions de COVNM dans les stations services d'un débit d'essence supérieur à 3000 m³/an) qui peut constituer une source ponctuelle importante dont les émissions dépendront des volumes de carburants distribués.

En terme de composition, les profils des pertes au ravitaillement des véhicules sont assimilés à ceux des pertes par évaporation sur véhicules.

Annexe 9 : Bilan des émissions connues en Rhône-Alpes

Zone 1: Feyzin – Pierre bënite – Saint Fons – Vénissieux (sud de l'agglomération lyonnaise)

Etablissement	Lieu	Activité	Emissions(t/an)	observations
Rhodia organiques	Saint Fons – 69	Chimie organique (Chimie - parachimie)	776 [2000] 678 [2001]	
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
➤ Méthyl Iso-Butyl Cétone (MiBC)			156	23,0 %
➤ Méthanol			154	22,7 %
➤ Ether isopropylique			81	12,0 %
➤ Toluène			73	10,8 %
➤ Monochlorobenzène			72	10,6 %
➤ Chlorure de méthyle			35	5,2 %
➤ Perchloréthylène			24	3,5 %
➤ Méthylcyclohexane			23	3,4 %
➤ Isopropanol			14	2,0 %
Totalfinaelf	Feyzin – 69	Raffinage – pétrochimie (Production et transport d'énergie)	547 [2000] 465 [2001]	Benzène certainement sous- estimé
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
➤ Benzène			15	3,2 %
➤ Hydrocarbures (dont benzène) non spécifiés			le reste	96,8 %
Veninov	Vénissieux – 69	Papiers peints (Enduction – impression emballages et papier)	427 [2000] 391 [2001]	Rejets amenés à chuter suite à la MIP d'une installation d'incinération
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
➤ Méthyl Ethyl Cétone			391	100 %
Atofina	Pierre Bénite – 69	Dérivés du fluor, H ₂ SO ₄ (Chimie – parachimie)	331 [2000] 299 [2001]	
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
➤ F1131a			52	17,5 %
➤ F142B (c'est un hydrofluorocarbure)			45	15 %
➤ Forane 22			31	10,4 %
➤ C ₂ F ₄			23	7,6 %
➤ trichlorométhane			4	1,3 %
Renault V.I.	Vénissieux – 69	Poids lourds (Mécanique)	230 [2000] 170 [2001]	
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
➤ xylène			51	30 %
➤ alcool butylique			5,1	3 %
➤ alcool éthylique			nc	nc
Dépôt de pétrole de Lyon	Lyon – 69	Dépôt pétrolier (Production et transport d'énergie)	188 [2000]	Données 2001 non connues
Spéciation des émissions de COV :				
➤ vapeurs d'essence (hydrocarbures dont benzène)				
Givaudan Lavirotte	Lyon – 69	Pharmacie (Chimie - parachimie)	180 [2000]	

			203 [2001]	
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
➤ Ethanol			193	95,21 %
➤ Méthanol			5,5	2,7 %
➤ Méthyl Ethyl Cétone (MEC)			5,5	2,7 %
➤ Toluène			1,6	0,8 %
UCAR	Vénissieux – 69	Electrométallurgie – métallurgie – fonderie	89 [2000]	
			88 [2001]	
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
➤ Corganique				
Rhodia Silicones	Saint Fons – 69	Silicones (Chimie - parachimie)	85 [2000]	nc pour 2001
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 : Inconnue (plus de 400 COV)				
Atofina	Saint Fons – 69	PVC, H ₂ SO ₄ , HNO ₃ (chimie – parachimie)	22 [2000]	
			15 [2001]	
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
➤ Chlorure de Vinyle Monomère (CVM)			15	100 %
		total	2853 [2000]	

Zone 2 : Neuville/Saône (nord de l'agglomération lyonnaise)

Etablissement	Lieu	Activité	Emissions (t/an)	Observations
Aventis Pharma	Neuville/Saône – 69	Pharmacie (Chimie – parachimie)	1412 [2000]	
			1100 [2001]	
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
➤ Toluène			770	70 %
➤ Dichlorométhane			88	8 %
➤ 1-2 dichloroéthane			88	8 %
➤ Ethanol			44	4 %
➤ Acétone			22	2 %
➤ MiBC			22	2 %
➤ CHF, MHF (?)			22	2 %
Neuville industries	Neuville/Saône – 69	Emballages (enduction – impression emballages et papier)	201 [2000]	
			182 [2001]	
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
➤ Méthyl Ethyl Cétone			120	66 %
➤ Vapeurs de plastifiant			58	32 %
		total	1613 [2000]	

Zone 3 : Frogès - Crolles - Villard Bonnot (vallée comprise entre le massif de la Chartreuse et la chaîne de Belledonne)

Etablissement	Lieu	Activité	Emissions (t/an)	Observations
Pechiney emballage Flexible europe	Frogès - 38	Emballages (Enduction – impression emballages et	2294 [2000]	Réduction complémentaire des rejets de COV par incinération
			756 [2001]	

		papier)		
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				Proportions non communiquées
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Méthyl Ethyl Cétone ➤ Acétate d'Ethyl ➤ Ethanol 				
Pechiney Rhenalu	Froges - 38	Films aluminium (Mécanique)	182 [2000] 150 [2001]	
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Kérosène ➤ Heptane / isopropanol 			117 33	78 % 22 %
Atofina	Villard Bonnot - 38	PVC et composés phosphorés (Chimie et parachimie)	83 [2000] 83 [2001]	
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Chlorure de Vinyle Monomère 			83	100 %
ST Microelectronics	Crolles - 38	Matériel électronique (Activités diverses)	40 [2000]	Pas de données 2001
Spéciation des émissions de COV de l'année 2000 :				
<ul style="list-style-type: none"> ➤ isopropanol 			40	100 %
		total	2599 [2000]	

Zone 4 : Jarrie – Pont de Claix (sud de l'agglomération lyonnaise)

Etablissement	Lieu	Activité	Emissions (t/an)	Observations
Atofina	Jarrie - 38	Composés chlorés (Chimie – parachimie)	494 [2000] 512 [2001]	
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
<ul style="list-style-type: none"> ➤ C₂H₅Cl ➤ CBz (?) ➤ DCE ➤ C₂H₄ ➤ CH₃Cl ➤ Toluène ➤ Benzène ➤ Chlorure de Vinyle Monomère (CVM) 			129 109 85 54 34 17 6 4	25,2 % 21,3 % 16,6 % 10,6 % 6,7 % 3,3 % 1,1 % 0,8 %
Rhodia intermédiaires	Le Pont de Claix – 38	Chimie organique (Chimie – parachimie)	154 [2000] 130 [2001]	
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Toluène ➤ Orthodichlorobenzène (ODCB) ➤ Monochlorobenzène ➤ Chlorure de méthylène ➤ Diméthylformaldéhyde (DMF) : toxique reprod 			81 16 16 8 2	62 % 12 % 12 % 6 % 1,5 %
Enichem elastomères France	Le Pont de Claix – 38	Caoutchouc synthétique (Chimie – parachimie)	140 [2000] 135 [2001]	

Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 : ➤ 1,3 Butadiène	30	22 %
Spéciation des émissions de COV de l'année 2000 : ➤ 1,3 butadiène ➤ chloroprène	86 g/h 946 g/h	rejets à considérer sur une unité (émission annuelle 2001 : 10 t)
	total	758 [2000]

Zone 5 : Bellegarde

Etablissement	Lieu	Activité	Emissions (t/an)	Observations
Pechiney electrometallurgie	Bellegarde – 01	Electrometallurgie – metallurgie – fonderie	560 [2000]	Pas de données d'émission pour l'année 2001
Spéciation des émissions de COV de l'année 2000 : ➤ acétylène			560	100 % les quantités de rejets varient d'une année sur l'autre
Scapa tapes France	Bellegarde – 01	Adhésifs (enduction – impression emballages et papier)	527 [2000]	Pas de données d'émission pour l'année 2001
Spéciation des émissions de COV de l'année 2000 : ➤ toluène ➤ essence F (HC en C8,9)			353 174	67 % 33 %
Cebal	Chatillon en Michaille – 01	Emballages (Enduction – impression emballages et papier)	257 [2000]	Pas de données, ni en terme de quantités ni de qualité des rejets. (sûrement Méthyl Ethyl Cétone)
		total	1343 [2000]	

Zone 6 : Roussillon

Etablissement	Lieu	Activité	Emissions (t/an)	Observations
Rhodia intermédiaires	Roussillon – 38	Chimie organique (Chimie – parachimie)	872 [2000] 713 [2001]	
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 : ➤ Chlorure de méthylène ➤ Benzène			163 4	23 % 0,6 % Le différentiel n'est pas connu
Rhodia silicones	Roussillon – 38	Silicones (Chimie – parachimie)	398 [2000] 326 [2001]	
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 : ➤ Chlorure de Méthyl ➤ Tétraméthylsilane ➤ HC non identifiés ➤ isobutane			134 39 124 20	41 % 12 % 38 % 6 %
		total	1270 [2000]	

Zone 7 : Saint Paul les trois châteaux

Etablissement	Lieu	Activité	Emissions (t/an)	Observations
Gerflor provence	Saint-paul-les-3-châteaux – 26	Revêtement de sol (Enduction – impression emballages et papier)	1167 [2000] 1088 [2001]	Les rejets de MEC (ici majoritaires) sont amenés à disparaître dans les années à venir)
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
➤ Méthyl Ethyl Cétone			927	85,2 %
➤ Acétate d'Ethyl Glycol			59	5,4 %
➤ Cyclohexane			42	3,9 %
➤ Dibutyl benzène			22	2,0 %
➤ Petrolab			18	1,7 %
➤ Méthyl Isobutyl Kétone			16	1,5 %
➤ Diophylphtalate			3	0,3 %
		total	1167	

Zone 8 : Valence

Etablissement	Lieu	Activité	Emissions (t/an)	Observations
Scapa Tapes	Valence – 26	Adhésifs (Enduction – impression emballages et papier)	983 [2000]	Pas de données d'émission pour l'année 2001
Spéciation des émissions de COV de l'année 2001 :				
➤ Toluène			660	67 %
➤ Essence F			330	33 %
		Total	983 [2000]	

Annexe 10 : identification des dangers et choix des VTR

Voici présenté les caractéristiques générales (utilisation, caractéristiques physico-chimiques) et toxicologiques des polluants sélectionnés dans le cadre de l'étude sur la zone recouvrant le sud de l'agglomération lyonnaise. Notre étude se plaçant dans le cadre d'une exposition aux niveaux de fond en COVNM, nous focaliserons l'exposé des caractéristiques toxicologiques sur les effets chroniques systémiques et, surtout, les effets cancérogènes propres à chaque substance par la voie respiratoire.

1-) Le benzène

1-1) Généralités :

n°CAS : 71-43-2

formule chimique : C₆H₆

famille chimique : hydrocarbures aromatiques monocycliques

pression de vapeur : 10,032 kPa à 20°C

12,875 kPa à 25°C

facteur de conversion : 1 ppm=3,249 mg/m³ ; 1 mg/m³=0,308 ppm

utilisation: La vente et l'emploi du benzène sont sévèrement réglementés.

Le benzène est principalement utilisé pour produire de l'éthylbenzène servant à la synthèse du styrène destiné à la fabrication de matières plastiques et d'élastomères.

Comme sous-produit du pétrole, il entre naturellement dans la composition de l'essence automobile. Son rôle est particulièrement important dans l'essence sans plomb à cause de ses caractéristiques « anidétonation ».

1-2) Données toxicologiques :

1-2-1) Devenir dans l'organisme :

La voie d'inhalation majoritaire pour le benzène est l'inhalation. 50% de la quantité inhalée sont absorbés. L'absorption cutanée est possible mais demeure une source secondaire d'exposition.

Le benzène possède un tropisme préférentiel vers les graisses et les tissus riches en lipides.

Le benzène est éliminé sous une forme inchangée dans les urines (moins de 1%) et dans l'air expiré, 10 à 50% selon l'activité physique et l'importance du tissu adipeux. Le reste est biotransformé. L'élimination par voie métabolique est un système saturable.

Le benzène est métabolisé en benzène époxyde par les cytochromes P450 2E1 hépatique. Les cytochromes CYP 2B1 sont également capables de métaboliser le benzène mais leur contribution n'est sollicitée que lors d'exposition à des fortes concentrations en benzène. Le benzène époxyde possède lui-même une activité toxique qui pourrait être à l'origine de la myélotoxicité du benzène.

1-2-2) Toxicologie chronique :

- Effets systémiques :

Les conséquences de l'inhalation chronique peuvent être graves. On les décrit sous le nom de benzolisme. La toxicité chronique est essentiellement hématologique. Le premier stade est celui du benzolisme latent caractérisé par des malaises avec signes digestifs (nausées, vomissements voire épigastralgies) et asthénie. Des troubles neuropsychiques peuvent apparaître (irritabilité, diminution des capacités d'attention et de mémorisation, syndrome dépressif, troubles du sommeil...). On constate, par ailleurs, une anémie modérée avec baisse modérée des globules blancs et surtout des plaquettes, ce qui est un signe fréquent et précoce de l'intoxication.

Le benzolisme confirmé se caractérise par une atteinte des trois lignées de la moelle osseuse. Il existe alors une anémie grave avec troubles digestifs importants et une tendance aux hémorragies. On constate alors une leucopénie avec neutropénie et une thrombopénie marquée. L'évolution peut être mortelle en quelques mois. Cependant, l'aplasie médullaire benzénique est devenue exceptionnelle en France.

Par ailleurs, des atteintes du système immunitaire (à la fois immunité humorale et cellulaire) ont été décrites.

Des effets cardio-vasculaires à type de fibrillation ventriculaire ont été notés lors d'exposition aux vapeurs de benzène.

Tableau récapitulatif :

Substance chimique	Voie d'exposition	Taux d'absorption (homme)	Organe cible	
			Principal	Secondaire
Benzène	Inhalation	50%	Système hématopoïétique	SNC et système immunitaire

- Effets cancérigènes :

Le benzène est leucomogène. Il s'agit alors de leucémies myéloblastiques aiguës mais également de leucémies myélonocytaires aiguës, de leucémies à promyélocytes et d'érythro-leucémies. Concernant les études chez l'homme, les données scientifiques sont suffisantes pour permettre d'établir une relation entre l'apparition de leucémies non lymphatiques et l'exposition cumulée à des niveaux élevés de benzène. Pour des expositions à des niveaux moins élevés, le lien est moins clair.

Classification :

- ✓ Union européenne : catégorie 1 (substance que l'on sait être cancérogène pour l'homme)
- ✓ CIRC-IARC : groupe 1 (agent cancérigène pour l'homme)
- ✓ US-EPA : catégorie A (substance cancérigène pour l'homme)

Caractère génotoxique : le benzène ne fait pas l'objet d'une classification par l'Union Européenne

- Effets sur la reproduction et le développement :

D'après des études chez l'homme, le benzène passe la barrière placentaire et est retrouvé dans la moelle osseuse du fœtus à des niveaux supérieurs ou égaux à ceux mesurés chez la mère par inhalation. Cependant, les effets du benzène sur la reproduction et le développement par inhalation ne sont pas suffisants pour établir une relation causale.

Différentes études réalisées lors de l'exposition par inhalation chez différentes espèces animales ont montré que des effets foetotoxiques étaient observés pour des concentrations supérieures ou égales à 153 mg/m³ (47 ppm). Ces effets correspondent à une diminution du poids du fœtus et/ou de la taille du squelette. Le benzène n'a pas d'action tératogène spécifique.

1-2-3) Valeurs toxicologiques de Référence

Les VTR sont consignées dans le tableau suivant :

Source	Voie d'exposition	VTR	Année d'évaluation
US-EPA	Inhalation	ERU _i =[2,2.10 ⁻⁶ ;7,8.10 ⁻⁶] (µg/m ³) ⁻¹	2003
OMS	Inhalation	ERU _i =6.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹	1997

Il est à noter que pour les effets chroniques non cancérigènes par inhalation, aucune VTR n'est actuellement proposée.

Signalons en outre que le conseil supérieur d'hygiène public de France, dans le cadre de la directive relative à la pollution de l'air ambiant (1997), a retenue la valeur proposée par l'OMS ($6.10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$).

2-) Le formaldéhyde

2-1) Généralités :

n°CAS : 50-00-0

formule chimique : CH_2O

famille chimique : aldéhydes

pression de vapeur : 440 kPa à 20°C

520 kPa à 25°C

facteur de conversion : 1 ppm = 1,25 mg/m³ ; 1 mg/m³ = 0,80 ppm

utilisation : Le formaldéhyde est utilisé dans la fabrication des résines phénolastes, aminoplastes, polyacétals. Il est également employé comme germicide, insecticide, fongicide et comme fixateur pour les spécimens histologiques. Dispersé par fumigation, il permet de désinfecter des locaux, des ustensils ou du linge. Il est également employé comme antiseptique et comme additif antibactérien pour la conservation des aliments. Il est d'autre part utilisé dans des domaines divers tels que l'industrie du papier, le tannage du cuir, la photographie, l'analyse chimique, la fabrication de substances chimiques organiques, de soie artificielle, d'esters de cellulose, de teinture et d'explosifs.

2-2) Données toxicologiques :

2-2-1) Devenir dans l'organisme :

Le formaldéhyde est une substance endogène qui représente un intermédiaire essentiel du métabolisme cellulaire. Bien qu'il existe d'autres voies d'exposition (ingestion et cutanée), la principale voie par laquelle le formaldéhyde exogène peut affecter l'organisme humain est l'inhalation.

La distribution dans l'organisme de ses métabolites ou des produits de sa réaction avec des substances nucléophiles se fait d'abord au niveau des organes richement vascularisés puis au niveau des tissus à renouvellement cellulaire rapide (organes hématopœtiques, muqueuse gastro-intestinale) ou à synthèse protéique élevée (pancréas exocrine, glandes salivaires). A noter que le formaldéhyde peut aussi se lier de manière covalente avec les protéines ou les acides nucléiques qui donnent naissance à des adduits méthylol ou des ponts méthylène.

L'élimination du formaldéhyde est qualitativement et quantitativement variable en raison de l'incorporation partielle et imprévisible de l'aldéhyde dans le cycle du carbone.

2-2-2) Toxicologie chronique :

- Effets systémiques

De nombreuses études chez l'homme ont permis de mettre en évidence une prévalence élevée :

- ✓ de signes subjectifs d'irritation des muqueuses oculaires et des voies respiratoires
- ✓ de manifestations évoquant une pathologie respiratoire chronique
- ✓ d'altérations permanentes ou rythmées par le travail des épreuves fonctionnelles respiratoires
- ✓ de lésions de l'épithélium respiratoire et nasal.

Il s'agit aussi d'un puissant allergène, responsable de sensibilisations cutanées (eczéma, urticaire) et respiratoires (rhinite allergique et asthme). Il serait même à l'origine de choc anaphylactique.

D'autres études ont rapporté une prévalence de signes d'irritation oculaire et cutanée modérée dans les populations exposées à de faibles concentrations de formaldéhyde (inférieure à 1 ppm) que l'on rencontre, par exemple, dans les habitations isolées avec des résines urée-formol.

A noter que quatre études épidémiologiques récentes ont évoqué la possibilité de la responsabilité du formaldéhyde dans la survenue de manifestations d'un psychosyndrome organique associant céphalées, asthénie, troubles du sommeil, de l'humeur et de la mémoire...Cependant, trois de ces études prenaient en compte de façon simultanée d'autres solvants.

Tableau récapitulatif :

Substance chimique	Voie d'exposition	Taux d'absorption (homme)	Organe cible	
			Principal	Secondaire
Formaldéhyde	Inhalation	ND	Voies aériennes supérieures	peau

- Effets cancérogènes :

Parmi les données les plus récentes, les deux méta-analyses de Blair et al. (1990) et Partanen (1993), qui reprennent par des techniques d'analyses un peu différentes les données de plusieurs études épidémiologiques, arrivent aux mêmes conclusions. Tous deux considèrent en effet que c'est pour le cancer du nasopharynx (avec des risques relatifs de 1,1 et 2 dans chacune des études), et dans une moindre mesure celui des cavités nasales, que l'on peut attribuer un rôle causal hautement probable au formaldéhyde, en raison d'une relation exposition/effet et de l'action directe du formaldéhyde sur ces sites.

Chez l'animal (rat en l'occurrence), plusieurs études d'exposition chronique par inhalation au formaldéhyde ont mis en évidence l'apparition de tumeurs nasales pour des concentrations comprises entre 6 et 15 ppm.

Classification :

- ✓ Union européenne : catégorie 3 (substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles)
- ✓ CIRC-IARC : groupe 2A (agent probablement cancérogène pour l'homme)
- ✓ US-EPA : catégorie B1 (substance probablement cancérogène pour l'homme. Des données limitées chez l'homme sont disponibles)

Caractère génotoxique : le formaldéhyde ne fait pas l'objet d'une classification par l'Union Européenne

- Effets sur la reproduction et le développement :

Chez l'homme, deux études décrivent l'absence de différence sur la qualité du sperme de 11 hommes exposés par inhalation professionnellement au formaldéhyde par comparaison à des témoins, de même que chez la femme (275 sujets) un taux d'avortements spontanés de 11,6% jugé compatible avec le taux basal d'avortements. Le nombre limité des sujets dans la première étude et le manque de données sur l'exposition dans la seconde limitent les conclusions relatives à ces études.

Plus récemment, des effets sur la reproduction (cycles menstruels, grossesses difficiles) ont été observés chez des femmes professionnellement exposées. De plus, une diminution du poids des bébés à la naissance en rapport avec l'exposition des mères au formaldéhyde a été notée.

2-2-3) Valeurs toxicologiques de Référence

Les VTR sont consignées dans le tableau suivant :

Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	VTR	Année d'évaluation
ATSDR	Inhalation : chronique	30	MRL=0,04 mg/m ³ (=0,04 ppm)	1999
ATSDR	Inhalation (singe)	-	ERU _i =3,3.10 ⁻⁴ (µg/m ³) ⁻¹	1999
ATSDR	Inhalation (rat)	-	ERU _i =2,8.10 ⁻³ (µg/m ³) ⁻¹	1999
US-EPA	Inhalation	-	ERU _i =1,3.10 ⁻⁵ (µg/m ³) ⁻¹	1991

3-) Le chlorure de vinyle

3-1) Généralités :

n°CAS : 75-01-4

formule chimique : C₂H₃Cl

famille chimique : Composés Organo-Halogénés Volatils (C.O.H.V.)

pression de vapeur : 330 kPa à 20°C

350 kPa à 25°C

facteur de conversion : 1 ppm=2,6 mg/m³ ; 1 mg/m³=0,385 ppm

utilisation: Le chlorure de vinyle est largement utilisé comme monomère dans la fabrication de matières plastiques (PVC et copolymères), dans les synthèses organiques et comme réfrigérant. Il trouve également de nombreuses applications dans la fabrication de produits utilisés dans le bâtiment, l'industrie automobile, l'isolation de câbles et de fils électriques, les tuyauteries, l'équipement industriel et ménager. Son utilisation est d'autre part fortement liée aux industries du caoutchouc, du papier et du verre.

3-2) Données toxicologiques :

3-2-1) Devenir dans l'organisme :

La principale voie d'exposition au chlorure de vinyle chez l'homme est la voie respiratoire. Après inhalation, 30-40% seulement sont absorbés.

Les études par inhalation chez l'homme et l'animal montrent que le chlorure de vinyle est rapidement absorbé jusqu'à ce qu'il atteigne une concentration d'équilibre et un coefficient de partition entre l'air et le sang.

Après absorption, la principale voie métabolique du chlorure de vinyle passe par les système des mono-oxygénases notamment le cytochrome P-450.

Lorsque la voie métabolique arrive à saturation (environ 260 mg/m³ par inhalation), la proportion de chlorure de vinyle dans l'air exhalé augmente et l'acide chloracétique peut directement être excrété dans les urines.

3-2-2) Toxicologie chronique :

- Effets systémiques :

En milieu industriel, l'exposition à des concentrations de l'ordre de 2600 mg/m³ qui n'étaient pas rares avant 1974 pendant des périodes de 1 mois à plusieurs années était à l'origine d'un syndrome pathologique particulier observé chez des ouvriers travaillant sur le chlorure de vinyle et appelé « maladie du chlorure de vinyle ». Les symptômes évoqués consistaient en douleurs articulaires et céphalées, étourdissements, troubles visuels, fatigue et perte d'appétit, nausées, insomnies, essoufflements, douleurs et picotements dans les membres, sensation de froid aux extrémités, diminution de la libido et perte de poids.

L'affection des vaisseaux sanguins qui touchent les extrémités des doigts a été parfois associée à des lésions de sclérodermie avec une atteinte conséquente des os de type acro-ostéolyse chez des personnes qui étaient chargées du nettoyage à la main des autoclaves de polymérisation du chlorure de vinyle. Les scléroses cutanées principalement localisées au niveau des doigts de la main ont également pu être observées, chez ces travailleurs fortement exposés, au niveau des bras, du cou et la face du visage.

Des études anciennes ont rapporté une augmentation non significative de la mortalité due à des maladies cardio-vasculaires parmi les salariés exposés au chlorure de vinyle.

Des troubles neurologiques comprenant une polyneuropathie sensorielle et motrice, des troubles psychiatriques tels des syndromes neurasthéniques et dépressifs sont fréquemment observés.

Des altérations pathologiques de l'électroencéphalogramme sont souvent notés chez les patients.

Tableau récapitulatif :

Substance chimique	Voie d'exposition	Taux d'absorption (homme)	Organe cible	
			Principal	Secondaire
Chlorure de vinyle	Inhalation	30 à 40%	Système nerveux central	Peau

- Effets cancérogènes :

Le chlorure de vinyle a été associé à des tumeurs du foie, du cerveau, du poumon et du système hématolymphopoiétique. Toutes les études traitent de l'exposition par inhalation et viennent de populations industrielles.

Classification :

- ✓ Union européenne : catégorie 1 (substance que l'on sait être cancérogène pour l'homme)
- ✓ CIRC-IARC : groupe 1 (agent cancérogène pour l'homme)
- ✓ US-EPA : catégorie A (substance cancérogène pour l'homme)

Caractère génotoxique : non classé génotoxique par l'Union Européenne.

- Effets sur la reproduction et le développement :

Des études ont été menées chez l'homme et rapportent notamment des dysfonctionnements sexuels chez l'homme, l'incidence d'avortements spontanés ou encore l'incidence de malformations à la naissance dans différents cas d'exposition au chlorure de vinyle. Cependant, ces travaux sont contestés par la présence de biais.

3-2-3) Valeurs toxicologiques de Référence

Les VTR sont consignées dans le tableau suivant :

Source	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	VTR	Année d'évaluation
US-EPA	Inhalation : chronique	30	RfC=0,1 mg/m ³	2000
US-EPA	Inhalation : exposition vie adulte	-	ERU _i =4,4.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹	2000
US-EPA	Inhalation : exposition vie entière	-	ERU _i =8,8.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹	2000

4-) 1,2-Dichloroéthane

4-1) Généralités :

n°CAS : 107-06-2

formule chimique : $C_2H_4Cl_2$

famille chimique : Composés Organo-Halogénés Volatils (C.O.H.V.)

pression de vapeur : 8433 Pa à 20°C

facteur de conversion : 1 ppm=4,11 mg/m³ ; 1 mg/m³=0,24 ppm

utilisation: Le 1,2-dichloroéthane est principalement utilisé comme intermédiaire dans la synthèse du chlorure de vinyle. Il est également employé dans la production de solvants chlorés tels que le 1,1,1-trichloroéthane, le trichloroéthylène et le tétrachloroéthylène.

4-2) Données toxicologiques :

4-2-1) Devenir dans l'organisme :

Ce produit est absorbé par la voie respiratoire, la peau et la voie digestive. Par inhalation, le 1,2-dichloroéthane est rapidement absorbé par les poumons. Le caractère lipophile de cette substance favoriserait son passage, probablement par diffusion passive, au niveau de l'épithélium alvéolaire lorsqu'elle est inhalée.

4-2-2) Toxicologie chronique :

- Effets systémiques :

Les données sur la toxicité subchronique ou chronique du 1,2-dichloroéthane chez l'homme sont peu nombreuses. De plus, les études existantes sont en général peu exploitables du fait d'un manque de précision sur les temps et concentrations d'exposition et la présence fréquente de contaminants (chlorure de vinyle).

Chez l'animal, les expositions par inhalation entre 9 et 25 semaines entraînent chez le rat et le cochon d'Inde (800 mg/m³), le lapin (1620 mg/m³), le chien, le rat et le singe (4050 mg/m³) un excès de mortalité. Les autopsies révèlent chez ces animaux des lésions localisées au niveau du foie, des reins, du cœur et des poumons. Aux concentrations non létales, le foie et les reins sont les organes cibles privilégiés.

Tableau récapitulatif :

Substance chimique	Voie d'exposition	Taux d'absorption (homme)	Organe cible	
			Principal	Secondaire
1,2-dichloroéthane	Inhalation	important	Foie	SNC

- Effets cancérogènes :

Les études réalisées en milieu professionnel n'ont pas permis d'associer l'exposition au 1,2-dichloroéthane à un risque accru de cancer. Le classement de l'IARC et de l'US-EPA s'appuie essentiellement sur les données expérimentales positives réalisées en parallèle chez la souris et le rat. Les animaux étaient cependant traités par voie orale. Pour les études par inhalation, les conditions expérimentales sont souvent jugées inadéquates pour permettre de détecter un éventuel effet cancérogène (durée insuffisante, forte mortalité, concentrations inadaptées).

Classification :

- ✓ Union européenne : catégorie 2 (le 1,2-dichloroéthane doit être assimilé à une substance cancérigène pour l'homme. On dispose de suffisamment d'éléments pour justifier une forte présomption que l'exposition de l'homme à de telles substances peut provoquer un cancer)
- ✓ CIRC-IARC : groupe 2B (agent qui pourrait être cancérigène pour l'homme)
- ✓ US-EPA : catégorie B2 (substance probablement cancérigène pour l'homme par voie orale ou par inhalation. Il existe des preuves suffisantes chez l'animal et des preuves non adéquates chez l'homme)

Caractère génotoxique : non classé par l'UE.

- Effets sur la reproduction et le développement :

Chez l'homme, la seule étude ayant examiné les effets du 1,2-dichloroéthane sur la fonction de reproduction, évoque un lien possible entre l'exposition des parents et l'augmentation des naissances prématurées. Chez l'animal, des effets foetotoxiques (essentiellement perte pré-implantatoire et mort des embryons) ont été décrits chez le rongeur dans plusieurs études par inhalation, qui manquent néanmoins de précisions sur les concentrations et temps d'expositions. Toujours par inhalation, l'absence d'effet tératogène a été observée sur plusieurs espèces animales (lapin, rat, souris).

4-2-3) Valeurs toxicologiques de Référence

Les VTR sont consignées dans le tableau suivant :

Source	Voie d'exposition	VTR	Année d'évaluation
ATSDR	Inhalation : chronique	MRL=3 mg/m ³	2001
US-EPA	Inhalation	ERU _i =2,6.10 ⁻⁵ (µg/m ³) ⁻¹	1993

5-) Le tétrachloroéthylène

5-1) Généralités :

n°CAS : 127-18-4

formule chimique : C₂Cl₄

famille chimique : Composés Organo-Halogénés Volatils (C.O.H.V.)

pression de vapeur : 1,9 kPa à 20°C

2,462 kPa à 25°C

facteur de conversion : 1 ppm=6,90 mg/m³ ; 1 mg/m³=0,145 ppm

utilisation : Le tétrachloroéthylène est utilisé comme solvant et comme nettoyant à sec dans la fabrication et dans la finition des textiles, pour le nettoyage et le dégraissage des métaux. Il est également largement utilisé comme intermédiaire de synthèse notamment dans la fabrication des hydrocarbures fluorés.

5-2) Données toxicologiques :

5-2-1) Devenir dans l'organisme :

Absorbé facilement par voie pulmonaire, plus faiblement par voie digestive et partiellement par voie cutanée, le tétrachloroéthylène s'accumule surtout dans les tissus gras de l'organisme et le lait. A noter que le polluant passe la barrière placentaire. 80% de la quantité absorbée sont éliminés sous forme inchangée par les poumons et seulement une faible partie (moins de 3%) est métabolisée au niveau du foie, le principal métabolite urinaire étant l'acide trichloroacétique.

5-2-2) Toxicologie chronique :

- Effets systémiques :

De nombreuses études épidémiologiques ont été menées sur des travailleurs exposés de façon répétée aux vapeurs de tétrachloroéthylène. L'interprétation des données est cependant difficile. Une étude portant sur des travailleurs exposés durant 3 à 6 ans à une moyenne de 20-21 ppm de tétrachloroéthylène sur 8h a montré une absence d'effet au niveau neurologique, hépatique et rénal. Seule une augmentation de symptômes subjectifs tels que vertiges ou irritation nasale ont été notés. Chez des travailleurs exposés durant 2 à 8h par semaine à des concentrations très élevées de tétrachloroéthylène (230 à 385 ppm), des maux de tête, nausées, vertiges, sensations d'ébriété et de fatigue ont été relevés.

Chez l'animal, les données indiquent que le foie et le rein sont les organes cibles majeurs du tétrachloroéthylène malgré les différences interspèces.

Tableau récapitulatif :

Substance chimique	Voie d'exposition	Taux d'absorption (homme)	Organe cible	
			Principal	Secondaire
Tétrachloroéthylène	Inhalation	40-50%	SNC	Foie, rein

- Effets cancérigènes :

De nombreuses études épidémiologiques ont été menées chez les employés d'entreprises de nettoyage à sec et de blanchisserie. La plupart de ces études sont délicates à interpréter en raison de l'exposition potentielle à d'autres solvants dérivés du pétrole.

L'effet cancérigène du tétrachloroéthylène inhalé a été étudié chez le rat et la souris. Chez les rats mâles, une augmentation des adénocarcinomes des cellules des tubules rénaux a été observée. Chez la souris, une augmentation dose-dépendante de l'incidence des carcinomes hépatocellulaires a été clairement mise en évidence chez les mâles comme chez les femelles.

Classification :

- ✓ Union européenne : catégorie 3 (substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles)
- ✓ CIRC-IARC : groupe 2A (agent probablement cancérigène pour l'homme)
- ✓ US-EPA : catégorie B/C (intermédiaire entre un cancérigène probable et possible pour l'homme)

Caractère génotoxique : le tétrachloroéthylène n'a pas fait l'objet d'une classification par l'Union Européenne.

- Effets sur la reproduction et le développement :

Quelques études ont rapporté l'existence de troubles menstruels et d'avortements spontanés chez des femmes exposées au tétrachloroéthylène sur leur lieu de travail. Chez des travailleurs exposés, il n'a pas été noté de différence significative dans la qualité du sperme.

Chez l'animal, les effets du tétrachloroéthylène sur la fertilité et les performances de reproduction ont été étudiées en détail sur le rat. Il n'a pas été clairement mis en évidence d'effet du tétrachloroéthylène sur la fertilité et l'accouplement.

5-2-3) Valeurs toxicologiques de Référence

Les VTR sont consignées dans le tableau suivant :

Source	Voie d'exposition	VTR	Année d'évaluation
ATSDR	Inhalation : chronique	MRL=0,28 mg/m ³	1996
Health Canada	Inhalation : chronique	TC=0,36 mg/m ³	1992
OMS	Inhalation : chronique	Valeur guide= 0,25 mg/m ³	-
US-EPA	Inhalation : chronique	RfC=0,6 mg/m ³	-

6-) Le 1,3-butadiène

6-1) Généralités :

n°CAS : 106-99-0

formule chimique : CH₂=CH-CH=CH₂

famille chimique : alcènes

pression de vapeur : 280 kPa à 25°C

facteur de conversion : 1 ppm=2,21 mg/m³ ; 1 mg/m³=0,445 ppm

utilisation: Le 1,3-butadiène est principalement utilisé pour ses propriétés de polymérisation. Il entre en effet dans la composition de nombreux caoutchoucs synthétiques. Il est aussi utilisé comme intermédiaire dans la fabrication de produits chimiques.

6-2) Données toxicologiques :

6-2-1) Devenir dans l'organisme :

Le 1,3-butadiène, vu sa grande volatilité, pénètre dans l'organisme principalement par inhalation. Il subit des transformations métaboliques au moins au niveau du système hépatique.

6-2-2) Toxicologie chronique :

- Effets systémiques :

Les études épidémiologiques ont quasiment toutes porté sur la carcinogénicité du 1,3-butadiène. Cependant, certaines dans l'industrie du caoutchouc styrène-butadiène, montrent un excès de mortalité par maladies cardio-vasculaires. Des changements hématologiques ont également été relevés.

- Effets cancérogènes :

Les études épidémiologiques ont été menées dans les usines de production de caoutchouc butadiène-styrène et de monomère aux Etats-Unis. Une étude, portant sur une cohorte de 2795 travailleurs entre 1943 et 1994, a mis en évidence l'incidence de décès par tumeurs du système hématopoïétique. Une autre étude, englobant 15649 travailleurs de 8 usines d'Amérique du Nord, a conclu qu'il existe une relation entre l'emploi dans l'industrie du styrène-butadiène et la leucémie. En définitive, les différentes études montrent que le 1,3-butadiène est une molécule cancérogène.

Classification :

- ✓ CIRC-IARC : groupe 2A (agent probablement cancérogène pour l'homme)
- ✓ US-EPA : catégorie B1 (substance probablement cancérogène pour l'homme. Des données limitées chez l'homme sont disponibles)

- Effets sur la reproduction et le développement :

Des études portant sur le développement embryo-fœtal ainsi que sur les effets ainsi que sur les effets sur la mère ont été réalisées pour des femelles exposées au 1,3-butadiène 6h/j du 6^{ème} au 15^{ème} jour de gestation. Chez les rats femelles, une diminution du poids de la mère est constaté à 200 ppm puis des effets sur le développement apparaissent dans la descendance. Pour les souris mâles, l'exposition à 1000 ppm de butadiène 6 heures par jour pendant 10 jours entraîne une diminution de la tête des spermatozoï des.

6-2-3) Valeurs toxicologiques de Référence

Les VTR sont consignées dans le tableau suivant :

Source	Voie d'exposition	VTR	Année d'évaluation
US-EPA	Inhalation : chronique	RfC=2.10 ⁻³ mg/m ³	2002
US-EPA	Inhalation	ERU _i =2,8.10 ⁻⁴ (µg/m ³) ⁻¹	-
Health Canada	Inhalation	Concentration associée à une augmentation de 1% de tumeurs : 1,7 mg/m ³	1998

7-) L'acétaldéhyde

7-1) Généralités :

n°CAS : 75-07-0

formule chimique : CH₃-CHO

famille chimique : aldéhydes

pression de vapeur : 279,4 kPa à 20°C

1014 kPa à 25°C

utilisation: L'acétaldéhyde est essentiellement utilisé en synthèse organique, notamment pour la fabrication de l'acide acétique, de l'anhydride acétique et du 1-butanol.

7-2) Données toxicologiques :

7-2-1) Toxicologie chronique :

- Effets systémiques :

Chez l'animal (rat, souris, hamster), l'administration répétée d'acétaldéhyde produit une stéatose et diverses anomalies fonctionnelles hépatiques, de multiples altérations structurales et fonctionnelles pancréatiques, une inhibition de la synthèse protéique et de la respiration mitochondriales myocardiques.

Chez l'homme, les effets systémiques à terme de l'acétaldéhyde n'ont pas fait l'objet de publication de cas cliniques ou d'études épidémiologiques. Plusieurs auteurs de monographies signalent des dermatoses irritatives et allergiques, des bronchopneumopathies chroniques dans les populations humaines exposées professionnellement, sans préciser leurs sources.

- Effets cancérogènes :

Le principal effet cancérogène suspecté est l'apparition de tumeurs nasales.

Classification :

- ✓ CIRC-IARC : groupe 2B (cancérogène possible pour l'homme)
- ✓ US-EPA : catégorie B2 (cancérogène probable pour l'homme)

- Effets sur la reproduction et le développement :

Il n'y a pas de données publiées sur les effets de l'acétaldéhyde sur la reproduction des individus exposés. Pour certains auteurs, l'acétaldéhyde est au moins partiellement responsable du syndrome d'alcoolisme fotal.

7-2-2) Valeurs toxicologiques de Référence

Les VTR sont consignées dans le tableau suivant :

Source	Voie d'exposition	VTR	Année d'évaluation
US-EPA	Inhalation	RfC=9.10 ⁻³ mg/m ³	1991
Heath Canada	Inhalation	TC=3,9.10 ⁻¹ mg/m ³	1998
US-EPA	Inhalation	ERU _i =4,5.10 ⁻⁵ (µg/m ³) ⁻¹	1991
Heath Canada	Inhalation	Concentration dans l'air associée à une augmentation de 5% des tumeurs : 86 mg/m ³	1998

8-) Le 1,2-Dibromoéthane

8-1) Généralités :

n°CAS : 106-93-4

formule chimique : C₂H₄Br₂

famille chimique : Composés Organo-Halogénés Volatils (C.O.H.V.)

pression de vapeur : 1,13 kPa à 20°C

utilisation: Stabilisation des composés alkylés du plomb dans les fluides anti-détonants ; traitement des sols ; intermédiaire de synthèse, notamment pour la production de matières colorantes et de produits pharmaceutiques.

8-2) Données toxicologiques :

8-2-1) Devenir dans l'organisme

Le 1,2-dibromoéthane est rapidement absorbé par les voies digestive, respiratoire et percutanée. Chez la souris, le foie, les reins et les surrénales sont les organes où sont mesurées les concentrations les plus élevées. Il semble qu'il existe au moins deux voies de dégradation aboutissant à la formation de métabolites réactifs responsables des effets toxiques du solvant.

8-2-2) Toxicologie chronique :

- Effets systémiques :

La toxicité chronique du 1,2-dibromoéthane n'a fait l'objet d'aucune étude publiée chez l'homme.

Des animaux ont été exposés à des vapeurs de 1,2-dibromoéthane 7 heures/jour et 5 jours/semaine. A 100 ppm, les rats et les lapins décèdent après une à deux semaines d'exposition. L'autopsie révèle des atteintes pulmonaires, hépatiques et spléniques. Après six mois à 50 ppm, 50% des rats décèdent de lésions caustiques et d'infections respiratoires.

- Effets cancérogènes :

Une étude de la mortalité des ouvriers de deux usines où le 1,2-dibromoéthane est employé, n'a pas montré d'augmentation significative de la fréquence des décès dus à des cancers. Cependant, les populations étudiées étaient de petite taille. Une étude menée chez des souris et des rats a montré une augmentation de l'incidence des hémangiosarcomes et des cancers gastriques, hépatiques et broncho-pulmonaires. Des souris ont développé des tumeurs bénignes et malignes des fosses nasales, des hémangiomes et des cancers broncho-pulmonaires.

Classification :

- ✓ CIRC-IARC : groupe 2A (agent probablement cancérigène pour l'homme)
- ✓ US-EPA : catégorie B2 (substance probablement cancérigène pour l'homme. Il existe des preuves suffisantes chez l'animal et des preuves non adéquates ou pas de preuve chez l'homme)

- Effets sur la reproduction et le développement :

Les effets du solvant sur la reproduction ont été recherchés dans une population de 297 ouvriers travaillant dans 4 usines de fabrication du 1,2-dibromoéthane. Dans l'une des usines, le nombre d'enfants était plus faible que celui attendu. Des études expérimentales effectuées sur plusieurs espèces animales par différentes voies d'administration à des doses relativement faibles ont mis en évidence une toxicité testiculaire avec tératospermie, oligospermie, atrophie des testicules, de l'épididyme, de la prostate et des glandes séminales.

1-2-3) Valeurs toxicologiques de Référence

Les VTR sont consignées dans le tableau suivant :

Source	Voie d'exposition	VTR	Année d'évaluation
US-EPA	Inhalation	$ERU_i=2,2 \cdot 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	1988

Annexe 11 : accéder aux données toxicologiques et aux VTR

Les données toxicologiques et les VTR peuvent être obtenues à partir des sources suivantes données en libre accès sur internet [37]:

- ATSDR-Toxicological Profiles, série de monographies publiées par l'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Diseases Registry, E-U) - [<http://atsdr.CDC.gov>]
- OMS : valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO Air quality guidelines, Geneva, 1999) – [<http://www.who.dk>]
- OMS-Environmental Health Criteria (IPCS), série de monographies publiées par l'Organisation Mondiale de la Santé – [<http://inchem.org>]
- HSDB : Hazardous Substances Databank, banque de données factuelle et textuelle produite par la National Library of Medicine (E-U) – [<http://www.toxnet.nlm.nih.gov>]
- IRIS : Integrated Risk Information System, banque de données factuelle produite par l'US-EPA. – [<http://www.epa.gov/iris>]
- TERA : Toxicological Excellence for Risk Assessment, ONG (E-U) – [<http://www.tera.org/iter>]
- TPHCWG, 1997-1999, Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group. Outil d'évaluation des hydrocarbures – [<http://www.aehs.com/publications/catalog/contents/tph.htm>]
- Fiches de données toxicologiques et environnementales de l'INERIS – [<http://www.ineris.fr/recherches/fiches/fiches.htm>]