



Université Senghor

Université internationale de langue française
au service du développement africain

Opérateur direct de la Francophonie

PROMOTION : 2005 – 2007

Mémoire en vue de l'obtention du
MASTER EN DÉVELOPPEMENT

DÉPARTEMENT SANTÉ

Spécialité : **SANTÉ INTERNATIONALE**

Par : **OUSMANE DADONON YAMADJI**

**ÉVALUATION DU RISQUE POUR LA SANTÉ PUBLIQUE DU
MÉTHYLCYCLOPENTADIÉNYLE MANGANÈSE
TRICARBONYLE (MCMPT) DANS L'ESSENCE SANS PLOMB À
MONTRÉAL : PERSPECTIVES POUR LE TCHAD**

Lieu de stage : Université de Montréal (Canada)

Directeur de mémoire : Prof. JOSEPH ZAYED

Soutenu le : 16 Février 2007 à Alexandrie - Egypte

Jury :

Président : Dr Christian Mesenge

Directeur de département santé.

Université Senghor

Membres : Professeur Joseph Zayed

Département de santé environnementale et santé au travail.

Université Montréal.

Dr Mohamed Gad

Université d'Alexandrie

DÉDICACE

Je dédie ce travail à l'éternel Dieu
Le père des orphelins, à mon Feu père
ISSA OUSMANE BAINDA
Et à tous les défunts de la famille
OUSMANE et BÉNOUDJITA

REMERCIEMENTS

Je remercie le Professeur Joseph Zayed pour m'avoir proposé ce thème et pour son appui intellectuel, sa rigueur scientifique tout au long de ce travail, qu'il trouve ici ma sincère reconnaissance.

Au Docteur Christian Mesenge, directeur de département santé de l'université Senghor pour ses conseils et ses orientations durant notre séjour dans la famille «senghorienne», qu'il soit comblé de riches bénédictions.

Mes remerciements vont à l'endroit de Mme Chantal Belisle-Restieri pour son appui administratif qui a beaucoup facilité mes démarches durant mon stage.

Mme France Gagnon pour nous avoir montré comment faire fonctionner, calibrer les pompes et appris tous les autres aspects techniques liés à l'utilisation des appareils.

À mes cousines et amis de Montréal, pour leur accueil et hospitalité durant mon séjour au Canada.

À mlle Elodie Masson, pour avoir prêté attention aux coquilles du texte.

À tous les professeurs associés de l'université Senghor qui m'ont apportés le savoir et savoir faire.

Tous les « Senghoriens » de la X^{ème} promotion et particulièrement mes collègues du département santé, ainsi que tous les personnels de l'université Senghor, auprès de qui, j'ai bénéficié d'un climat de convivialité.

Aux autorités et collègues de travail de l'hôpital Régional de Sarh ainsi que tous mes amis et parents de Sarh et Ndjaména.

À tous les membres de ma famille et particulièrement à ma mère Bénoudjita Rachel et ma sœur Ousmane Bourkou Santa pour tout ce qu'elles ont eu faire pour moi durant mon absence au pays.

AVANT PROPOS

Les études sur la santé des populations ont longtemps privilégié l'analyse des déterminants relevant du domaine médical et génétique. Mais, à l'évidence, «*Ni la science médicale ni la génétique ne sont capables d'expliquer pourquoi un pays est plus en santé qu'un autre, ou pourquoi la plupart des pays gagnent deux ou trois ans d'espérance de vie avec chaque décennie qui s'écoule*» (Wilkinson, 1996).

C'est seulement au cours des deux dernières décennies que la science médicale a commencé à s'interroger sur l'incidence de facteurs tels que le revenu, le chômage, la pauvreté ou les réseaux sociaux sur l'état de santé des individus. Les chercheurs et les intervenants de la santé formés et sensibilisés en vue de déterminer les effets nocifs de produits chimiques ou biologiques se sont aperçus que la structure sociale et économique d'une société avait des retombées sur la santé. Cette découverte a donné naissance à une nouvelle approche qui tient compte de l'interface entre la santé et la société (Wilkinson, 1996). L'état de santé d'un individu et d'une collectivité est influencé par la combinaison de plusieurs facteurs: l'hérédité (la biologie humaine), l'environnement physique et social dans lequel les gens vivent, le mode de vie, la prospérité, l'organisation des soins de santé. Tous ces éléments, appelés déterminants de la santé ont changé ces derniers temps la manière de voir et d'interpréter le concept de santé publique, appelée autrefois hygiène publique.

En effet, plus largement, la santé publique est définie comme l'étude d'une part des déterminants physiques, psychosociaux et socioculturels de la santé de la population et d'autre part des actions en vue d'améliorer la santé de la population (Institut National de santé publique du Québec, 1997).

En outre, l'environnement a toujours fait partie de la santé publique, avec l'hôte et le germe ou le poison, c'était même, aux débuts de l'hygiène, le facteur principal explicatif de l'état de santé. Ainsi, la santé environnementale reconnaît donc le rôle de l'environnement, de ses facteurs physiques, chimiques et biologiques dans la santé publique. Elle est donc définie comme l'étude des facteurs environnementaux qui risquent d'influer sur la santé et le bien être de l'humain (Zayed et Lefebvre, 2000).

Cependant depuis quelques années, c'est le rapport environnement santé humaine qui est d'une part un sujet majeur de préoccupation dans la population et d'intervention par les différentes autorités gouvernementales. D'autre part, plusieurs problèmes représentent des risques non négligeables pour la population, plusieurs autres soulèvent des inquiétudes pouvant ne pas être justifiées sur la base des connaissances scientifiques et des données recueillies sur le terrain. L'Organisation Mondiale de la Santé a déterminé deux catégories de données de référence sur l'état de santé (1985):

- les données sur l'état actuel de l'environnement, qui servent à déterminer les facteurs d'hygiène du milieu dans une zone déterminée (par exemple le degré de pollution actuel ou les voies de transmission des maladies existantes);
- les données sur la santé, le comportement et les risques sont nécessaires pour déterminer les voies d'exposition de la population aux facteurs déterminants de l'hygiène du milieu. Il s'agit de la densité, le lieu d'habitation et les caractéristiques des populations actuelles et futures. Mais aussi, le degré d'exposition aux facteurs d'hygiène du milieu et les problèmes de santé existants, notamment les maladies dominantes et les facteurs immunitaires, tant dans la population locale qu'en ce qui concerne les nouveaux arrivants.

De plus, l'approche de santé publique permet de proposer des moyens d'intervention et de prévention adaptés aux divers cas. Dans ce cas de figure, l'étude du potentiel toxique sur l'homme d'un produit chimique qu'on retrouve dans l'environnement pourrait illustrer davantage ces moyens d'intervention. Ces derniers contribueront donc à assurer un environnement durable tenant compte ainsi des objectifs des nations unies du millénaire pour le développement (OMD) qui stipule entre autres d'arrêter la dégradation de l'environnement et d'intégrer les préoccupations le concernant dans les politiques et les programmes nationaux. Enfin selon le Premier principe de la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement: *«Les êtres humains sont au centre des préoccupations relatives au développement durable. Ils ont droit à une vie saine et productive en harmonie avec la nature»*

TABLE DE MATIÈRES

DÉDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
AVANT PROPOS.....	iii
SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	vi
RESUMÉ.....	viii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I: LE MÉTHYLCYCLOPENTADIÉNYLE MANGANÈSE TRICARBONYLE (MMT) ET LE MANGANÈSE.....	6
1 Le méthylcyclopentadiényle manganèse tricarbonyle (MMT).....	7
2 Le manganèse.....	7
2.1 Sources.....	7
2.2 Propriétés physico-chimiques.....	8
CHAPITRE II: évaluation et gestion de risque toxicologique.....	16
1 Notion de Risque.....	17
1.1 Définition.....	17
1.2 évaluation du risque toxicologique.....	17
1.2.1 L'identification du danger.....	19
1.2.3 L'estimation de l'exposition.....	24
1.3 Gestion du risque.....	26
CHAPITRE III: CADRE PRATIQUE.....	28
1 Contexte du stage.....	29
2 Matériel et méthode.....	29
3 Résultats.....	31
4 Discussion.....	32
CHAPITRE IV: ENSEIGNEMENTS TIRÉS DU STAGE POUR UNE PERSPECTIVE AU TCHAD.....	37
CONCLUSION.....	41
RÉFÉRENCES.....	43

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau I : Quelques recommandations de valeurs guides relatives à l'exposition au manganèse	21
Tableau II: Normes en milieu de travail de quelques pays relatives au manganèse et à ses composés.....	22

Tableau III : Étapes de la gestion des risques.....	27
Tableau IV : concentrations de Mn de différents milieux échantillonnés	31
Tableau V : Hydrocarbures importées par le Tchad.....	39
Figure 1 : Cadre de référence d'évaluation et gestion de risque.....	19

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ACGIH = American Conference of Industrial Hygienists

ATSDR = Agency of Toxic Substances and Diseases Registry

BPC = Chlorure Biphényles

CH₄ = Methane

CO = Monoxyde de carbone

CO₂ = dioxyde de carbone

ETBE = Ethyl-Tertio-Butyl-Ether

É.U = États –Unis

HC = Hydrocarbure

HEAST = Health Effects Assessment Samary Tables

HSE = Health Safety Executive

IBE = Indicateur Biologique d'Exposition

IDH = Indice de Développement Humain

INRS =Institut National de Recherche et de Sécurité

INSEED = Institut National de la Statistique, des Etudes Economiques et Démographiques du Tchad

IRIS = Integrated Risk Information System

MAK = Maximale Arbeitsplatz Konzentration (= VLE)

MEE = Ministère de l'Environnement et de l'Eau

MMT = Méthylcyclopentadiényle Manganèse Tricarbonyle

MnPO₄ = Phosphate de Manganèse

MSSS = Ministère de la Santé et des Services Sociaux

MTBE = Méthyle Tertio Butyle Ether

NAOHS = North American Occupational Safety and Health

NIOSH = National Institute for Occupational Safety and Health

NO_x = Oxyde d'Azote

OMS = Organisation Mondiale de la Santé

OSHA = Occupational Safety and Health Administration

Pb = Plomb

PIB = Produit Intérieur Brut

RSST = Règlement sur la Santé et la Sécurité du Travail

SACO = Substances Appauvrissant la Couche d'Ozone

UNITAR = Institut des Nations Unies pour la Formation et la Recherche

US-EPA = United States Environmental Protection Agency

VECD = Valeur d'Exposition de Courte Durée

VEMP = Valeur d'Exposition de Moyenne Pondérée

VLE = Valeur Limite d'Exposition

RESUMÉ

Les impacts sur la pollution atmosphérique de la croissance du trafic routier et des émissions industrielles ont depuis plusieurs décennies attiré l'attention et l'inquiétude des écologistes. De nos jours, plusieurs substances chimiques, naturelles et de synthèse sont rencontrées dans l'atmosphère. Le méthylcyclopentadiényle manganèse tricarbonyle (MMT) est l'une des substances utilisée comme antidétonant dans

l'essence sans plomb. Sa combustion entraîne le rejet dans l'atmosphère des émissions de manganèse (Mn) tel que du phosphate de Manganèse ($MnPO_4$). Ces rejets pourraient être nocifs pour la santé de la population à la suite d'une exposition chronique à de faibles concentrations. En effet, il est déjà connu que l'exposition à des fortes concentrations de Mn entraîne des symptômes neurologiques similaires à la maladie de parkinson chez l'homme.

La présente étude de cas vise à vérifier l'existence d'un risque potentiel sur la santé publique associé au manganèse de source MMT en comparant le niveau d'exposition aux valeurs limites préconisées par les organismes internationaux. Ensuite d'émettre des avis et des suggestions pour le Tchad. Dans ce pays, le MMT est offert aujourd'hui sur le marché comme nouvel additif dans l'optique de remplacer le plomb utilisé dans l'essence pour automobile. La démarche générale de notre travail en est une de la santé publique.

En effet, au Canada, le MMT est utilisé depuis 1976. À Montréal, dans certains milieux urbains la concentration du Mn dans l'atmosphère est importante, malgré l'arrêt de son utilisation depuis 2003. Nous avons faits des échantillons de concentration du manganèse dans l'air pendant trois heures par jour à l'aide de pompes « Gil air » ; le premier jour au jardin botanique de Montréal puis le second au centre ville. Les résultats de notre travail après analyse ont montré que les concentrations du manganèse ($0,03 \mu g / m^3$ - $0,06 \mu g / m^3$) dans l'air ambiant ne sont pas très différentes de celles prélevées durant les années 1980 à 2000 dans la ville de Montréal. De plus, les niveaux de concentration du manganèse sont en général bas dans ces différents milieux par rapport aux valeurs limites ($0,05 \mu g / m^3$) préconisé par l'agence américaine de protection de l'environnement. Une mesure de prudence s'impose donc pour la recherche de technologies saines pour un environnement plus responsable en terme de recommandation pour le Tchad. Un bon choix s'impose alors pour offrir un cadre de vie sécuritaire à la population. C'est pourquoi des suggestions ont été faites pour la recherche de technologies adéquates au Tchad.

MOTS CLÉS

Méthylcyclopentadiényle Manganèse tricarbonyle (MMT) – essence –
Santé environnementale –Manganèse - Risque - Montréal – Tchad.

INTRODUCTION

Les activités économiques et la recherche effrénée de la croissance ont poussé à l'exploitation abusive de la faune, de la flore et du sous-sol. Elles ont également conduit à diverses inventions techniques entraînant une dégradation progressive de l'environnement. Ce dernier est aujourd'hui fragilisé du fait des déchets et de la pollution de l'eau, de l'air, du couvert végétal, et du sol. Plusieurs actions de l'homme ont eu de répercussions néfastes sur la santé et soulèvent le problème de la préservation voire de la régénération de l'écosystème causant ainsi la limitation des ressources qui ne peuvent plus répondre aux besoins d'une population en croissance.

Il y a de cela des dizaines d'années, l'être humain a mis au point de nombreuses substances chimiques pour améliorer son niveau de vie. Nous comptons de nos jours par milliers le nombre de substances d'une même catégorie mises au point. Les plus importantes de ces substances sont :

- les différents types de pesticides (organochlorés, organophosphorés carbamates, fumigants, fongicides) ;
- les gaz à effets de serre (CH_4 , CO_2) ;
- les huiles minérales ;
- les chlorures biphényles (BPC), les furannes et les dioxines ;
- les substances appauvrissant la couche d'ozone (SACO).

La « santé environnementale » est à la fois une pratique et une science. Son champ concerne les déterminants de la santé qui sont reliés à la qualité des milieux de vie des populations. Elle vise à réduire les menaces qui pèsent sur les personnes dans leur cité, leur logement, leur lieu de travail, et mobilise dans ce but un ensemble d'institutions publiques nationales ou locales, d'organismes privés et de professionnels qui y exercent. Les actions de prévention et de maîtrise des risques s'orientent, pour l'essentiel selon deux axes: d'une part, prévenir les risques sanitaires liés à la qualité de l'air, des eaux et d'autre part aux substances chimiques.(*documentation française, 2004*).

La pollution atmosphérique est définie 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 (*Viala et al. 2005*).

La source importante de pollution extérieure en ville et sur les routes est due aux rejets automobiles (deux roues, véhicules légers, bus, poids lourds). L'émission de polluants varie selon le régime du moteur, la nature du carburant, l'état d'entretien, la présence ou l'absence de catalyseur (*Viala et al. 2005*).

Selon l'INRS, l'essence utilisée comme carburant dans les moteurs thermiques ou moteur à explosion à allumage commandé est un mélange d'hydrocarbures, auxquels sont parfois ajoutés d'autres produits combustibles ou adjuvants. On y trouve en moyenne :

- 20 à 30% d'alcane,
- 5% de cycloalcanes (hydrocarbures saturés cycliques)
- 30 à 45% d'alcènes, hydrocarbures non saturés,
- 30 à 45% d'hydrocarbures aromatiques, de la famille de benzène.

Ces produits sont pour l'essentiel issus de la distillation du pétrole.

Moins l'indice d'octane est élevé, plus l'essence s'enflamme facilement pour une moindre compression. C'est ainsi que pour améliorer l'indice d'octane, on ajoute des produits antidétonants qui permettent l'augmentation du taux de compression du moteur et l'amélioration de son rendement. On détermine l'indice d'octane en mesurant la capacité de l'essence à résister à l'autoallumage par compression dans la chambre de combustion.

Pendant de très nombreuses années, on ajoutait à l'essence une certaine quantité de tétraéthyle de plomb $[Pb (C_2H_5)_4]$ afin de diminuer la tendance à la détonation d'essence contenant un fort pourcentage d'heptane. C'était une manière d'augmenter artificiellement l'indice d'octane et de favoriser la lubrification des moteurs. Mais cela conduisait à disperser dans l'environnement de fortes quantités de plomb, métal dont on

connaît aujourd'hui l'ampleur de sa toxicité. Certains pays l'ont alors substitué par le méthylcyclopentadiényle manganèse tricarbonyle (MMT) qu'ils présumaient moins toxique.

Le MMT est un dérivé organique du manganèse (métal) (*Cooper, 1984*). C'est une substance liquide employée comme additif dans l'essence sans plomb afin d'augmenter son indice d'octane. Il a pour but d'accroître le pouvoir antidétonant.

La combustion du MMT entraîne le rejet dans l'air du manganèse sous différentes formes chimiques. En effet la contamination environnementale par le Mn inorganique en milieu urbain où la densité du trafic routier est importante, serait donc partiellement tributaire de la combustion de ce produit favorisant ainsi l'exposition humaine.

Au Canada en 1996, *Zayed et al*, ont mesuré les concentrations atmosphériques du MMT dans cinq milieux urbains de Montréal (station service, stationnement sous-terrain, au centre ville près d'une autoroute, et près d'une raffinerie d'huile) ; il en ressort que les concentrations moyennes de MMT les plus élevées étaient de 12 ng /m³ à la station service et les plus faibles 0,4 ng/m³ au stationnement sous-terrain.

Cependant, les métaux sont impliqués dans la contamination de l'homme par plusieurs médias d'exposition (air, eau, sol, aliments). Les niveaux d'exposition à certaines de ces substances sont capables de provoquer plusieurs dysfonctionnements chez l'homme et les animaux. Il existe plusieurs situations relatives à l'exposition humaine. En effet les expositions peuvent se situer en milieu de travail tout comme dans le milieu ambiant. Il est admis que les groupes les plus sensibles (enfants, personnes âgées et personnes malades), sont les plus touchés. Certaines causes de mortalité dans la population humaine pourraient être liées à ces substances qui possèdent chacune une toxicité intrinsèque et sont susceptibles d'affecter la santé des hommes dans les régions où elles sont rencontrées.

Certaines substances comme le manganèse, sont retrouvées parfois en quantités importantes dans l'environnement et sont associées à des pathologies telles que le manganisme chez l'homme, une maladie très similaire à la maladie de Parkinson.

Ce cas de la contamination environnementale par le manganèse illustre de façon éloquent une problématique de santé environnementale.

Une exposition à des fortes concentrations de Mn dans le milieu ambiant peut entraîner de nombreux effets toxiques en particulier au niveau neurologique et respiratoire. Cependant, il y a peu d'études qui ont montré les risques pour la santé publique associés à une exposition environnementale de type chronique à des faibles concentrations selon différents types d'exposition. Néanmoins l'intoxication au manganèse est une réalité connue depuis des décennies dans le monde scientifique et interpelle tous les acteurs, particulièrement les professionnels de santé publique. Même à faible dose, le manganèse pourrait avoir un potentiel neurotoxique, en particulier chez les personnes souffrant d'une maladie de foie, les femmes enceintes et les personnes âgées. En outre d'après le rapport annuel sur la santé de la population publié en 2006, la direction de santé publique de Montréal mentionnait que le transport urbain contribuerait aux décès prématurés de 1.500 personnes chaque année dans la région par des émissions d'oxyde d'azote (NOx) et autres gaz à effets de serre (*Quotidien métro Montréal pp3 vol 6. n°59 24/05/06*). Eu égard à tout cela, il y a lieu de s'inquiéter de l'utilisation d'une substance mise sur le marché depuis une vingtaine d'années. En effet, de 1976 à 2003, le MMT a été employé au Canada à grande échelle. Malgré qu'il ait été retiré du marché Canadien, le MMT continue de susciter des réactions tant du côté des industriels que du côté des chercheurs et décideurs puisque son utilisation internationale s'est accrue.

La plupart des pays africains ayant des raffineries se sont accordés sur l'ajout éventuel d'additifs de substitution du plomb, en particulier le MMT. Cet ajout est récent et date de juillet 2005 (*Sexsmith, 2005*).

Situé au cœur de l'Afrique, le Tchad est un pays qui dispose actuellement une faible capacité de diagnostic et de prévention dans le domaine de santé publique en dépit de structures sanitaires existantes. L'installation d'une raffinerie de pétrole est envisagée dans sa capitale, N'djaména. L'essence consommée de nos jours est importée des pays voisins. C'est de l'essence à qualité quelque fois douteuse (essence contenant de plomb). Cette décision d'ajouter du MMT dans l'essence est-elle justifiée? C'est pour y répondre que j'ai effectué un stage au département de santé environnementale et santé au travail de l'université de Montréal (Canada). La démarche générale en est une de santé publique.

Il s'agissait de vérifier la présence d'un risque potentiel sur la santé publique associé au manganèse de source MMT. Cette vérification permettrait de voir si l'évaluation des risques associés à l'utilisation du MMT au Canada où celui-ci était utilisé depuis des années allait dans le sens d'une utilisation à très grandes échelles ou à l'inverse.

La démarche de notre travail consiste donc à dresser le cadre théorique des connaissances de l'évaluation de l'exposition environnementale au manganèse et de déterminer la contribution du MMT à cet effet. Cette exposition est ensuite appréciée quant à son risque potentiel sur la santé publique suite à une comparaison à la norme de US-EPA. Enfin un avis sera émis quant à l'opportunité d'utiliser le MMT dans les pays africains et plus particulièrement au Tchad.

Dans les lignes suivantes, nous évoquerons d'une part le manganèse, le MMT, et les notions d'évaluation du risque toxicologique. D'autre part nous aborderons le cadre pratique du travail et enfin les perspectives d'avenir pour le Tchad.

**CHAPITRE I: LE MÉTHYLCYCLOPENTADIÉNYLE
MANGANÈSE TRICARBONYLE (MMT) ET LE
MANGANÈSE**

1 Le méthylcyclopentadiényle manganèse tricarbonyle (MMT)

Le méthylcyclopentadiényle manganèse tricarbonyle ($C_9H_7MnO_3$), aussi appelé AK-33 (« Antiknock » 33X), CI-2 (« combustion Improver-2 ») ou HITEC 3000, contient environ 25% de Mn. C'est un dérivé organique du Mn (*Cooper, 1984*), un liquide orangé, ayant une odeur herbacée, volatile (volatilité inférieure à l'essence) et légèrement soluble dans l'eau (*Mc Ginley et al. 1987*). On l'ajoute comme additif antidétonant pour l'essence sans plomb. Il vise à améliorer l'indice d'octane (*Hinderer, 1979*). Sa perte par évaporation dans le réservoir est négligeable. Il a une stabilité thermique et une décomposition photochimique rapide. Sa demi-vie a été estimée à moins de 15 secondes en présence de lumière (*Ter Harr et al. 1975*). Le composé pur contient environ 24,7% à 25,2% de Mn au poids. Typiquement, 72 mg de MMT contenant 18 mg de Mn peuvent être ajoutés dans un litre d'essence (*Ethyl corporation, 1990*).

La combustion du MMT entraîne le rejet au niveau de tuyaux d'échappement des automobiles principalement du phosphate de Mn, et du sulfate de Mn (*Ardeleanu, 1999*). La taille de particules produites par la combustion du MMT dans l'essence varie de 0,1 à 0,5 μ m (*Loranger, 1994*). Au Canada, en 1984, les quantités annuelles de Mn de source MMT émises dans l'atmosphère ont été évaluées à 210 tonnes soit 17% du total des émissions anthropiques (*environnement Canada, 1987*). Ce sont ces produits issus de combustion qui pourraient présenter un risque potentiel sur la santé publique à la suite d'une exposition chronique à de faibles concentrations. Ce risque est dû surtout à la présence du manganèse dans ces produits.

2 Le manganèse

2.1 Sources

Le manganèse est de formule moléculaire brute Mn (numéro atomique 25). Dans la classification périodique des éléments de Mendeleïev, il est situé entre le chrome et le fer (*Andriano, 1986*). Il présente plusieurs degrés d'oxydation variant entre -3 à +7 (dans le système biologique, les degrés d'oxydation rencontrés sont +2, +3 et +4) (*Normandin, 2002*).

Découvert en 1755 par Black selon Saric, le Mn se trouve dans la nature principalement sous forme de minerais. Il existe plus de 250 minerais contenant du manganèse, sous forme d'oxydes, de carbonates ou de silicates. Les plus importants sont la pyrolusite (MnO_2), la rhodocrosite ($MnCO_3$), la romanéchite (mélange d'oxydes de baryum et de manganèse hydratés), le manganite ($Mn_2O_3 \cdot H_2O$) et l'hausmannite (Mn_3O_4). D'autre part, on trouve aussi le manganèse à de très faibles concentrations dans l'eau, les plantes et les animaux (concentration $< 0,1-930$ ppm), le corps humain (1-100 ppm), ainsi que dans le pétrole brut ($< 0,001-0.15$ ppm) et le charbon (*Loranger et al., 1994*). Chacun d'entre nous est exposé à des traces dans l'air et en consomme par voie orale à travers la nourriture et l'eau. Les niveaux de base sont de l'ordre de 0,004 ppm dans l'eau, 0,02 $\mu g/m^3$ dans l'air, 40 à 900 ppm dans le sol (*Ostiguy et al, 2003*).

C'est le douzième élément chimique le plus répandu dans l'écorce terrestre et comme métal, le cinquième après l'aluminium, le fer, le magnésium et le titane. Dans l'écorce terrestre, sa concentration moyenne est estimée à environ 1000mg/kg. Cette concentration est plus élevée dans les cendres des fumeroles volcaniques et les argiles marines (respectivement 1900 et 6700 mg/kg). On retrouve sous forme de nodules manganifères des quantités importantes de Mn inorganique dans le fond des océans Atlantique, pacifique (environ 400milliards de tonnes métriques) et de l'océan indien.

Les activités industrielles de production d'alliages manganésifères et de produits métallurgiques émettent d'oxydes de Mn (*Loranger, 1994*). Ainsi donc les principales sources du Mn anthropogénique sont les fumées, les poussières et les aérosols qui sont répandus, principalement sous formes d'oxydes par les industries (*OMS, 1981*).

2.2 Propriétés physico-chimiques

Le Mn est un métal très dur, de couleur gris clair cassant et brillant ressemblant au fer. C'est un solide combustible. Les fines poudres ou poussières peuvent s'enflammer en présence d'une source d'allumage en émettant une flamme vive. Ces poudres de manganèse peuvent exploser lorsqu'elles sont mélangées avec l'air, en présence d'une source d'allumage ou lorsqu'elles sont chauffées en présence de dioxyde de carbone (CO_2).

De même, les mélanges de poussières d'aluminium et de manganèse peuvent exploser dans l'air, en présence d'une source d'allumage. Ce produit est stable dans les conditions normales d'utilisation.

Le manganèse est incompatible avec les agents oxydants forts, dont les solutions de peroxyde d'hydrogène concentrées, d'acide nitrique et de fluor. Il réagit avec les solutions de bicarbonate de sodium ou de potassium, le dioxyde d'azote et le pentafluorure de brome pour donner des composés de Mn.

Il réagit lentement avec l'eau et plus rapidement avec la vapeur d'eau et les acides (HCOO) pour libérer de l'hydrogène, un gaz inflammable et explosif.

Sous l'action de la chaleur, il réagit avec le chlore, le dioxyde de soufre, le phosphore, le carbone, le fluorure de nityle, l'arsenic et l'antimoine. Le manganèse ne se décompose pas, c'est une substance élémentaire.

2.3 Rôles et utilisations

Le Mn est un des minéraux essentiels pour les êtres vivants (humain, animaux et les végétaux). Il est indispensable à la formation des os. Il intervient dans le métabolisme énergétique). De même, Il intervient aussi dans régulation métabolique des protéines, la protection des cellules contre les radicaux libres ainsi que dans le fonctionnement du système nerveux et la formation des glycosaminoglycanes. Il joue aussi un rôle enzymatique important. Le Mn est à la fois un activateur et un constituant de plusieurs enzymes. Il peut se lier à différents substrats tel que l'ATP ou directement à une protéine (*Ostyguy et al. 2003*) Il a été estimé qu'un homme normal de 70 kg à un stock de 12 mg de manganèse dans son corps (*Bastarache, 2001*).

L'OMS (1981) estime qu'un apport alimentaire de Mn se situant entre 2 et 3 mg/jour chez l'adulte et au moins 1,25mg/jour chez l'enfant avant l'adolescence est jugé suffisant pour satisfaire les besoins métaboliques.

Dans l'industrie, plusieurs qualités commerciales du Mn sont disponibles et correspondent aux principales activités suivantes :

- en métallurgie, on élabore de ferromanganèse pour la fabrication des fontes et des aciers ainsi que pour d'autres alliages en métallurgie d'aluminium, de cuivre et de nickel.
- le Mn est un constituant des piles sèches, notamment des piles alcalines (qualité électrochimique). C'est un agent de coloration pour les verres, les porcelaines, la céramique, les briques et les tuiles. Il est un constituant d'électrode de soudage ainsi qu'un siccatif pour les peintures et les vernis.
- en chimie, le Mn est un oxydant ou un catalyseur d'oxydation dans la synthèse organique. Il sert également à la fabrication de permanganate ou d'autres composés manganésiens (*INRS, Fiche toxicologique n°52, 1997*) ainsi que dans la fabrication de divers dérivés organiques à base de Mn tel le MMT (*Lauwerys, 1990*).

Le manganèse a aussi d'autres utilisations :

- comme additifs alimentaires pour le bétail
- dans la fabrication de pesticides
- dans la composition des engrais
- dans les produits pharmaceutiques
- dans les produits de conservation du bois
- dans le traitement du cuir.

2.4. Métabolisme

2.4.3 Absorption

L'absorption du manganèse se produit principalement au niveau du système gastro-intestinal après ingestion ou au niveau des alvéoles pulmonaires après inhalation. Même si elle est considérée comme une voie d'exposition mineure, la peau représenterait une voie de pénétration pour les dérivés organo-manganiques (*Fleeland-Graves et al. 1982*).

L'exposition environnementale ou occupationnelle a été largement étudiée. On l'évalue à 0,07 µg/ j en moyenne et 6-7 µg/ j en haute exposition. Les fines particules (diamètre inférieur à 2 µm) traversant la muqueuse nasale peuvent directement atteindre le cerveau au moyen des bulbes olfactifs. Celles de taille relativement plus grande (2-5 µm) déposées dans les régions extra thoracique ou trachéo-bronchique sont déviées par le système muco-ciliaire du poumon vers le tractus gastro-intestinal où on note une absorption assez faible (*Mena et al, 1969*).

Le métabolisme du manganèse chez l'homme est rigoureusement contrôlé par des mécanismes d'homéostasie qui s'exercent principalement sur l'absorption gastro-intestinale et l'excrétion. Le manganèse absorbé par voie gastro-intestinale est séquestré par le foie. La majeure partie est excrétée par voie biliaire et est susceptible de subir un cycle entérohépatique. Le manganèse est principalement éliminé par voie fécale.

Plusieurs études animales démontrent que le facteur déterminant l'efficacité d'absorption est la voie de pénétration dans l'organisme de même que la solubilité dans les fluides biologiques de la substance sous laquelle le Mn est présent. *Roels et al, (1997)* ont étudié les niveaux de manganèse dans le sang et les tissus cérébraux de rats exposés à des doses répétées de chlorure et de dioxyde de Mn administré par voies orales, par injections intra-péritonéales et par instillation intra-trachéale. Le chlorure de Mn (soluble) était rapidement absorbé par ces trois voies et distribué à différents endroits, notamment au niveau du cerveau. Par contre, pour le dioxyde de Mn, l'absorption suite à une dose orale était très faible alors qu'il était absorbé à différents degrés par les deux autres approches. De plus fortes concentrations de Mn étaient retrouvées après administration de chlorure de Mn comparativement à l'oxyde. Les auteurs en ont conclu que la voie d'absorption de même que la nature du produit pouvaient constituer un déterminant critique dans l'absorption du Mn au niveau du cerveau. De plus, lorsque le dioxyde de Mn était

administré par gavage oral ou par instillation intra-trachéale, les niveaux sanguins de Mn ont augmenté puis diminué plus lentement que lorsque le chlorure de Mn était administré. Il y a alors une différence marquée dans la cinétique d'absorption de ces deux substances. Le fait que le corps réagisse plus lentement au dioxyde de Mn suggère que celui-ci pourrait demeurer plus longtemps dans l'organisme, contribuant ainsi plus longtemps à la charge corporelle, même si cela se produit à plus faibles concentrations.

Une étude de *Tjälve et al (1996)* a aussi démontré que la voie d'exposition influence l'absorption de Mn. L'instillation intra-nasale de Mn_2^+ chez le rat a conduit à une absorption de Mn directement au niveau du bulbe olfactif via le nerf olfactif alors que l'administration intra péritonéale n'a conduit qu'à une faible augmentation au niveau du bulbe olfactif. Les auteurs ont ainsi suggéré que les neurones olfactifs pouvaient servir de voie d'entrée du Mn au cerveau. Ces résultats ont été confirmés par plusieurs chercheurs qui stipulent que l'absorption par le nerf olfactif peut être substantielle (*Ostiguy et al. 2003*).

Il y a des évidences claires d'études animales dans lesquelles l'absorption gastro-intestinale de Mn est inversement reliée aux concentrations de fer dans le régime alimentaire. Ainsi, de fortes concentrations de fer conduisent à une absorption moindre de manganèse alors que de bas niveaux de fer favorisent l'absorption du Mn (*Baldwin et al, 1999; Chandra et Tandon 1973; Davis et al, 1992*). *Mena et al, (1969)* ont aussi suggéré qu'une faible absorption de fer favorisait l'absorption du Mn.

Finalement, nous notons que quelques études animales suggèrent que l'absorption gastro-intestinale du Mn pourrait varier avec l'âge (*Rehnberg et al, 1980 et 1981*). Le pourcentage d'absorption à travers le système gastro-intestinal est de l'ordre de 3 à 5% (*Mena et al. 1969*).

2.4.2 Distribution

Le Mn est un constituant normal de tout tissu et fluide humain et animal. Chez l'homme, la concentration dans la plupart des tissus est de l'ordre de 0,1 à 1 µg Mn/g de poids corporel (*Sumino et al, 1975*). Une fois absorbé, le Mn est transporté vers les organes riches en mitochondries où il est rapidement concentré. Le Mn dans l'organisme tout

comme le fer est fixé par la transferrine du plasma (*Samson et al, 1978*) avant d'arriver au niveau du foie via la circulation portale (*Scheuhamer et al, 1983*).

L'accumulation dans le système nerveux central (SNC), suite à une forte exposition chez l'animal, se produit lentement et atteint un maximum après environ 30 jours (*Stokinger 1981*). Les concentrations normales de Mn dans le sang de travailleurs en bonne santé et non exposés (4 - 14 µg/l), l'urine (moins de 10 µg/l) et le sérum (0,15–2,65 µg/l) sont relativement stables. L'excès de Mn est normalement évacué rapidement de l'organisme (*ATSDR 2000*). Il devient donc difficile d'estimer l'exposition précédente par la mesure du Mn dans ces fluides biologiques. L'exposition professionnelle au Mn a montré des concentrations plus élevées dans les divers fluides biologiques. Il n'y a pas eu de bonne corrélation avec le niveau d'exposition (*Abel-Hamid et al, 1990*).

2.4.3 Excrétion

C'est principalement au niveau du foie qu'on note le processus de biotransformation des toxiques. Deux systèmes enzymatiques sont en cause : le système multifonction oxydase (MFO) et ses coenzymes associés (cytochromes P-450) et le système N-acétyltransférase. L'excrétion du manganèse dans l'organisme se fait principalement par voie fécale suite au processus de détoxification hépatique et à sa sécrétion biliaire. Seule une petite quantité de manganèse est excrétée dans l'urine. La quantité éliminée par le suc pancréatique, la sueur et les phanères reste très faible. L'excrétion dans le lait maternel est d'une concentration moyenne de 6,6 µg/l pendant les premières semaines de l'allaitement mais régresse pratiquement de moitié autour du troisième mois (*Korc, 1998*). La demi-vie biologique dans le lait maternel a été évaluée entre 2 à 5 semaines, dépendant des réserves corporelles. Celle-ci augmente au niveau du cerveau si bien que le métal s'accumule quand l'absorption devient excessive (*Saric, 1986*).

2.5 Propriétés toxicologiques

La plupart des éléments métalliques sont nécessaires en faible dose à la vie (oligo-éléments), mais ils peuvent se révéler toxique s'ils sont présents en quantités trop importantes. C'est le cas du fer (Fe), du cuivre (Cu), du zinc (Zn), du nickel (Ni), du cobalt (Co), du vanadium (V), du sélénium (Se), du molybdène (Mo), du manganèse

(Mn), du chrome (Cr), de l'arsenic (As) et du titane (Ti). D'autres ne sont pas nécessaires à la vie et sont préjudiciables dans tous les cas comme le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et l'antimoine (Sb).

L'effet toxicologique d'une substance dépend:

- de ses caractéristiques physico-chimiques (nature chimique et physique, présence d'impuretés ou de contaminants, stabilité lors de l'entreposage et solubilité dans les liquides biologiques)
- des conditions d'exposition (La dose, la durée, la fréquence – la voie d'administration – le moment de l'exposition)
- de facteurs inhérents à la cible (le bagage génétique, l'alimentation, l'âge, le sexe, le poids, le système immunologique, les médicaments, la cigarette, l'alcool)
- de Facteurs environnementaux (facteurs physiques, lieux de résidence, facteurs psycho-sociaux, facteurs chimiques).

Le manganèse est absorbé principalement par les voies respiratoires (effets toxiques plus sévères). L'absorption cutanée est considérée négligeable. Il est faiblement absorbé par les voies digestives.

2.6 Effets sur la santé

Les principaux effets sur la santé liés à l'exposition au manganèse sont les effets respiratoires (inflammation pulmonaire, pneumonie, diminution de la capacité respiratoire).

En effet, les poussières ultrafines, de mêmes dimensions que les nano particules pénètrent dans l'organisme par inhalation et se déposent dans les poumons. Une partie peut se retrouver directement au niveau du cerveau via les nerfs olfactifs.

Le manganisme se manifeste par un syndrome neurologique extrapyramidal (syndrome clinique progressif spécifique du système nerveux central lié à une exposition chronique au manganèse découvert en 1837 par *Couper* chez cinq personnes travaillant avec du minerai de manganèse). Les premiers signes de la maladie sont habituellement subjectifs, impliquant une sensation de faiblesse, une anorexie, une douleur musculaire,

de l'anxiété, une irritabilité et des céphalées. La phase suivante du développement du manganisme comprend la bradykinésie, la rigidité, la maladresse ainsi que la détérioration du langage (*Normandin, 2002*). Les muscles deviennent hypertoniques et la démarche devient difficile. Ces symptômes sont similaires au syndrome parkinsonien. Le Mn ne semble pas être un carcinogène; il pourrait avoir des effets sur d'autres organes tel que le foie et des effets neurologiques précliniques. Il pourrait également avoir des troubles de l'appareil reproducteur à type d'impuissance; la perte du libido et la réduction de fertilité surtout chez les hommes (*Normandin, 2002*).

Même s'il est connu que le Mn est un toxique cellulaire qui peut détériorer les systèmes de transport des influx nerveux, les activités enzymatiques et les fonctions réceptrices, la façon exacte par laquelle la neurotoxicité du Mn se produit n'a pas encore été clairement établie. Les changements neuropathologiques sont détectables dans les ganglions de la base des personnes souffrant de manganisme et les aires spécifiques d'atteinte se situent principalement dans le striatum et le globus pallidus (*Ostiguy et al, 2003*).

De récentes données suggèrent que le Mn accentue les désordres de l'humeur associés à l'abus d'alcool chez des personnes qui lui sont exposées au travail ou dans l'environnement (*Bouchard et al, 2002*).

**CHAPITRE II: ÉVALUATION ET GESTION DE RISQUE
TOXICOLOGIQUE.**

1 Notion de Risque

1.1 Définition

Le risque est la probabilité d'apparition d'un danger. Il exprime le lien entre un danger et une exposition. Un danger est un effet pathogène lié aux caractéristiques intrinsèques ou un effet sanitaire indésirable lié à un agent (*Laure, 2003*).

Beauchamp et al. (1999) définissent la notion de risque toxicologique comme étant la « probabilité que les effets néfastes sur la santé humaine se produisent à la suite d'une exposition à des agresseurs environnementaux d'origine chimique (métaux lourds, composés toxiques), physique (radioactivité, ultraviolets) ou biologique (toxines).

Le risque comprend alors trois concepts : l'existence d'une situation potentiellement dangereuse, la probabilité que cette situation se concrétise et les préjudices qu'elle est susceptible d'engendrer. D'un point de vue social, le risque a une résonance d'acceptabilité. Tel risque est-il ou non acceptable? *Lowrence (1976)* pose cette question en d'autres termes. Il s'agit de déterminer le niveau sécuritaire. Selon lui, la réponse à cette question est tautologique puisqu'une chose est jugée sécuritaire lorsque le risque qui lui est associé est jugé acceptable.

1.2 Évaluation du risque toxicologique

Les substances toxiques et leurs effets néfastes de plus en plus omniprésents dans l'environnement de l'homme ont conduit ce dernier à concevoir une démarche de l'évaluation de risques, afin de prendre des mesures de prévention ou de correction. De nos jours, cette évaluation de l'effet toxicologique ne peut se faire sans prendre en compte la description de la situation géographique, la détermination des caractéristiques de la population concernée, l'étude des habitudes alimentaires et culturelles des populations, l'analyse du site (géodynamique) et les activités développées dans le milieu (*MSSS Québec, 2002*).

L'évaluation du risque toxicologique est un processus qualitatif et quantitatif, un instrument de mesure du risque qu'une substance ou un groupe peut avoir sur la santé de l'homme.

L'évaluation du risque est une démarche scientifique. Elle fournit aux décideurs et aux groupes concernés l'information scientifique nécessaire à la prise de décision concernant le risque toxicologique. Elle doit être basée sur de l'information scientifique valide, rigoureuse, transparente, disponible et mise à jour. La qualité du caractère scientifique de l'évaluation du risque est assurée notamment par la compétence des analystes et par l'encadrement de la démarche. Une validation (ou révision) par les pairs peut s'avérer nécessaire afin d'assurer une plus grande intégrité, qualité, validité et cohérence des évaluations du risque toxicologique. L'évaluation du risque retire des avantages en matière de crédibilité lorsqu'elle est transparente quant aux données et valeurs utilisées, quant aux choix faits durant la démarche d'évaluation et quant aux sources d'incertitude.

Le cadre de référence le plus généralement accepté est celui du National Research Council (*NRC, 1983*). Le NRC a présenté les trois étapes requises pour évaluer le risque: la caractérisation de la relation dose-réponse, la caractérisation de l'exposition et l'estimation du risque. Dans ce modèle, l'évaluation et la gestion du risque sont étroitement liées, bien qu'elles soient conceptuellement distinctes. Par cette démarcation, le NRC présentait l'évaluation du risque comme une démarche essentiellement scientifique, exempte d'influences et de considérations politiques.

L'objectif du risque toxicologique est la détermination de la probabilité qu'une exposition à un ou plusieurs agresseurs environnementaux, d'origine chimique, physique ou biologique, produisent des effets néfastes sur la santé humaine, en tenant compte des incertitudes qui y sont liées. Cette évaluation ne définit pas si un risque est socialement acceptable et n'évalue pas les autres facteurs de la gestion de risque (facteurs économiques, socioculturels et politiques). (*Laure, 2003*). L'évaluation du risque est une étape essentielle car elle précède la gestion du risque ou la mise en œuvre des mesures de correction.

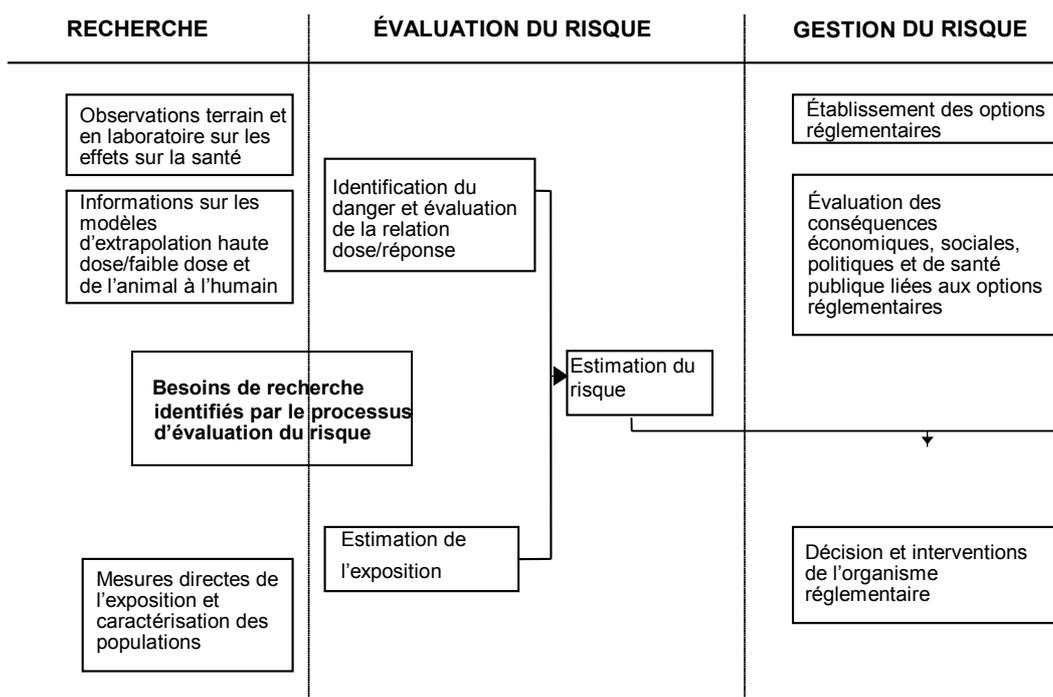


Figure 1: CADRE DE RÉFÉRENCE D'ÉVALUATION ET DE GESTION DU RISQUE Source: NRC, 1994.

Selon *Laure (2003)*, l'évaluation du risque toxicologique doit inclure et documenter les quatre étapes reconnues par les organisations scientifiques (ATSDR, HEAST):

- l'identification du danger;
- la caractérisation toxicologique;
- l'estimation de l'exposition
- l'estimation du risque (*Laure 2003*).

1.2.1 L'identification du danger

Elle caractérise la mise en évidence des effets indésirables qu'une substance ou groupe de substances est intrinsèquement capable de produire sur les êtres vivants.

Un danger peut être défini comme un changement de fonction ou de valeur biologique, de l'aspect ou de la morphologie d'un organe, d'une malformation fœtale, une maladie transitoire ou définitive, d'une invalidité, d'une incapacité ou d'un décès (*Laure, 2003*).

Ce danger peut être d'origine biologique (micro-organismes) ou chimique (diverses molécules).

Cette étape consiste à identifier et à présenter la situation pouvant comporter un risque pour la santé du public. Dans l'évaluation de risque, l'identification du danger englobe la description des effets toxiques de la substance en fonction de la durée d'exposition ou de la voie de contamination (*Laure, 2003*). Elle mentionne la perception du risque par la population et les groupes concernés. Le principe d'intégration des acteurs trouve ici son application. Elle consiste à analyser les différentes phases du procédé qui est à l'origine du contaminant ou des contaminants susceptibles d'être émis en contact de la population (*MSSS, 2002*). Elle doit décrire la situation géographique du milieu d'étude (zone urbaine, rurale), les caractéristiques démographiques et culturelles, les facteurs géographiques (vent) et géodynamiques (sens de l'écoulement des nappes phréatiques) pouvant influencer l'exposition. Elle décrit également les manifestations de la présence de la substance dans un organisme vivant. Les effets le plus souvent recherchés sont les effets neurologiques, les effets cancérogènes et le dysfonctionnement du système de reproduction.

Cette étape est mise en évidence par les études toxicologiques ou épidémiologiques. Les facteurs épidémiologiques sont très limités du fait du nombre très faible de personnes qui manifestent les symptômes ou de la durée qui peut être longue pour faire apparaître les effets. La mise en évidence de cette étape peut consister à la mesure de la concentration de la substance dans un compartiment et à la comparaison à des valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour les substances non cancérogènes ou à des estimateurs de risque pour les substances cancérogènes. Ces valeurs sont souvent établies par des organismes scientifiques internationaux ou gouvernementaux (ATSDR, US-EPA, OMS, santé canada).

Les valeurs limites d'exposition représentent la concentration dans l'air d'un composé chimique que peut respirer une personne pendant un temps déterminé sans risque d'altération de sa santé, même si des modifications physiologiques réversibles sont parfois tolérées. Aucune atteinte organique ou fonctionnelle de caractère irréversible ou prolongée n'est raisonnablement prévisible à ce niveau d'exposition. La valeur est généralement exprimée en volume (ppm ou partie par million) ou en poids (mg/m^3) (*INRS, 2005*).

Les secteurs concernés par l'exposition au manganèse sont les industries métallurgiques, les stations services, les routes et autoroutes très fréquentées par les automobilistes, tout

secteur utilisant le manganèse d'une façon ou d'une autre à des fins commerciales. Tout autre lieu de manipulation ou d'émission n'est pas épargné.

Plusieurs pays ont établi des normes relatives à l'exposition au manganèse dans l'air. Certains organismes tels l'ACGIH, US- EPA et l'OMS font des revues de littérature afin d'intégrer les dernières connaissances scientifiques dans une démarche d'évaluation des risques à la santé humaine. Ces organismes indiquent de seuils de sécurité sanitaire pour les travailleurs pendant toute leur carrière professionnelle ou de la population générale incluant les enfants et les personnes âgées. Sans avoir force de loi, de tels organismes ont proposé des valeurs guides qui ne sont pas des normes mais qui visent à partir de l'état des connaissances scientifiques actuelles, à établir des niveaux qui ne devraient pas être excédés afin de ne pas compromettre l'intégrité de la santé des travailleurs ou de la population générale. La tendance actuelle de ces organismes ou regroupements de chercheurs est de prévenir les atteintes précoces au niveau du système nerveux central et des autres organes cibles (*Ostiguy et al, 2003*).

Tableau I : Quelques recommandations de valeurs guides relatives à l'exposition au manganèse

Agence	Milieu	Description	Valeur-guide mg/m ³	Référence
OMS	Milieu de travail	Poussières respirables	0,30	WHO 1986
OMS	Air extérieur	Qualité de l'air extérieur (moyenne annuelle)	0,00015	WHO 1997
ACGIH	Milieu de travail	Poussières totales	0,2	ACGIH 2001
	Milieu de travail	Poussières respirables (en considération)	0,03 (en considération)	ACGIH 2002
EPA	Air extérieur	Qualité de l'air extérieur	0,00005	IRIS 1998
NIOSH	Milieu de travail	Poussières et fumées	1,0	NIOSH 1997
NIOSH	Milieu de travail	Poussières et fumées	3,0	NIOSH 1997

Source adaptée : *Ostiguy et al, 2003*

Tableau II : Normes en milieu de travail de quelques pays relatives au manganèse et à ses composés

Substance	Organisme/pays	VEMP/VECD mg Mn/m ³	Explications	Références
Fumées	RSST/Québec HSE/Grande-Bretagne	1,0 / 3,0		RSST 2001 ATSDR 2000
Fumées	OSHA/ É.U.	5,0	Valeur plafond	OSHA 1998
Poussières totales	RSST/Québec HSE/Grande-Bretagne	5,0		RSST 2001 ATSDR 2000
Mn cyclopentadiényle tricarbonyle	RSST/Québec OSHA / É.U.	0,1	Absorption percutanée	RSST 2001 OSHA 1998
méthyl cyclopentadiényle	RSST/Québec	0,2	Absorption percutanée	RSST 2001
Manganèse tétraoxyde	RSST/Québec HSE/Grande-Bretagne OSHA/ É.U.	1,0		RSST 2001 ATSDR 2000 OSHA 1998
Manganèse	NAOHS/Australie	1,0	Poussières et fumées	ATSDR 2000
Mn élémentaire et composés inorganiques	OSHA/ É.U.	5,0	Valeur plafond	OSHA 1998
Mn élémentaire et composés organique	Allemagne	0,5	Valeur MAK	DFG 2000

Source adaptée : Ostiguy et al, 2003

- Indicateur biologique d'exposition

Dans l'expression « indicateur biologique d'exposition» (IBE), le mot « exposition » désigne toutes les circonstances à l'origine de l'absorption d'une substance par l'organisme, par quelque voie que ce soit. L'IBE recouvre le paramètre biologique à doser et la valeur qui lui est attribuée.

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer l'exposition à une substance biologique. L'une d'elle est la surveillance biologique (Sentenac, 2003).

La surveillance de la qualité de l'air en milieu de travail consiste à surveiller et à apprécier, selon le cas, une partie ou toute partie de l'exposition : toute si l'absorption n'a lieu que par voie respiratoire, un pourcentage variable en cas d'absorption complémentaire par voie digestive ou cutanée (*Sentenac, 2003*).

La surveillance biologique est Complémentaire de surveillance des atmosphères de travail, cette méthode est parfois plus adaptée, notamment en cas d'absorption cutanée ou orale.

Elle permet d'apprécier l'exposition des travailleurs aux substances chimiques et les risques potentiels pour leur santé. Elle témoigne de l'absorption d'une substance.

La mesure peut être fait dans l'urine ou le sang des personnes exposées. On mesure donc des paramètres pouvant être soit la substance elle-même, soit un ou plusieurs de ses métabolites, soit une ou des modifications biochimiques réversibles provoquées par l'action de la substance (*Sentenac, 2003*).

Les données toxicologiques et environnementales relatives à l'exposition au manganèse ou à toute autre substance toxique découlent du format standard de l'analyse du risque. L'estimation du niveau d'exposition et la caractérisation de la relation dose- réponse sont la base principalement de toute étude toxicologique. Il nous paraît important de présenter la procédure classique d'évaluation du risque toxicologique, notamment à travers des normes et des critères préalablement définis.

Plusieurs facteurs peuvent rendre l'identification du danger complexe, comme un mélange de substances (*Laure, 2003*). La synergie de substances peut masquer les effets d'une substance que l'on désire étudier, ou une substance primitive peut paraître inoffensive, alors que les produits de dégradation (métabolites) sont plus toxiques. La sensibilité inégale des populations (facteurs de confusion) peut gêner l'obtention de résultats concluant (en fonction de l'âge, le sexe et le statut immunologique). C'est pourquoi la nécessité de la détermination du groupe sensible s'impose. L'absence de valeurs de référence ou d'estimateurs de risque disponibles peut rendre la comparaison difficile.

1.2.2. La caractérisation toxicologique

La caractérisation toxicologique vise à déterminer les doses auxquelles des effets sur la santé humaine sont susceptibles de survenir. Elle est cruciale lorsque le processus d'évaluation du risque toxicologique est utilisé dans le but de définir des directives, des critères ou des normes. Dans le cas d'une évaluation d'un projet ou d'un terrain contaminé, il est théoriquement possible de définir les valeurs de référence (doses de référence, concentrations de référence, doses journalières admissibles) et les estimateurs de risque cancérigène à utiliser aux étapes ultérieures du processus. Cependant, la définition de telles valeurs nécessite un énorme travail d'évaluation de la documentation scientifique, de prises de décisions quant aux méthodes de calcul et d'extrapolation qui seront utilisées. Mais aussi la validation par des pairs et de consultation publique. C'est pourquoi très peu d'organismes nationaux ou internationaux ont réussi à publier et à mettre à jour une liste extensive de valeurs de référence et d'estimateurs de risque cancérigène pour les principales classes de substances toxiques.

1.2.3 L'estimation de l'exposition

Dans cette phase de l'évaluation du risque toxicologique, il est important d'estimer les doses d'exposition auxquelles sont ou seront exposées les personnes vivant dans l'environnement immédiat du projet ou du terrain contaminé. L'étendue et la localisation de cette zone d'influence auront été définies. selon les cas, par la caractérisation du site, les modèles de dispersion, les études hydrographiques ou toute autre étude concernant la dispersion ou la migration des substances visées par le projet ou décelées sur le site. Il en est de même des concentrations environnementales des contaminants pouvant exposer la population. Ces informations sont alors combinées avec celles obtenues lors de l'identification du danger et servent à définir, d'abord, les divers scénarios et conditions d'exposition, puis, à calculer les doses d'exposition.

Il existe deux approches différentes pour définir les lignes directrices visées par cette portion de l'évaluation du risque. La première approche consiste à circonscrire tous les paramètres possibles d'exposition quels que soient les scénarios retenus, la voie d'absorption, le niveau d'activité, etc. L'avantage de cette approche est, sans contredit, d'assurer une parfaite uniformité d'une évaluation du risque à une autre. Le problème provient toute fois du fait qu'il n'existe pas de données factuelles et validées pour un

grand nombre de ces paramètres. Définir dans de tels cas des valeurs par défaut implique irrémédiablement un grand nombre de décisions arbitraires qui risquent de masquer le véritable niveau d'incertitude inhérent au processus. La deuxième approche consiste à proposer des valeurs par défaut pour les différentes conditions d'exposition pour lesquelles des données valides peuvent être identifiées. Ceci implique une diminution de l'uniformité d'une évaluation du risque à une autre.

Cette étape consiste donc à présenter, expliquer et justifier les scénarios d'exposition et les méthodes de calcul des doses d'exposition utilisées lors de l'évaluation du risque. Il faut aussi présenter les limites, les conséquences et les incertitudes liées à ces choix. Plusieurs choix doivent être faits au cours de cette étape. Ils auront une incidence majeure sur le résultat de l'évaluation du risque. On peut ainsi surestimer systématiquement le risque, le sous-estimer en éliminant les scénarios les moins probables, ou choisir les scénarios qui semblent les plus réalistes. La question est de savoir qui voulons-nous protéger : la population moyenne, la fraction la plus exposée de la population, les personnes les plus sensibles?

1.2.4 L'estimation du risque

Cette dernière étape de l'évaluation du risque permet d'estimer le niveau de risque et son incertitude en mettant en relation les informations sur les caractéristiques toxicologiques des contaminants avec les doses d'exposition. C'est cette étape qui servira le plus de charnière pour le processus de gestion du risque. C'est pourquoi à cette étape de son travail, il faut rechercher à illustrer clairement la nature des risques (effets locaux ou systémiques; réversibles ou irréversibles; aigus, subaigus ou chroniques; cancérigènes, tératogènes, neurotoxiques, etc.). Il faut identifier les sous-groupes de la population potentiellement les plus à risque en fonction de leur âge, leur sexe, leur lieu d'habitation, leur fonction, leur mode de vie, leur état de santé, etc. Il faut chercher ensuite à quantifier ce risque en le comparant aux valeurs de référence et aux estimateurs de risque cancérigène retenus. Pour faciliter la compréhension de ces niveaux de risque, il faut les comparer à d'autres risques pour la santé résultant de situations comparables. Il importe cependant d'être prudent dans le choix de comparaison. En effet, il existe des différences de perception marquées au sein de la population entre les divers types de risque. Il est donc nécessaire de présenter les diverses sources d'incertitude incluses dans l'évaluation,

ainsi que leur degré. À cet égard, il est opportun de présenter une fourchette de valeurs de risque à l'intérieur de laquelle se situe le projet, plutôt qu'une valeur unique. Les valeurs de bruit de fond qui ont été identifiées lors de l'évaluation du risque doivent aussi être considérées et discutées à cette étape. Elles peuvent revêtir une importance primordiale tant pour l'estimation du risque que pour les modes de gestion requis. Par exemple, la caractérisation du milieu récepteur a pu mettre en évidence un niveau de bruit de fond qui dépasse les valeurs de référence. Le bruit de fond en milieu urbain est souvent plus élevé qu'en milieu rural. Certaines régions peuvent présenter un bruit de fond élevé pour certains contaminants, soit à cause d'activités industrielles particulières (par exemple les mines), soit en raison de la composition naturelle du milieu. Ces diverses situations exigent des prises de décisions parfois difficiles de la part des gestionnaires et de la population. L'évaluation du risque est donc une composante de la gestion du risque.

1.3 Gestion du risque

La gestion de risque est une approche large, intégrée et structurée. Son objectif premier est la protection de la santé humaine. C'est pour cela que les décisions et les pratiques doivent être transparentes. Elle acquiert ainsi une intégrité scientifique.

La gestion du risque décèle et prend en considération les incertitudes de l'évaluation du risque. Elle se déroule en relation étroite avec les groupes concernés et intéressés. La gestion du risque assure une distribution équitable du risque. C'est pourquoi, elle doit être flexible et prend en compte les nouvelles informations acquises en cours de processus (processus itératif)

Tableau III : Étapes de la gestion des risques

Fonction	Description
Identifier	Cerner les risques avant qu'ils ne deviennent pas des problèmes.
Analyser	Transformer les données sur les risques en information de prise de décision. Evaluer l'incidence des risques, leur probabilité, établir le calendrier, puis classifier par ordre de priorité.
Planifier	Transformer l'information sur les risques en décisions et mesures d'atténuation (immédiates et futures) et les mettre en œuvre.
Suivre	Suivre les indicateurs de risque et les mesures d'atténuation.
Contrôler	Corriger les écarts aux plans d'atténuation des risques.
Communiquer	Fournir de l'information et des réactions intrinsèques et extrinsèques au projet sur les activités de gestion des risques, les risques courants et les risques nouveaux. Remarque : La communication se poursuit pendant toutes les activités de gestion des risques.

Source : Adapté de Santé Canada, 2002

CHAPITRE III: CADRE PRATIQUE

1 Contexte du stage

La ville de Montréal est l'une des principales Mégapoles des provinces de l'État du Québec. L'État du Québec fait partie de la fédération du Canada; pays situé en Amérique du nord.

Mon stage s'est déroulé au département de santé environnementale et santé au travail de l'université de Montréal de mai à juillet 2006. Il s'est déroulé plus précisément au pavillon Marguerite-d'Youville et Liliane de Steward au sein du laboratoire du Professeur Joseph Zayed. L'équipement de ce laboratoire a permis d'échantillonner l'air dans les zones ciblées.

2 Matériel et méthode

Nous disposons d'outils de mesures suivants (voir annexe2) :

- deux (2) pompes Gil-air
- Six (6) filtres ou cassettes
- Un (1) Calibrateur
- Deux (2) tubulures
- Deux (2) tourne vis
- Une (1) Pipette pasteur
- Un (1) Cyclone
- Un (1) chargeur

Les pompes ayant une autonomie énergétique de 30 heures sont préalablement chargées et calibrées selon les cas :

- la première, nommée JZ-40 est calibré à 1500 pour avoir le débit désiré (soit 1,5 litre d'air par minute). Cette pompe a servi pour échantillonner l'air total. Une cassette y est reliée grâce à une tubulure.
- la deuxième pompe JZ-33 est ajustée à 1700 (soit 1,7 litre de débit d'air par minute), reliée par une tubulure au cyclone pour échantillonner l'air respirable. Dans les deux cas, après avoir calibrer, le couvercle est vissé sur le on/off.

L'air total est celui échantillonné directement par le moyen du filtre sans l'intermédiaire du cyclone.

L'air respirable est celui échantillonné par le moyen du cyclone.

Chaque filtre est maintenu à la chemise par une pince pendant trois (3) heures. C'est aussi le temps de mise en fonction de pompes et de la durée de l'échantillonnage qui s'est fait en se déplaçant dans de différents coins de la zone échantillonnée.

Deux (2) des six (6) cassettes ont servi de témoins ou de blancs.

Deux lieux sont retenus à cette occasion pour être échantillonnés. Le choix de ces sites s'explique par le fait que des échantillons y ont été prélevés par le passé et ou bien assez fréquentés par les automobiles. Il s'agit:

- de jardin botanique de Montréal
- et du centre ville.

Le Jardin botanique de Montréal est un musée vivant qui regroupe des plantes de diverses régions du globe. Il est situé au nord-est du centre-ville et entouré par une haie d'arbre formant une barrière naturelle s'étendant sur 40 hectares (site Internet du jardin botanique).

Le centre ville est le centre commercial de la ville de Montréal. Il est assez fréquenté par les automobilistes pendant certaines heures de la journée. Nous avons échantillonné dans les différentes rues et avenues suivantes :

- Rue Sainte Catherine
- Avenue Papineau
- Avenue Sherbrooke
- rue saint Denis

À la fin de chaque prélèvement, la durée de l'échantillonnage est indiquée sur l'écran (affichage à cristal liquide de la minuterie) de la pompe. Cette durée est relevée avant de l'éteindre. Les cassettes sont refermées à l'aide des bouchons et soigneusement conservées au laboratoire dans un endroit recouvert. Ces cassettes ont été envoyées au laboratoire d'analyse neutronique de l'école polytechnique de l'université de Montréal. Cette analyse se fait en deux étapes ; d'abord par l'irradiation de l'échantillon au réacteur nucléaire Slowpoke puis la mesure de la quantité de manganèse par le spectre au rayon

gamma. La concentration moyenne du Mn est obtenue en divisant la quantité totale du Mn obtenue par le poids témoin (Kennedy, 1990). Les résultats ont été confinés selon les différents cas de l'échantillonnage (voir annexe 1). Des calculs effectués sur ces données ont permis d'avoir des résultats rapportés au tableau des résultats (voir méthode de calcul annexe 2).

Ce travail aurait eu un avantage plus grand si certains aspects ou volets du travail avaient été élaborés entre autre si des mesures ou des estimations des niveaux d'exposition de la population à travers cette source d'entrée du manganèse avaient été faite à la source d'émission et en divers autres endroits choisis. Ce volet n'a pas été pris en compte pour des raisons de temps imparti pour le travail. Néanmoins il reste une ébauche qui pourra être complétée par des études additionnelles et plus précises pour connaître les niveaux exacts d'exposition de la population en général surtout dans les pays qui viennent d'adopter le MMT comme additif dans l'essence sans Pb. Cette estimation quantitative a pour objectif de déterminer la concentration de la substance dans un milieu biologique (le sang, le rein).

Les résultats obtenus ont montré des concentrations souvent basses par rapport à la valeur toxicologique de référence.

3 Résultats

Tableau IV: Concentration du Mn dans les différents milieux échantillonnés

Lieu échantillonné et nature de l'air	Concentration du Mn ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Jardin botanique de Montréal air total	0,04
Jardin botanique air respirable	0,03
Centre ville air total	0,06
Centre ville air respirable	0,04

Nous avons utilisé la valeur toxicologique de référence (VTR) proposée par l'agence américaine pour la protection de l'environnement (US-EPA) qui est de $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ afin de comparer notre résultat. La valeur toxicologique de référence est définie comme « une estimation du niveau d'exposition par inhalation continue pour la population humaine (incluant les sous populations sensibles) auquel il est plausible qu'il n'y ait pas de risque

appréciable d'effets délétères non cancéreux durant la vie entière » (*Environnement canada, 2000*).

4 Discussion

Compte tenu de la petitesse de la taille de l'échantillon, les résultats de la présente étude de cas ne peuvent évidemment pas être extrapolés sur un horizon spatio-temporelle afin de déterminer la présence de tendance. Toute fois les résultats sont très semblables à ceux obtenus durant les années 1980 à 2000 dans la ville de Montréal. La Concentration du Mn dans l'air total au centre ville est supérieure à la valeur de référence, nous estimons que cela ne permet pas de s'inquiéter pour des raisons évoquées ci haut (taille de l'échantillon) en vue d'avoir une moyenne.

Bien que le MMT ne soit plus utilisé au Canada dans l'essence sans plomb depuis quelques années, ce rapprochement de résultats, nous emmène à nous questionner sur l'origine du Mn présent dans l'atmosphère à Montréal. Il est vrai qu'il nous est difficile de distinguer le manganèse provenant des émissions automobiles si cela continuait à être utilisé à Montréal dans l'essence au manganèse provenant d'autres sources, comme l'environnement naturel ou les lieux de travail. Mais il serait souhaitable d'effectuer de nouvelles études pour déterminer les sources du manganèse, par le biais de données plus précises et plus récentes sur les émissions.

La plupart des débats entourant le MMT portent sur l'existence ou non d'effets toxiques sur la santé et l'environnement associés au Mn rejeté par les moteurs à essence dans l'atmosphère. Il faut reconnaître toutefois que les plus grandes sources de rejet de manganèse dans l'environnement d'après la littérature sont les aciéries et d'autres sources (exploitation minières). Les inquiétudes proviennent surtout d'un parallèle possible entre le Mn et le plomb (Pb). En effet à l'origine, le Pb était considéré comme étant d'une totale innocuité. Il s'est avéré ultérieurement que le Pb était très toxique en particulier chez les enfants (*documentation française, 2004*). Il est maintenant bien documenté que l'exposition au Pb entraîne des déficits intellectuels et cognitifs chez ce groupe de la population ainsi que de troubles mentaux organiques chez les travailleurs exposés à des fortes concentrations (*documentation française, 2004*).

Toutefois, cette analogie est source de controverse. Le Mn comme le plomb, peut avoir des effets neurotoxiques. Une autre différence importante entre les deux métaux est que le manganèse à faible concentration est un élément nutritif essentiel, alors que le plomb est toxique quelle que soit la concentration. L'option entre les deux métaux se déclinerait au profit du Mn à cause des effets néfastes élevés du Pb. C'est ainsi que dans le monde, le Pb est substitué par le manganèse.

Le Mn serait un métal difficile à détruire. Il s'accumule dans l'environnement (Normandin et al, 2001). À long terme, les risques pour la santé de quantités croissantes de Mn présent dans l'air et dans la poussière posent un important problème. Il est trop tôt de dire qu'il existe un risque sur la santé humaine liée au MMT de source mobile. Cependant l'absence des preuves des effets directs du MMT sur l'homme à partir de cette voie d'exposition ne doit pas constituer un prétexte pour exclure l'élaboration de politiques de protection de la santé de l'homme et de préservation de l'environnement.

En Afrique et particulièrement au Tchad, le choix du MMT serait justifié par le fait qu'il soit moins toxique que le tétraéthyle de Plomb et économiquement viable. En plus des avantages économiques évidents résultant d'une réduction de la quantité de pétrole utilisée et d'une baisse des prix, il pourrait y avoir des effets favorables pour la santé et l'environnement. Il est probable que si l'utilisation du MMT entraîne une réduction des émissions d'oxyde d'azote (NOx), ceci s'accompagnerait de certaines diminutions localisées dans la formation d'ozone (*environnement Canada, 2000*).

Bien que le MMT semble être avantageux par rapport au Pb, Il serait intéressant d'être prudent quand à l'utilisation de cette substance et continuer à rechercher davantage des informations sur son émission et celle d'autres sources avant une quelconque prise de décision en vue de la protection du bien être des habitants des zones exposées.

L'utilisation de cet antidétonant au Tchad à la place du plomb pourrait à court terme être bénéfique aux groupes des personnes plus vulnérables et sensibles au plomb. En effet, cette décision permettra de réduire l'exposition à ce métal et de renforcer ainsi la protection des femmes enceintes et des jeunes enfants. Il serait intéressant à long terme

d'envisager une étude similaire sur le MMT en recueillant des données dans plusieurs endroits et également d'investir au niveau de la population vivant à proximité immédiate des zones où le trafic automobile est intense. Cette recherche permettra d'estimer les effets éventuels du Mn sur la population.

Le niveau d'information de cette population qui est pour le moment faible en lien avec les problèmes de santé environnementale ne permettra pas sans doute dans l'avenir de mener à bien ce genre de travail. Une question qui pourra venir à l'esprit se pose en terme de la perception de cette population du danger éventuel de ce produit chimique et de son effet nocif sur leur santé, santé déjà fragilisée par les différentes maladies infectieuses, la malnutrition, les médicaments de rue et un environnement menacé par la progression du désert. Mais aussi par le non accès aux services de qualité, et l'absence de système de santé stable.

De plus, il est aussi important de tenir compte d'autres dimensions telle que l'estimation personnelle du risque par l'individu qui le court car il est généralement fonction de dispositions psychologiques et de son environnement social. Ainsi pour évaluer efficacement ce genre de risque, il est nécessaire de s'appuyer sur les méthodes probabilistes et celles basées sur la perception (subjectivité).

Plusieurs études ont été réalisées au Canada en vue de déterminer l'effet du MMT sur la santé de la population urbaine mais les conclusions seraient que le niveau d'exposition n'est pas alarmant même si dans certains milieux échantillonné la concentration du manganèse était élevée (Santé Canada, 2000) .

En outre, au Canada, l'une des raisons qui a conduit à mettre fin à l'utilisation du MMT serait surtout l'impact qu'aurait le dépôt de Mn sur les équipements de diagnostic incorporé et sur les convertisseurs catalytiques. Les convertisseurs catalytiques travaillent à la diminution des émissions nocives du parc automobile. Il s'agit des émissions tels que du monoxyde de carbone (CO), des oxydes d'azote (NOx), et des hydrocarbures (HC) imbrûlés. Les HC et les NOx contribuent à la formation du smog photochimique alors que le monoxyde de carbone se transforme en gaz carbonique (CO₂), un gaz qui contribue à l'effet de serre (*environnement canada, 2002*). Selon une autre enquête menée par l'équipe de *Zayed* une voiture roulant au MMT rejetterait dans l'environnement deux

fois plus de monoxyde de carbone et 18% plus d'oxyde d'azote que si elle fonctionnait avec du MTBE (méthyle tertio butyle éther) par exemple, un autre additif problématique en raison de son potentiel neurotoxique (*INRS, 2005*).

Aux États-Unis, il est interdit d'ajouter du MMT à l'essence sans plomb. En France, on s'oriente vers des additifs plus écologiques comme l'ETBE (ou Ethyl-Tertio-Butyl-Ether) obtenu à partir du raffinage de l'éthanol de blé (*Zagury G.J., 1995*).

Cette décision des autorités canadiennes et des autres pays reconnus en matière de recherches sur les polluants atmosphériques pourrait également servir aux réflexions et inspirer les décideurs pour la future installation de raffinerie de pétrole au Tchad afin de garantir l'entretien des véhicules des clients éventuels. Il faut alors se doter des outils capables de diagnostiquer à temps les conséquences du MMT sur la santé en identifiant les indicateurs de santé publique. Pour cela il faut d'ore et déjà envisager une étude prospective dans l'avenir dans les zones urbaines et rurales mais particulièrement sur les futurs professionnels travaillant dans l'usine de raffinage de pétrole.

Il faut ajouter que le parc automobile du Tchad a connu une augmentation spectaculaire en moins de cinq ans. Depuis la ré- immatriculation des véhicules en 2004, on dénombre, sur l'ensemble du territoire, 75.615 véhicules (à deux et quatre roues) dont 57.207 à N'djaména (soit 76 % du parc automobile national) mais ces chiffres devrait être vu à la hausse de moitié (*Tchad et culture N° 250, 2006*). La plupart de ces véhicules sont très souvent mal entretenus et rejettent de la fumée et pour beaucoup d'entre eux, ils sont dits : « véhicules d'occasions » car achetés d'une seconde main et comptant plusieurs années de mise en service. Doit-on déjà s'alarmer quand à comparer ces chiffres au parc automobile des pays dits «développés » ? Peut- on faire un lien entre le nombre des véhicules circulant et la concentration dans l'air de rejets automobiles (CO₂, phosphate de manganèse) potentiellement dangereux pour l'humain ? Pour l'instant, il porte à croire que la situation actuelle du Tchad est loin d'être celle des pays industrialisés. Les habitudes de transport restent différentes : il y a davantage des engins à deux roues dans ce pays. Ce qui soulève déjà des inquiétudes tant du côté de média que des décideurs nationaux. Mais aussi, la vétusté et l'entretien du parc automobile emmènent à réfléchir sur la nature des produits rejetés par les tuyaux d'échappements de ces différents engins. Nous estimons que même s'il est vrai qu'en milieu professionnel, une surexposition au

manganèse peut conduire à une perturbation de contrôle homéostatique et occasionner différents problèmes de santé, l'option pour l'utilisation du MMT serait une alternative tout à fait raisonnable comparée à la toxicité générée par le tétraéthyle de plomb. C'est un progrès considérable vers l'avenir qui mènera petit à petit à adopter des produits plus écologiques et économiquement aussi bénéfiques comme le coût actuel du MMT. Il faut souligner tout de même que certaines études ont montré la présence du Mn dans le sang de population riveraine des routes à grande circulation automobile donc il y a lieu de se faire de souci.

Au Tchad, l'environnement juridique et législatif pour la gestion des produits chimiques se caractérise par l'existence de plusieurs textes relatifs à l'importation, à l'exportation, à l'utilisation, à la consommation et au stockage. Au Ministère de l'Environnement et de l'Eau, il y a une Loi 14/PR/98 définissant les principes généraux de la protection de l'Environnement. Certains textes n'ont pas des décrets d'application jusqu'à nos jours (exemple cette Loi 14/PR/98). Le Tchad a signé plusieurs conventions et accords internationaux mais la plupart de ces dispositions ne sont pas suivies par la création de règlements et autres textes d'application (*UNITAR et al, 2002*).

CHAPITRE IV: ENSEIGNEMENTS TIRÉS DU STAGE POUR UNE PERSPECTIVE AU TCHAD

1 Aperçu sommaire du Tchad

Le Tchad est situé au centre du Continent Africain, entre les 8ème et 24ème degrés de latitude Nord et les 14ème et 24ème degrés de longitude Est. Il partage des frontières communes avec, au Nord, la Libye, à l'Est, le Soudan, au Sud, la République Centrafricaine et à l'Ouest, le Cameroun, le Nigeria et le Niger. Le Tchad est un pays sahélien avec une superficie de 1 284 000 Km². La population totale du Tchad en 2005 est évaluée à 9 826 419 habitants (*US Census Bureau, 2005*). Le Recensement général de la population et de l'habitat (1993) donnait le chiffre de 6 282 931 habitants (*INSEED, 2006*).

L'espérance de vie est estimée à 50,3 ans pour l'ensemble du pays. Elle est de 47 ans pour les hommes et 54,5 ans pour les femmes. Suivant le milieu de résidence, l'espérance de vie est de 49,8 ans pour les urbains et 50,8 ans pour les ruraux (*UNITAR et al, 2002*).

Selon le recensement de 1993, seulement 521 945 personnes âgées de 6 ans au moins ont déclaré être aptes à lire et à écrire en français, en arabe ou en toute autre langue. De ce fait, 4 302 103 personnes sont analphabètes, soit un taux d'analphabétisme général de 89,2% (*UNITAR et al, 2002*).

L'étude de la scolarisation à partir du recensement de 1993 a dénombré 696 217 élèves et étudiants dont 80% sont inscrits au cycle d'études primaires. Cette situation témoigne de l'existence de nombreuses insuffisances dans le système éducatif tchadien (*INSEED, 2006*).

Le Tchad a un IDH (indice de développement humain) de 0,379 et se classe au 167^e rang sur 176 pays. L'importance de la demande sociale est exprimée à travers ces indicateurs: 54% de la population se trouvent en dessous du seuil de pauvreté. Son PIB (produit intérieur brut) est de 2,6 milliards de dollars en 2003 (*Banque mondiale, 2004*).

À sa situation enclavée s'ajoutent la rigueur et l'instabilité du climat. Malgré cette situation, le potentiel de développement économique du pays reste important. Classé parmi les pays les moins avancés, le Tchad est essentiellement importateur de produits chimiques. Les substances telles que les pesticides, les produits chimiques de consommation sont largement utilisés à nos jours dans les secteurs de l'agriculture, de l'industrie, de la santé et dans les ménages (*UNITAR et al, 2005*).

La quantité des produits pétroliers importés au Tchad par an est évaluée dans le tableau ci-dessous :

Tableau V : Hydrocarbures importées par le Tchad

Hydrocarbures	Volume (m³/an)
essence	25 000
Gas-oil	70 000
butane	300
Pétrole lampant	10.000
Total hydrocarbure	117.500 (tonnes)

Source adaptée de Tchad et culture N ° 250. 2006

Le Tchad a signé plusieurs Conventions et Accords Internationaux relatifs à la protection de l'environnement parmi les quels on peut citer les Conventions de Bamako, de Rotterdam et de Stockholm (*UNITAR et al, 2002*).

Le Tchad est un pays exportateur de pétrole. Le gisement de pétrole situé au centre du pays à Sedigui est consacré à une mini raffinerie à N'djaména. Sa capacité de production serait de 3.300 barils par jour et est destinée à la couverture des besoins nationaux en essence, pétrole, gas-oil, butane. Actuellement, les consommations locales en hydrocarbure (Essence, Gazoil, Pétrole lampant, Jet A1, Huiles lubrifiants, Gaz butanes, Gaz pour aviation, Bitumes) sont importées des pays voisins, le Nigeria et le Cameroun qui ont ajouté depuis 2006 dans l'essence du MMT comme antidétonant. L'introduction de cette nouvelle substance vient remplacer le plomb qui a été si longtemps utilisé dans ces pays et dont les effets nocifs sont méconnus par la plupart de la population. En dépit de la rareté ou de l'inexistence des données se rapportant à ce nouveau produit qu'est le MMT.

Il est important de sensibiliser la population, les responsables politiques et les praticiens sur le risque pour la santé associé à l'utilisation de certains produits chimiques dans l'essence et en particulier le MMT dans l'essence sans plomb. Nous proposons donc certaines recommandations en terme d'enseignements pour le Tchad.

2 Recommandations

Le Tchad, pour le moment ne fait qu'utiliser l'essence importée. Il subit les décisions d'utilisation de tel ou tel produit ajouté dans l'essence par les pays producteurs. Cependant pour cette future raffinerie évoquée ci haut, nous pensons qu'il serait bénéfique d'investir pour de recherches afin d'employer d'autres techniques qui permettraient d'augmenter l'indice d'octane avec l'addition d'autres antidétonants plus écologiques que le plomb ou le MMT. Par exemple en oxygénant les carburants pour les véhicules automobiles comme cela a été fait au Canada. De plus il serait aussi important de penser à produire des biocarburants tel que l'éthanol ou le méthanol. Cependant cette perspective doit s'accompagner par des mesures adéquates en vue d'épargner l'environnement des contaminations probables que générerait sans doute l'industrie agricole lors de la production de matières premières, par les effets qu'auraient des pesticides et des engrais sur les sols et les différentes eaux existantes (eaux souterraines ou fluviales). Mais comme on pouvait s'y attendre, les biocarburants sont plus chers à produire que les dérivés du pétrole. Aussi, l'alcool soulève des inquiétudes au plan environnemental, incluant l'émission possible de composés comme les aldéhydes. Les risques et les avantages de l'alcool doivent être vus dans la perspective de son cycle de vie total, depuis sa production (par fermentation de céréales) jusqu'à son utilisation comme carburant.

À la lumière de ce qui précède, Il est donc indispensable que l'état tchadien se dote des normes en rapport avec la pollution de l'air ou bien adopter une réglementation sur la réduction de la pollution due aux véhicules automobiles dans le but de protéger la santé humaine et l'environnement. En effet nous pensons que les questions environnementales sont une fois de plus liées intimement et peut-être trop étroitement aux questions politiques et économiques. Il serait donc souhaitable de :

- Encourager les pouvoirs publics, notamment le ministère de la santé publique à intervenir davantage dans la formulation des politiques de prévention des risques ; en accordant un soutien plus ferme à la recherche scientifique, en améliorant les systèmes de surveillance ou de dispositifs de veille sanitaire et assurant un meilleur accès à l'information disponible dans le pays ;
- Elaborer une stratégie d'information, d'éducation et de communication visant à sensibiliser davantage le public aux différents effets des transports sur la

santé humaine et à faciliter le choix de modes de transports viables pour la santé et l'environnement.

- Développer une collaboration intersectorielle en vue de réduire les principaux facteurs de risque indirect tel que le faible niveau d'instruction ;
- Former les jeunes chercheurs et enseignants chercheurs en toxicologie de l'environnement afin de développer le potentiel humain en santé communautaire ;
- Créer un laboratoire national d'analyse et de certification des produits chimiques et former du personnel qualifié en charge des analyses et de contrôle ;
- Élaborer des textes d'application par rapport aux lois et ordonnances relatives à l'utilisation des produits chimiques ;
- Élaborer des textes législatifs et de textes réglementaires conformément aux Conventions et Accords Internationaux souscrits par le Tchad ;
- Mettre en place une politique dynamique de suivi, de disposition juridique et législative pour la gestion des produits chimiques ;
- Intensifier la collaboration internationale pour améliorer la gestion du risque et permettre au grand public d'en prendre conscience et de mieux les connaître.

CONCLUSION

La recherche par l'homme d'une meilleure qualité de vie a fait naître plusieurs activités qui engendrent les résidus et déchets en quantité et en nombre croissant. La composition naturelle de l'air est ainsi modifiée par la présence de contaminants divers (matières

solides, liquides et gazeuses). La pollution atmosphérique est surtout associée à des activités humaines. Les émissions du trafic routier sont un mélange complexe de certains polluants en phase gazeuse et particulaire.

S'il est vrai qu'à nos jours, on ne trouve pas encore au Tchad de grandes unités de fabrication de produits chimiques, la gestion des produits importés pour usage agricole et domestique pose déjà de sérieux problèmes environnementaux, de santé humaine et animale. Un bon nombre de produits sont détournés de leur utilisation primaire pour servir à la pêche et à la chasse par empoisonnement. Beaucoup de cas d'intoxications sont observées dans les milieux ruraux à cause de la mauvaise utilisation de produits chimiques ou par ignorance du danger que ces produits présentent. (UNITAR, 2002) L'entrée en vigueur des différentes mesures de la législation est peu efficace pour deux raisons: l'analphabétisme et l'incivisme de la population. Cependant, on aurait pu rendre plus populaire les différentes mesures législatives en associant les différents acteurs lors de la prise de décision en organisant des référendums ou des campagnes de sensibilisation. Il y a lieu de déplorer l'absence de centres anti-poison et de laboratoires d'analyses et de certification des produits chimiques importés. Cette situation est d'autant plus inquiétante pour le consommateur Tchadien qu'il est à la merci des producteurs qui peuvent lui proposer tout genre de produits même les plus douteux.

Il est important pour le Tchad de consentir des efforts pour réduire les rejets de polluants, pour renforcer les moyens d'expertise en appui à la décision, ainsi que pour prévenir les principaux risques sanitaires environnementaux, une étape nouvelle dans la lutte contre les risques sanitaires liés à l'environnement est indispensable, dans une perspective de développement durable. Celle-ci doit prendre en compte l'ensemble des polluants et des milieux de vie.

Des évaluations du niveau d'exposition de la population sont alors nécessaires pour parvenir à une conclusion sur la détermination des seuils limites d'exposition aux risques potentiels qui sont associés à l'inhalation de produits ainsi que les doses d'exposition quotidiennes sur lesquelles ils se fondent.

La meilleure stratégie consiste à la recherche d'interventions en amont pour prévenir toute présence indésirable de ces substances partout dans le monde par principe d'action

préventive. Beaucoup d'organisations gouvernementales et internationales. Certaines entreprises tentent d'intégrer cette stratégie dans leur politique pour offrir une meilleure santé aux populations dans un environnement sain.

La caractéristique de cette stratégie est la recherche de technologies plus protectrices de l'homme, intégrant les questions de santé et de la préservation de l'environnement pour un développement durable en lien avec l'Objectif du Millénaire pour le Développement (OMD) des nations unies.

L'OMS a défini 4 critères pouvant déterminer la qualité de l'air:

- Lorsque aucun effet négatif n'est observé chez les personnes exposées.
- Lorsque des irritations, une diminution de la visibilité et des troubles sont observés au niveau de la population.
- Lorsque des troubles physiologiques et des maladies chroniques sont observés chez les populations exposées.
- Lorsque des effets de toxicité et des décès sont observés chez les personnes les plus sensibles.

Ces critères pourraient donc servir des indicateurs pour les prochaines études à réaliser en appliquant une définition plus prudente de principe de précaution.

RÉFÉRENCES

Abdel-Hamid MM., El-Desoky SA. et Magdi SM.,1990. Estimation of manganese in blood between exposed workers to different concentrations at industrial units. Egypt J pharm Sci 31: 143-150.

Ardeleanu A, Loranger S., Kennedy G., L' Espérance G and Zayed J., 1999. Emission Rates and Physico-chemical characteristics of Mn Particles Emitted by Vehicles using MMT as Octane improver. Water, Air and Soil Pollut. 115: 411-427.

ASTDR., 2000.(revue synthèse) Toxicological profile for manganese(update). Agency for toxic substances disease Registry.U.S. Departement of Health and Human services. PB2000108025, September.

Baldwin M. Megler D., Larribe F., Belanger S., Tardif R., Bilodeau L., Hudnell K., 1999. Bioindicator and exposure data for a population based study of manganese. *Neurotoxicology* 20: 343-354.

Bastarache E., 2001. Occupational and environnemental Médecine.

<http://perso.orange.fr/smart2000>

Beauchamp A., Bolduc D.G., Belanger M., Dionne L., Drouin L., Gagné D. Nantel A., Prévost C., Weber H., Zayed J., 1999. Évaluation et gestion du risque toxicologique au Québec : principe directeurs d'évaluation du risque toxicologique pour la santé humaine. Ministère de ls santé et de services sociaux du Québec. 57p.

Bouchard M. TR., Carrier G., Viau C., .2002. Urinary excretion kinetics of 1-hydroxypyrene in rats subchronically exposed to pyrene or polycyclic aromatic hydrocarbon mixtures. *Journal of Toxicology and Environment Health A.* 65 (16):1195-209.

Bouchard M., 2002. Effet d'interaction entre le manganèse sanguin et la consommation d'alcool sur la stabilité émotionnelle chez des travailleurs industriels exposés au Mn. *central nervous system via olfactory pathways in rats. Pharmacol. Toxicol.* 79:347–356.

Chandra S.V. and Tandon S.K., 1973. Enhanced manganese toxicity in iron-deficient rats. *Environ. Physiol. Biochem.*3: 230-235.

Cooper WC., 1984 The Health Implications of Increased Manganese in the Environment Resulting from the Combustion of Fuel Additives : A Review of the Literature. *Journal of Toxicology and Environmental Health.* 14:23-46.

Davis CD., Wolf TL., Greger JL., 1992. Varying levels of manganese and iron affect absorption and gut endogenous losses of manganese by rats. *J Nutr* 122: 1300-1308.

Documentation française 2004 .Plan national santé environnement rapport de la commission d'orientation.296p.

Freeland-Graves J.H., Bales C.W., and Behmardi F., 1982. Manganese requirements of humans. In *Nutritional bioavailability of manganese*. Am. Chem. Soc. Symposium Series. 314. pp 90-104.

Gérin M., Gosselin P., Cordier S., Viau C., Quénel P., Dewailly E., 2003 Environnement et santé publique/ Fondements et pratiques. Editions TEC et DOC 1023.

Hinderer R.K., 1979. Toxicity studies of méthylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl (MMT). *Am.Ind. Hyg. Assoc.*J.40: 164-167.

INRS (Institut National de Recherches et de sécurité), 2005. Fiche toxicologique <http://www.INRS.fr>. Consulté le 07/05/06

Keating P.R., Keel O., 1995 Santé et Société au Québec XIX^e- XX^e siècle 273 p.

Korc M., 1998. Manganese homeostasis in humans and its role in disease state. In: *Essential and toxic trace elements in human health and disease*. Alan. R. (ed) Liss. Inc. Publisher, New -York, NY pp 253-273.

Laure D., 2003 Méthodologie de l'évaluation des risques sanitaires, communication journée régionale centre, Direction des Risques chroniques, Unité Evaluation des Risques Sanitaires INERIS

Lauwerys R., 1989. Metal epidemiology and experimental evidence for carcinogenicity. *Arch, Toxicol* 13:21-27.

Lauwerys R.R. 1992. Manganèse In: Toxicologie- pathologie professionnelle, Ed. Techniques- Encyclopédie Médico- chirurgicale. Paris. pp 1-5.

Lowrence D., 1976. Of Acceptable Risk: Science and Determination of safety. Kaufman W. (ed.). Inc, LOS Atlos, CA.

Loranger S., Zayed J, Forget, E., 1994. Manganese contamination in Montreal in relation with traffic density. Water, Air and soil pollution 74: 385-396.

Loranger S., Zayed J., Kennedy G., 1994. Contribution of Methylcyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl (MMT) to Atmospheric Mn Concentration Near Expressway: Dispersion Modeling Estimation. Atmospheric Environment.

Loranger S., 1994. Evaluation de la contamination de l'exposition environnementale au manganèse provenant de la combustion du méthylcyclopentadiényle manganèse tricarbonyle (MMT) dans l'essence sans plomb. Thèse de ph.D. en santé communautaire présentée à la faculté des études supérieures. Département de médecine du travail et d'hygiène du milieu Faculté de médecine. Université de Montréal. 265P.

Loranger S., Zayed J., 1994. Manganese and Lead Concentration in Ambient Air and Emission Rates from Unleaded and Leaded Gasoline Between 1981 and 1992 in Canada: A Comparative Study. Atmospheric Environment 28.

Loranger S., Zayed J., 1997. Environnemental contamination and Human exposure assesment to manganese in the St. Lawrence river ecozone (Quebec, Canada).Using an environmental gate/exposure model : Geotox. SarQsar.

Loranger S., Demers G., Kennedy G., Forget E., Zayed J., 1994. The Pigeon (*Columba livia*) as a Monitor of Atmospheric Manganese Contamination from Mobile Sources. Archives of Environmental Contamination and Toxicology accepted.

Mc Gynley PA., Morris JB., Clay RJ., Gianustsos G., 1987. Deposition and Toxicity of Methylcyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl in Rat. Toxicology Letters 36:137-145.

Mena I., Hriuchi K., Burke K. and Cotzias GC., 1969. Chronic manganese poisoning. Individual susceptibility and absorption of iron. Neurology 19: 1000-1006.

Normandin L. CG., Gardiner PF., Kennedy G., Hazell S.H., Mergler D., Butterworth R.F., Phippe S. and Zayed, J., 2002. Assessment of Bioaccumulation, Neuropathology, and Neurobehavior Following Subchronic (90 Days) Inhalation in Spargue-Dawley Rats Exposed to Manganese Phosphate. Toxicology and Applied Pharmacology, 183 (2) : 135-145.

OMS, 1981. Le manganèse. Critères d'hygiène de l'Environnement. Genève, Suisse.
[http:// www.who.int](http://www.who.int) Consulté le 20/05/06

OMS, 1997. Aspects sanitaires et nutritionnels des oligo-éléments et des éléments en traces.

Ostiguy C. Malo S., Asselin P., 2003. Synthèse des connaissances scientifiques sur les risques d'atteinte à la santé suite à une exposition professionnelle au manganèse. Rapport.40 p. IRSST <http://www.irsst.qc.ca> Consulté le 05/06/06

Ostiguy C., Asselin P., Malo S., Nadeau D., Dewals P., 2005. Prise en charge du manganisme d'origine professionnelle. Consensus d'un groupe international d'experts. Rapport 62 p. IRSST <http://www.irsst.qc.ca> Consulté le 05/06/06

Rehnberg GL., Hein JF., Carter SD., Laskey JW., 1980. Chronic Manganese Oxide Administration to Preweanling Rats: Manganese Accumulation and Distribution. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 6:217-226.

Rehnbert GL., Hein JF., Carter SD., Linko RS., Laskey JW., 1981. Chronic Ingestion of Mn₃O₄ by Rats: issue Accumulation, Distribution of Manganese in Two Generations. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 9:175-188.

Roels H., Meiers G., Delos M., Ortaga I., Lauwerys R., Buchet JP., Lison D.,1997. Influence of the route of administration and the chemical form (MnCl₂, MnO₂) on the absorption and cerebral distribution of manganese in rats. *Arch Toxicol* 71: 223-230.

Samson B.F., Symonds H.W. and Vagg M.J., 1978. The absorption of dietary manganese by dairy cows. *Res. Vet. Med.* 24: 366-369.

Saric M., 1986. Manganese. In : **L Friberg, GF Nordberg, VB Vouk, E Kessler** (eds). *Handbook on the Toxicology of Metals*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam. Vol.2: 355-362.

Scheuhammer AM, Cherian MG., 1983. The Influence of Manganese on the Distribution of Essential Trace Elements. II. The Tissue Distribution of Manganese, Magnesium, Zinc, Iron and Copper in Rats After Chronic Manganese Exposure. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 12:361-370.

Sentenac X., 2003 .Risques liés à des polluants spécifiques <http://www.INRS.fr>. Consulté le 20/05/06

Sexsmith F., 2005 Etat d'avancement du passage à l'essence sans plomb en Afrique subsaharienne. http://www.cleanairnet.org/ssa/1414/articles-69320-status-report-french_pdf
Consulté le 03/01/07

Stokinger HE., 1981. Manganese. In: GD Clayton, FE Clayton (eds). The Metals. John Wiley and Sons, New York. 1749-1769

Sumino K., Hayakawa K., Shibata T., Kitamura S., 1975. Heavy metals in normal Japanese tissues: amounts of 15 heavy metals in 30 subjects. Arch Environ Health 30: 487-494.

Ter Harr GL, Griffing ME, Brandt M, Oberding DG, Kapron M., 1975. Methylcyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl as an Antiknock: Composition and Fate of Manganese Exhaust Products. Journal of the Air Pollution Control Association 25:858-860

Tchad et culture N° 250 2006. <http://www.tchadetculture.org> Consulté le 11/01/07.

Tjälve H, Henriksson, J., Tallkvist, J., Larsson, B. S., and Lindquist, N. G., 1996. Uptake of manganese and cadmium from the nasal mucosa into the central nervous system via olfactory pathways in rats. Pharmacol Toxicol 79: 347-356.

Unitar, Ministère de l'environnement et de l'eau du Tchad., 2002. Plan national du Tchad sur la gestion des produits chimiques. Version1.101p.
http://www.unitar.org/cwg/publicaations/cw/np_pdf/Tchad_National_profile.pdf.
Consulté le 23/01/07

Viala A., Grimaldi F., pollution de l'air in toxicologie 2005.253-258

Wilkinson R., Marmot M., 1996. Social determinants of health. The solid facts.31p

Zagury G.J., (1995). Politique et environnement deux secteurs indissociables.
<http://www.usherbrooke.ca/sommets/V08/n3/invitat.html> Consulté le 17/01/07

Zayed J., Lefebvre. L., 1998. La santé environnementale : concept à la réalité du Forum National sur la santé: les déterminants de la santé/le cadre et les enjeux In Environnement et Santé publique/ Fondements et pratiques.

ANNEXES

ANNEXE 1 : RAPPORT D'ANALYSE

POLYTECHNIQUE

Activation Neutronique

Dr. Joseph Zayed

Echantillon #	Mn (microgrammes)
blanc 1	0,003
jardin botanique	
resp	0,022
air total 1479	
total	0,029
blanc centre-	
ville	0,003
JZ33 air respirable	
centre-ville	0,029
JZ40 air total centre-	
ville	0,036

Incertitude = ±5%

Greg Kennedy

ANNEXE 2 : MÉTHODE DES CALCULS

Les données suivantes sont utilisées pour les calculs:

Temps de prélèvements : 360 minutes

Calibration de la pompe pour l'air total : 1,5 litre par minute

Calibration de la pompe pour l'air respirable : 1,7 litre par minute

Jardin botanique : Blanc 1 : 0,003 microgramme de quantité de Mn

Air total : 0,029 microgramme de quantité de Mn

Air respirable : 0,022 microgramme de quantité de Mn

Centre ville : Blanc 2 : 0,003 microgramme de quantité de Mn

Air total : 0,036 microgramme de quantité de Mn

Air respirable : 0,029 microgramme de quantité de Mn

1) Nous avons cherché d'abord à déterminer le volume de l'air échantillonné durant le temps de prélèvement:

Air respirable = 360 min x 1,7 litre/min = 612 litres

Air total = 360 min x 1,5 litre/min = 540 litres

Cela traduit que :

0,022 μg de Mn correspond à 612 litres pour l'air respirable

0,029 μg de Mn correspond 540 litres pour l'air total

Or on sait que 1 m^3 équivaut à 1000 litres d'air

2) La concentration du Mn dans l'air au jardin botanique est :

Air respirable = $(0,022 \mu\text{g} - 0,003 \mu\text{g}) \times 1000 \text{ l} : 612 \text{ l} / \text{m}^3 = 0,03 \mu\text{g} / \text{m}^3$

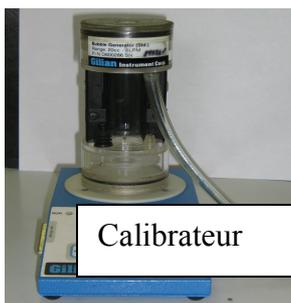
Air total = $(0,029 \mu\text{g} - 0,003 \mu\text{g}) \times 1000 \text{ l} : 540 \text{ l} / \text{m}^3 = 0,04 \mu\text{g} / \text{m}^3$

3) La concentration du Mn dans l'air au centre ville est :

Air respirable = $(0,029 \mu\text{g} - 0,003 \mu\text{g}) \times 1000 \text{ l} : 612 \text{ l} / \text{m}^3 = 0,04 \mu\text{g} / \text{m}^3$

Air total = $(0,036 \mu\text{g} - 0,003 \mu\text{g}) \times 1000 \text{ l} : 540 \text{ l} / \text{m}^3 = 0,06 \mu\text{g} / \text{m}^3$

ANNEXE 3 : PHOTOS MATÉRIELS ET PHOTOS LIEUX ÉCHANTILLONNÉS



Calibrateur



Filtre ou cassette



Pompe Gil



Chargeur

Liquide savonneux



Tournevis



Vue partielle extérieure du
jardin botanique de Montréal

Vue partielle intérieure du
jardin botanique de
Montréal

U | Une vue partielle de la circulation sur l'avenue Papineau au centre ville à
M | Montréal

ANNEXE 4 : CARTE ADMINISTRATIVE DU TCHAD



ANNEXE 6 : HISTORIQUE DU MMT AU CANADA

L'histoire du MMT au Canada est intimement liée aux développements survenus aux États-Unis. Le tableau suivant présente les grands événements dans les deux pays.

1976 Le MMT est utilisé au Canada pour augmenter l'indice d'octane de l'essence, en remplacement du plomb tétraéthyle.

1977 L'utilisation du MMT dans l'essence sans plomb est interdite en Californie et contrôlée dans le reste des États-Unis en vertu du *U.S. Clean Air Act*.

1978 Santé Canada évalue le MMT à titre de solution de remplacement des additifs au plomb pour l'essence et ne découvre aucun effet important sur la santé.

1970–90 Le Canada entreprend d'éliminer le plomb dans l'essence.

1978 et 1981 Ethyl Corporation demande des exemptions à l'EPA afin de permettre l'utilisation du MMT dans l'essence sans plomb. Les deux demandes d'exemption sont rejetées, sur la base de préoccupations relatives à l'augmentation des émissions d'hydrocarbures et à l'impact sur les systèmes antipollution.

1985–86 La Commission royale d'enquête sur le plomb examine aussi le MMT. Elle ne relève aucun effet significatif sur la santé.

1990 Ethyl dépose une troisième demande d'exemption auprès de l'EPA.

1992 L'EPA rejette la demande d'exemption de Ethyl sur la base de préoccupations voulant que l'utilisation du MMT pourrait augmenter les émissions d'hydrocarbures.

1993 La Cour d'appel américaine renverse la décision de l'EPA d'interdire le MMT, indiquant que l'agence ne peut bannir la substance que si le convertisseur catalytique cesse de fonctionner ou si les émissions d'hydrocarbures augmentent. L'Agence maintient toutefois l'interdiction, citant de possibles effets neurotoxiques.

1993 Un projet de loi privé est déposé au Parlement en vue d'interdire le MMT. Le projet de loi est défait.

1993 L'EPA établit que l'utilisation du MMT ne cause ni ne contribue à causer de pannes des systèmes ou dispositifs de contrôle des émissions nocives.

1994 Santé Canada entreprend une étude indépendante du MMT mais conclut qu'il ne pose aucun risque important sur la santé.

1994 Le groupe de travail sur les véhicules et les carburants propres, constitué sous l'égide du Conseil canadien des ministres de l'environnement, commence à examiner le MMT mais abandonne ses travaux avec le dépôt du projet de loi C-94.

1995 Sheila Copps, ministre de l'Environnement, dépose le projet de loi C-94 visant à contrôler le commerce interprovincial du MMT. Le projet de loi meurt au Feuilleton.

1995 La Cour d'appel américaine décrète que l'EPA a outrepassé ses pouvoirs. Le MMT devient un additif légalement reconnu aux États-Unis.

1995 Le projet de loi C-29, qui succède au projet de loi C-94, est déposé par le successeur de Mme Copps, Sergio Marchi, et adopté par le Parlement. Le Comité permanent du Sénat sur l'énergie, l'environnement et les ressources naturelles soulève la question du principe de précaution.

1996 Aux États-Unis, le Environmental Defense Fund lance une campagne publique pour limiter l'utilisation du MMT et communique avec les grands raffineurs, menaçant de rendre public le nom des entreprises qui pourraient utiliser le MMT.

1996 L'Institut canadien des produits pétroliers commande une étude sur les systèmes de diagnostic pour véhicules automobiles. Les résultats ne démontrent aucun effet négatif du MMT.

1997 Une commission de règlement des conflits créée dans le cadre de l'Accord sur le commerce intérieur examine le projet de loi C-29. Elle juge que les restrictions sur le MMT ne sont pas conformes aux obligations découlant de l'ACI.

1998 Le gouvernement canadien retire le projet de Loi C-29 et règle le litige avec Ethyl Corporation avant que la plainte de la société soit entendue devant la commission de l'ALENA.

1999 L'EPA propose une batterie de tests pour le MMT, que Ethyl accepte de réaliser dans le cadre de la réglementation encadrant les tests sur les effets sanitaires de la loi américaine sur les carburants et les additifs (*U.S. Fuels and Fuel Additives Act*).

Source Programme de la santé, de l'environnement et de l'économie Canada 2000