



Université Senghor

à l'université internationale de langue française au service
du développement africain

NAPO Gbati

**CONTRIBUTION À LA PRÉVENTION
DE L'INTOXICATION AU CADMIUM :
CAS DU TOGO**

Mémoire présenté

pour l'obtention du **Diplôme d'Études Professionnelles Approfondies (DEPA)**

**DEPARTEMENT GESTION DES SYSTÈMES DE SANTÉ
ET POLITIQUES ALIMENTAIRES**

Membre de Jury :

Alexandrie

Egypte

2005

Dédicaces

A mon père,

A ma mère, à titre posthume,

A mes frères et sœurs,

A ma fiancée,

A mes amies et amis.

Remerciements

Je voudrais adresser mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance à tous ceux qui n'ont ménagé aucun effort pour apporter leur précieux concours à la conception et la réalisation de ce travail. Qu'ils trouvent tous ici toute ma gratitude.

A Mr **Joseph Zayed**, Professeur à l'université de Montréal, je dis un grand merci pour sa contribution, ses suggestions et les conseils qu'il m'a fourni pour l'accomplissement de travail. Qu'il trouve ici ma compassion ;

A Mr **Mateijka Guy, Michel Radoux**, Professeurs associés à l'université Senghor pour leurs précieux conseils pour l'élaboration de ce travail ;

A Mme **Dominique Boivin**, Ingénieur à Hydro-Québec, toute ma reconnaissance pour avoir conduit mon stage, et ses conseils pour ce travail ;

A Mr **Jean Hébert**, Docteur à Hydro-Québec, toute ma reconnaissance pour sa disponibilité, ses conseils, et pour la coordination qu'il a assuré entre Hydro-Québec et l'université Senghor ;

A Mr **Fernand Texier**, Recteur de l'université Senghor ;

A Mr **Fred Constant**, ancien Recteur de l'Université Senghor, pour son dévouement pour notre formation sous son mandat;

A Mr **Ragay Mashaly**, ancien Directeur du département de Gestion de Systèmes de Santé et Politiques Alimentaires, pour son accueil, son encadrement au début de notre formation ;

A Mr **Mésange Christian**, Directeur du Département de Gestion de Systèmes de Santé et Politiques alimentaires ;

A Mme **Alice Mounir** et Haidy KASSEM, Secrétaires exécutives dudit Département ;

A tout le personnel de l'université Senghor, notre reconnaissance pour la coopération et la disponibilité dont ils ont fait preuve.

A tous les collègues de la neuvième promotion, pour ces instants que nous avons passé ensemble et échangé les connaissances, mes remerciements ; que l'*Éternel* notre *Créateur* soit en tout temps avec nous et que cette formation nous apporte les meilleurs fruits.

AVANT-PROPOS

L'université Senghor est une institution de formation professionnalisante dans les domaines du développement. Cette formation est destinée aux cadres du monde francophone en général et aux cadres du continent africain en particulier.

Dans les perspectives d'œuvrer pour le développement de mon pays et de l'Afrique en général, nous avons suivi la formation au département de Gestion des Systèmes de Santé et de Politiques Alimentaires. Au terme de cette formation, il nous a paru important de mener une réflexion sur une problématique qui concourt à offrir un meilleur état de santé aux populations.

Dans ce cadre, nous avons donc choisi de travailler sur les « stratégies de prévention de l'intoxication liée au cadmium », compte tenu du niveau d'émission élevé de ce métal lourd au Togo, émission due à l'exploitation des phosphates du Togo. Les pathologies liées aux activités anthropiques sont souvent perçues comme insignifiantes; mais elles contribuent pour une grande part à augmenter la mortalité et la morbidité des populations.

Cette réflexion essentiellement a pour rôle de fournir des éléments de stratégies pour réduire les risques de contamination au cadmium, suite aux activités d'exploitation des phosphates dans la région sud du pays.

Nous préconisons, pour une gestion plus équitable et durable, que l'État se dote de moyens législatifs efficaces en matière de pollution et d'œuvrer pour leur application afin de pouvoir offrir aux populations le bien-être recherché. Nous espérons que cette réflexion pourra servir au Togo ou ailleurs en Afrique.

TABLES DES MATIÈRES

<i>DEDICACES</i>	II
REMERCIEMENTS.....	III
AVANT-PROPOS.....	V
TABLES DES MATIÈRES À REFAIRE.....	VI
LISTE DES TABLEAUX	IX
LISTE DES FIGURES.....	IX
SIGLES ET ABBREVIATIONS.....	X
INTRODUCTION	1
PREMIÈRE PARTIE	
PROBLÉMATIQUE ET CADRE THÉORIQUE DE L'ÉVALUATION TOXICOLOGIQUE.....	5
CHAPITRE I : PROBLÉMATIQUE	6
CHAPITRE II : CADRE THÉORIQUE DE L'ÉVALUATION TOXICOLOGIQUE D'UNE SUBSTANCE DANS L'ENVIRONNEMENT ET TOXICITÉ DU CADMIUM.....	9
1- ÉVALUATION TOXICOLOGIQUE D'UNE SUBSTANCE.....	10
1-1- Principes fondamentaux de l'évaluation toxicologique.....	11
1-2 Démarche de l'évaluation toxicologique.....	12
1-2-1 L'identification du danger.....	12
1-2-2 Caractérisation toxicologique	14
1-2-3 Estimation des expositions	15
1-2-3-1 La durée d'exposition	15
1-2-3-2 La fréquence d'exposition.....	15
1-2-3-3 La concentration d'exposition dans les milieux pertinents.....	16
1-2-4 Estimation du risque.....	17
2- DONNÉES TOXICOLOGIQUES SUR LE CADMIUM	19
2-1- Généralités sur le cadmium.....	19
2-2- Toxicité du cadmium	20
2-3 Exposition de l'homme au cadmium et les effets sur la santé.....	21
2-3-1- Milieux d'exposition de l'homme au cadmium	21
2-3-1-1 Contamination de l'air	22
2-3-1-2 Contamination du sol.....	22
2-3-1-3 Contamination de l'eau.....	23
2-3-2 Les voies d'entrée du cadmium dans l'organisme humain	23
2-3-2-1 La voie orale.....	23
2-3-2-2 L'inhalation.....	24
2-3-2-3 La voie transplacentaire	24
2-3-2-4 La voie cutanéomuqueuse	24
2-3-3 Les effets sur la santé.....	24
2-3-3-1- Les effets non cancérogènes.....	25
• Les maladies pulmonaires chroniques.....	25

• Les effets neurologiques.....	25
• Les maladies du rein	25
• Les autres problèmes liés à l'intoxication par le cadmium	25
2-3-3-2- Les effets cancérigènes	26
• Chez les animaux.....	26
• Chez l'homme	27

DEUXIÈME PARTIE

STRATÉGIES D'INTERVENTION	28
---------------------------------	----

CHAPITRE I : RÉCUPÉRATION ET GESTION DES MATIÈRES DANGEREUSES	29
---	----

À HYDRO - QUÉBEC	29
------------------------	----

1- GÉNÉRALITÉ SUR LES MATIÈRES DANGEREUSES RÉSIDUELLES	29
1-1 Définitions.....	30
1-2 Classification des matières dangereuses	30
1-2-1 Les matières explosives.....	30
1-2-2 Les substances gazeuses	31
1-2-3 Les substances inflammables	31
1-2-4 Les comburants et peroxydes organiques	32
1-2-5 Les substances toxiques et matières infectieuses	32
1-2-6 Les substances radioactives.....	32
1-2-7 Les substances corrosives.....	32
1-2-8 Les matières lixiviables.....	33
2- CYCLE GLOBAL DE GESTION DES MATIÈRES DANGEREUSES AU CANADA.....	34
3- PRODUCTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES DANGEREUSES À HYDRO-QUÉBEC.....	36
3-1 Les matières solides	36
3-2 Les matières liquides.....	37
3-3 Les matériaux divers	37
4- PROCÉDURE DE RÉCUPÉRATION	37
4-1 Classification des matières résiduelles dangereuses	38
4-2 Matériel de récupération	38
4-2-1 Les affiches	39
4-2-2 Les contenants	39
4-2-3 Utilisation de matériel de protection ou de prévention.....	39
4-3 Emplacement de la zone de récupération.....	40
4-3-1 La zone de récupération temporaire.....	40
4-3-2 La zone permanente de récupération.....	41
4-4 Étiquetage	41
4-4-1 Étiquette d'identification des matières résiduelles dangereuses	42
4-4-2 Étiquette de transport de matières dangereuses	42
4-4-3 Les autres étiquettes	43
5- AUTRES ASPECTS DE LA GESTION DES MATIÈRES DANGEREUSES	43
5-1 La gestion des contenants pleins	43
5-2 Le transport des matières dangereuses résiduelles	44
5-3 L'inspection d'une zone de récupération des matières dangereuses résiduelles	44
5-4 Le démantèlement de la zone.....	44
6- LA GESTION DES DÉCHETS DE CADMIUM À HYDRO- QUÉBEC.....	45

CHAPITRE II : GESTION DU PROBLÈME DE CADMIUM AU TOGO	46
--	----

1- SOURCE DE CONTAMINATION PAR LE CADMIUM AU TOGO	46
2- MISE AU POINT DE STRATÉGIES.....	48
2-1 Élimination du cadmium dans l'eau de rejet	49
2-1-1 Traitement primaire.....	50
2-1-1-1 La décantation- sédimentation	50

2-1-1-2	<i>Coagulation- floculation- décantation</i>	51
2-1-2	<i>Traitement secondaire</i>	52
2-1-3	<i>Traitement tertiaire</i>	53
2-1-3-1	Réactions de précipitation et d'absorption	53
2-1-3-2	La cémentation	53
2-2	<i>Gestion des boues</i>	54
2-3	<i>Élimination du cadmium de l'eau potable</i>	55
2-4	<i>Contrôle du cadmium dans les aliments</i>	56
2-5	<i>Le cadmium dans l'air</i>	57
2-6	<i>Autres stratégies</i>	58
2-6-1	<i>Prévention dans la population</i>	58
2-6-2	<i>Prévention chez les enfants</i>	59
2-6-3	<i>Prévention et surveillance chez les travailleurs</i>	59
	RECOMMANDATION	61
	CONCLUSION	63
	RESUME	65
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	67

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I: NORMES FIXÉES POUR LES CONTAMINANTS (MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, QUÉBEC, 2003).....	33
TABLEAU II: RÉCAPITULATION DE LA CLASSIFICATION DES SUBSTANCES DANGEREUSES	34
TABLEAU III : RÉPARTITION DE LA POPULATION PAR PROFESSION (SOURCE KINVI, 2000).....	48

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : CHAÎNE COMPLÈTE DE L'ÉTUDE D'UNE SUBSTANCE.....	11
FIGURE 2 : CYCLE DE GESTION DES MATIÈRES DANGEREUSES.....	36
FIGURE 3 : CHAÎNE DE TRAITEMENT DE L'EFFLUENT INDUSTRIEL.....	51
FIGURE 4 : CHAÎNE SIMPLIFIÉE DE TRAITEMENT DE L'EAU POTABLE.....	57

SIGLES ET ABREVIATIONS

ATSDR : Agency for Toxic Substances and Diseases Registry

BPC : Biphényles Polychlorés

Cd : cadmium

CICR : Centre International de Recherche sur le Cancer

CRMD : Centre de Récupération des Matières Dangereuses

EPA : Environmental Protection Agency

HEAST : Health Effect Assessment Summary Tables

HQ : Hydro-Québec

Hz: hertz

IFG-TOGO : International Fertilizers Group-TOGO

IRIS : Integrated Risk Information System

LOAEL : Lower-Observed-Adverse Effect Level

MD : Matière Dangereuse

MDR : Matière Dangereuse Résiduelle

MES : Matières En Suspension

MR : Matière Résiduelle

MSSS : Ministère de la Santé et des Services Sociaux (Québec, CANADA)

NOAEL : Non-Observed-Adverse Effect Level

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OTP : Office Togolais des Phosphates

RMD : Règlement sur les Matières Dangereuses

SACO : Substances Appauvrissant la Couche d'Ozone

TH : Titre Hydrotimétrique

VTR : Valeur Théorique de Référence

WHO : World Health Organisation

INTRODUCTION

La santé environnementale est devenue une problématique majeure en santé publique. Sa défaillance accroît considérablement la mortalité et la morbidité des populations.

Les problèmes de santé environnementale découlent de la dégradation de l'environnement et des écosystèmes qui soutiennent la vie. Ces problèmes se manifestent sous diverses formes de pollution : pollution de l'air, de l'eau, du sol et contamination des aliments.

La nature, de point de vue originel, nous fait courir certains risques, mais les effets dus aux activités anthropiques viennent augmenter les risques pour la santé de l'homme et la dégradation des écosystèmes. Les modifications du milieu naturel entraînées par les activités humaines ont des impacts soit directs (milieux professionnels) soit indirects (via l'environnement) sur la santé des populations.

Depuis quelques décennies, l'homme a mis au point de nombreuses substances chimiques pour augmenter son niveau de vie. Désormais dans une même catégorie de substances, on compte par milliers le nombre de substances mises au point. Ces substances ne sont pas sans effets sur la santé de l'homme et son l'environnement. On peut les classer en plusieurs groupes dont les plus importants sont :

- les gaz à effet de serre : méthane (CH₄), le dioxyde de carbone (CO₂),
- les pesticides de types organophosphorés, organochlorés, carbamates, les fongicides et les fumigants,
- les SACO (substances appauvrissant la couche d'ozone),
- les huiles minérales,
- les BPC (chlorures biphényles), les furannes, les dioxines, etc.

Par ailleurs les substances naturelles, qui existaient dans un état d'équilibre avec l'homme et l'environnement, sont actuellement retrouvées à des niveaux élevés entraînant des effets indésirables sur la santé de l'homme, du fait des activités de l'homme. Elles atteignent l'homme par la chaîne alimentaire ou autres médias d'entrée. Leur présence à proximité de l'homme est à l'origine de plusieurs intoxications ou affections. Les niveaux d'exposition observés sont capables de provoquer plusieurs dysfonctionnements chez

l'homme et les animaux. Les expositions se situent sur les lieux de travail que dans les zones de résidences. Les groupes les plus sensibles, les enfants et autres catégories (personnes âgées, personnes malades), sont les plus touchés.

Toutes ces substances possèdent chacune une toxicité intrinsèque et sont susceptibles d'affecter la santé des hommes dans les régions où elles sont rencontrées.

La répercussion de ces substances sur la santé constitue un problème de santé publique majeur et accroît le taux de mortalité.

On assiste à plusieurs phénomènes d'exposition de l'homme.

L'exemple de l'effet de serre, résultat de changements climatiques, se manifeste par le piégeage de rayonnements solaires normalement retournés dans l'atmosphère sous forme de rayons infrarouges (Guérin, 2003). Ce phénomène est dû à l'émission en quantité importante de gaz, dits « à effet de serre », provenant des activités anthropiques : le méthane (CH_4), le dioxyde de carbone (CO_2), les composés fluorés, l'oxyde nitreux (NO_x). Plusieurs conséquences sur la santé observées sur la terre sont attribuées à ces changements climatiques en l'occurrence le risque accru de brûlures, le vieillissement prématuré de la peau, le cancer cutané, les cataractes et les atteintes immunitaires (Guérin, 2003).

Depuis les années 1970, la pollution des eaux par les métaux lourds a été découverte et constitue depuis lors une menace pour la santé publique. Les métaux lourds sont impliqués dans la contamination de l'homme par plusieurs médias d'exposition (air, eau, sol, aliments). Le plomb, l'arsenic (Allan, 2000), le cadmium sont devenus des composés couramment rencontrés dans l'environnement proche de l'homme. Ces éléments provoquent plusieurs perturbations fonctionnelles chez l'homme.

Les menaces pour la santé de l'homme se caractérisent aussi par la pollution chimique des sols. En effet l'épandage des sols avec des boues non-décontaminées de métaux lourds et autres substances provoque la contamination des cultures avec ces éléments indésirables qui se retrouvent dans les organismes, qui naturellement, n'ont ni besoin d'eux pour leur développement ni pour leur fonctionnement. Ces éléments provoquent chez ces organismes plusieurs perturbations : neurologiques, endocriniennes et de

croissance.

D'autres éléments chimiques comme le manganèse, sont retrouvés en quantités parfois importantes dans plusieurs médias (air, eau, aliments) sont associés ou sont à l'origine de diverses pathologies chez l'homme telle que la maladie de parkinson.

Les insecticides sont devenus plus nombreux et leur usage plus fréquent, entraînant des résistances chez les espèces ciblées. Les pesticides et autres groupes de substances chimiques contaminent l'homme et les aliments avec des quantités de résidus élevés. Ces composés en général non biodégradables s'accumulent dans l'environnement et contaminent les différents compartiments. Les résidus de ces composés gagnent en fin de course les chaînes alimentaires et contaminent les être vivants et l'homme en particulier.

Parfois la production de quantité élevée des déchets dangereux et les techniques de gestion inadéquates ont rendu les zones et les sites d'enfouissement de ces déchets impropres à l'agriculture et à l'habitation. Ces substances déversées dans l'environnement contaminent l'eau, l'air, le sol, les aliments et atteignent l'homme par la chaîne alimentaire. Les déchets enfouis sont à la base de la contamination de plusieurs nappes phréatiques, rendant ces dernières impropres à la consommation.

Aucune région de la terre n'est plus dispensée de ces pollutions du fait de la dissémination des polluants par divers mécanismes (vents, lessivage, lixiviation, infiltration, épandage). Il est donc nécessaire de procéder à une prise de conscience pour limiter cette dissémination et contamination de composés toxiques pour l'homme.

L'accumulation ubiquitaire de substances chimiques toxiques dans les milieux représente un potentiel significatif pour l'équilibre des écosystèmes et la santé de l'homme. La proportion de maladies dues à la pollution chimique connaît une montée fulgurante dans les régions à haut niveau de pollution.

Divers secteurs industriels sont donc à l'origine de maladies liées aux substances chimiques, qui en fait peuvent être réduites voir annihilées si cette industrialisation s'accompagne d'une bonne gestion des déchets émis, d'une évaluation de risques

sanitaires liées aux substances susceptibles d'être émises, et d'une prise de mesures préventives pour réduire le risque toxicologique de ces substances.

Dans son livre "Toxemia explained", le médecin américain John H. Tilden fait remarquer que "ce qu'on désigne par maladie n'est autre que les efforts de la nature à éliminer des poisons du corps. Toutes les maladies traduisent des crises dues à l'accumulation d'intoxications, ce qui englobe naturellement les substances nocives de tout genre". L'élimination de tous ces toxiques dans le but d'assainir notre milieu biologique (corps et environnement) doit constituer un élément essentiel dans la recherche du bien-être des populations.

Il apparaît donc nécessaire de nos jours d'intégrer la gestion des risques et leur prévention par des moyens adaptés au processus d'industrialisation pour maintenir une bonne qualité de vie. Il s'agit d'évaluer le niveau de risques que les installations industrielles engendrent ou sont susceptibles d'engendrer, et la réversibilité des évolutions probables. Cette évaluation permet d'imaginer tous les scénarios mettant en évidence les voies de contamination, de déterminer les niveaux d'exposition et le bruit de fond.

Elle fait aussi appel à la recherche de réponses technologiques réduisant fortement ou supprimant les risques à leurs sources ou un mode de gestion adéquate de déchets résiduels issus de fonctionnement. Ceci permettra d'assurer la protection de l'homme par la recherche de méthodes les plus adéquates de gestion de déchets résultants.

Le présent travail vise à produire des propositions de stratégies en réponse au problème de pollution du cadmium causé par l'exploitation de mine de phosphates au Togo. Il est subdivisé en deux parties. La première pose la problématique de la contamination au cadmium au Togo puis aborde la démarche scientifique de l'évaluation toxicologique des substances toxiques et présente une revue bibliographique sur les recherches menées sur le cadmium. Dans la seconde partie nous présentons l'expérience acquise sur la gestion des matières dangereuses résiduelles à Hydro-Québec puis les stratégies envisagées pour réduire le risque de contamination au cadmium dans le cas du Togo avec les recommandations qui y sont nécessaires.

Première partie :

**Problématique et cadre théorique de l'évaluation
toxicologique**

Chapitre I : PROBLÉMATIQUE

La recherche de la qualité de vie meilleure a fait naître plusieurs activités qui engendrent en quantité et en nombre croissant les déchets et résidus de fonctionnement.

La diversification et l'augmentation de la quantité de polluants rejetés sans traitement détériorent grandement l'environnement en particulier le milieu aquatique et engendrent des risques pour la santé humaine. Plusieurs substances chimiques, naturelles et de synthèse, sont actuellement rencontrées dans le monde.

Partout ailleurs dans le monde la recherche d'intervention en amont pour prévenir toute situation indésirable de ces substances est devenue la stratégie de meilleur choix. Les organisations gouvernementales et internationales, des entreprises tentent d'intégrer cette stratégie dans leur politique pour offrir une santé meilleure à tous les hommes.

Cette stratégie se caractérise par la recherche de technologies plus protectrices de l'homme, intégrant les questions de santé et de la préservation de l'environnement.

Au Togo, plusieurs problèmes de santé publique majeurs se posent comme partout ailleurs dans le monde et particulièrement dans les pays en développement. Les maladies infectieuses (paludisme, VIH/SIDA, maladies diarrhéiques, méningites, etc) et la malnutrition sont les plus fréquentes et meurtrières. Le problème de pathologies d'origine chimique lié à la pollution paraît insignifiant. Mais ces dernières contribuent aussi pour une grande part à fragiliser la santé des populations et accroître ainsi la mortalité et la morbidité dans les régions fortement exposées aux pollutions.

Le Togo est un pays producteur de mine de phosphates, dont le site d'exploitation se trouve dans le sud du pays (sites d'Hahotè et de Kpogamé). Ce minerai contient une forte proportion de cadmium. L'extraction et la purification de ce minerai entraînent le rejet d'importantes concentrations du cadmium qui contamine l'environnement et atteint l'homme par divers médias.

Les pathologies associées à l'intoxication au cadmium sont parmi les effets les plus connus et les plus redoutables, provoqués par les métaux lourds et la pollution chimique d'une façon générale. On note dans cette région plusieurs signes cliniques (présomptifs),

témoins d'une intoxication au cadmium : coloration jaune des dents, perte prématurée des dents (employés) et aussi la fréquence (taux élevé) de maladies respiratoires dans la population en général et particulièrement parmi les employés de l'usine.

Selon une étude de la banque mondiale (1998), les eaux de lavage des phosphates du Togo renferment une concentration de 0,328 mg/l, soit un rapport de 3 avec la norme de la banque mondiale ou 65 fois la norme tunisienne. Le rejet du cadmium est estimé à 5,58 tonnes par an, ce qui représente une quantité énorme (Banque mondiale 1998).

De plus, lors du séchage des phosphates lavés et du stockage, de fines particules de poussières se dégagent et se répandent dans l'environnement. On note d'importantes masses de poussière au-dessus des usines de séchage. Ceci constitue également une voie importante d'exposition de la population des travailleurs et de la population en général et certaines plantes cultivées dans la région.

L'absence d'études sur la santé des populations en relation avec la présence de cadmium dans la région ne permet pas de mettre en évidence la relation entre l'état de santé de la population et la source mise en cause. Néanmoins, l'intoxication au cadmium est une réalité connue depuis plusieurs décennies dans le monde scientifique et qui interpelle tous les acteurs, la population, l'entreprise, le gouvernement et les hommes de santé publique.

Les grandes entreprises ont appris qu'une bonne gestion de l'environnement, malgré les coûts apparents, permet d'obtenir des avantages tangibles et intangibles. **Elles ont fait de la protection de la santé et la gestion adéquate des matières dangereuses le point focal de leur politique.**

C'est l'exemple de la société Hydro- Québec au Canada, au cours de différents processus de fonctionnement, produit de nombreuses substances chimiques résiduelles dangereuses dont le cadmium (électrodes d'accumulateurs). Cette compagnie a établi un plan de gestion de ces substances résiduelles dangereuses en conformité avec les règlements provincial et fédéral en matière de récupération de substances dangereuses résiduelles pour éviter la contamination de l'environnement et l'atteinte à la santé de l'homme.

C'est dans l'esprit de fournir des stratégies de maîtrise de danger et de prévention des risques liés à l'exploitation des phosphates du Togo, nous avons effectué un stage de formation dans cette institution, unité expertise en environnement pour nous inspirer de sa politique de gestion des matières dangereuses résiduelles.

La démarche de notre travail consiste à une explication de la démarche de l'évaluation toxicologique des substances et la toxicité du cadmium, puis une brève présentation de la transcription des règlements provincial et fédéral en procédure de récupération des substances dangereuses résiduelles à Hydro-Québec. En suite nous avons identifié les différentes méthodes permettant de réduire le niveau de risque lié à l'intoxication au cadmium dans le cas du Togo.

Chapitre II : CADRE THÉORIQUE DE L'ÉVALUATION TOXICOLOGIQUE D'UNE SUBSTANCE DANS L'ENVIRONNEMENT ET TOXICITÉ DU CADMIUM

L'omniprésence des substances toxiques dans le environnement de l'homme et les effets néfastes que ces substances sont susceptibles de causer à la santé ont conduit l'homme à concevoir une démarche de **l'évaluation de risques** liés à ces substances, afin de prendre des mesures de correction ou de prévention.

Jadis l'évaluation des risques liés aux substances était basée sur leurs caractéristiques intrinsèques (effets nuisibles) sans prendre en considération les facteurs d'exposition des populations, les effets des mélanges et le devenir de ces substances dans l'environnement.

De nos jours l'évaluation de l'effet toxicologique des substances 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 (a)).

Selon l'Académie de Sciences (USA en 1983) (Laure, 2003), **l'évaluation de risques** est un maillon de la chaîne d'une étude complète d'une substance dans un milieu. Cette chaîne comprend la recherche ou l'identification d'une problématique, l'évaluation des risques liés à la présence d'une substance et la gestion des risques liés à cette substance (Figure 1).

Cette séquence débute par l'identification d'une situation défavorable à la santé de l'homme, suivie de l'évaluation des risques qui y sont liés et en fin l'adoption de mesures correctives du problème identifié. (Curtis, 2001; Laure, 2003).

L'évaluation de risques est une étape essentielle car elle précède la gestion de risques ou la mise en œuvre de mesures de correction.

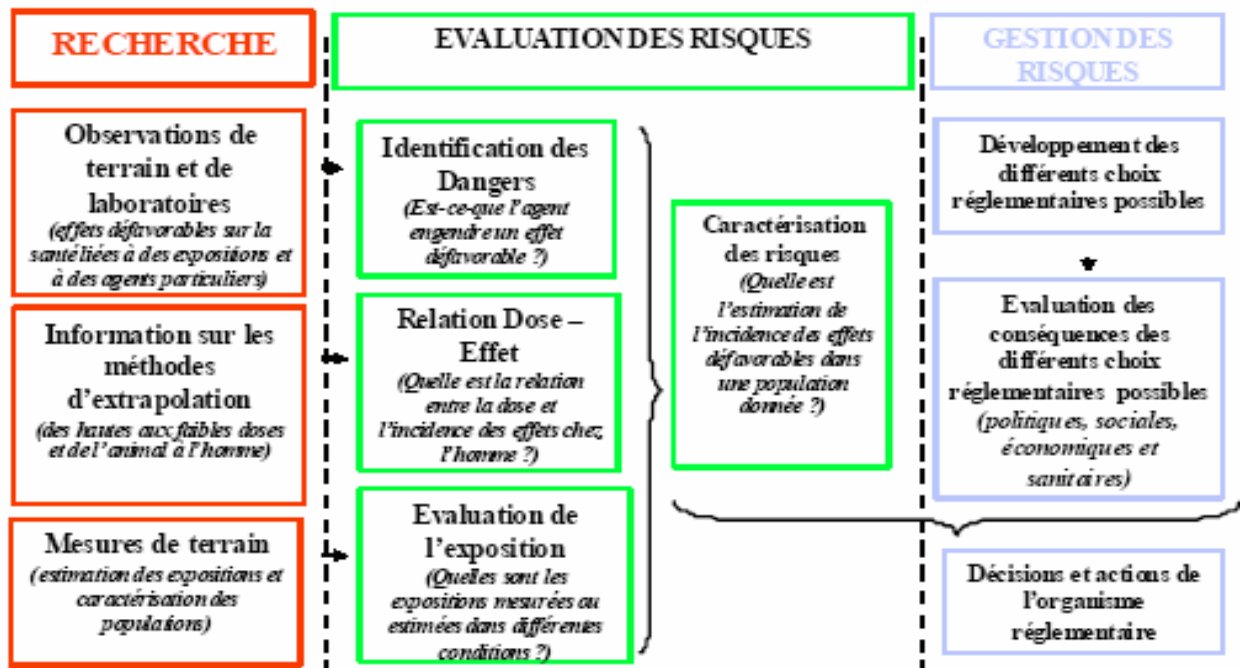


Figure 1 : Chaîne complète de l'étude d'une substance (Source INERIS, 2003)

1- Évaluation toxicologique d'une substance

Les substances sont de nos jours omniprésentes dans notre environnement du fait des activités de l'homme et des mouvements de dissémination que ces substances subissent. Elles ont certes rendu la vie facile et agréable, mais elles ont aussi fait naître de nouveaux dangers. Du fait de la dissémination les substances sont devenues présentes là où elles n'étaient pas ou on observe une augmentation de leur concentration dans les lieux où elles existaient peu; ceci est à l'origine des perturbations de l'équilibre de la santé de l'homme avec son environnement (Guérin, 2003).

Elles sont réputées pour les intoxications aiguës (forte concentration pendant un temps d'exposition court), et sont aussi mises en cause dans le cancer et des effets neurotoxiques, dans les troubles de reproduction ou de croissance, dans le dysfonctionnement du système cardio-vasculaire du fait des expositions pendant une fraction importante de la durée de vie (Laure, 2003).

L'objectif de l'évaluation toxicologique est la détermination de la probabilité qu'une

exposition à un ou à plusieurs agresseurs environnementaux, d'origine chimique, physique ou biologique, produise 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, sociaux, politiques, culturels) (Laure, 2003).

1-1- Principes fondamentaux de l'évaluation toxicologique d'une substance

Cette partie présente les principes qui posent les bases de l'évaluation toxicologique des substances. L'évaluation toxicologique est régie par plusieurs principes conduisant à un résultat cohérent, qui a le mérite de consensus scientifique; l'interprétation de ces résultats permet une prise de décision sur les sources d'émission et les risques qui y sont liés.

Ces principes définissent le déroulement de l'évaluation toxicologique, les différentes étapes et les relations entre les différents acteurs. Ils peuvent varier d'une région à une autre ou selon les organismes gouvernementaux et internationaux mais ont le même objectif. Deux principes directeurs occupent une place de choix dans la démarche d'évaluation toxicologique du Ministère de la Santé et des Services Sociaux du Québec-Canada (MSSS).

Le premier principe directeur de l'évaluation du risque toxicologique pour la santé humaine et environnementale du MSSS, annonce que « le processus d'évaluation et de gestion du risque toxicologique constitue une démarche intégrée, tant au plan scientifique qu'au plan de l'association des acteurs » (MSSS Québec, 2002 (b)).

Ce principe indique l'importance de l'intégration de tous les acteurs et de toutes les étapes de l'évaluation de risque toxicologique pour la santé humaine et de la gestion de risque.

La prise en compte de la perception du public et des populations concernées dans la problématique de l'identification du danger constitue un indicateur de participation de tous les acteurs. L'intégration des acteurs est un processus incontournable et indispensable pour une bonne évaluation toxicologique (Laure, 2003).

L'évaluation toxicologique ne détermine pas qu'un risque est acceptable ou non, mais elle permet d'éclairer l'opinion du public sur la situation à analyser; et d'intégrer celle-ci dans la recherche de solution. Elle permet de proposer des mesures qui tiennent compte de l'opinion du public. Cet aspect d'analyse du problème accompagne la démarche scientifique

qui détermine le niveau d'exposition auquel la population est confrontée (MSSS Québec, 2002 (b)).

Le deuxième principe fondamental affirme que «l'évaluation de risque toxicologique doit reposer sur de solides fondements scientifiques et sur les meilleures connaissances disponibles» (MSSS Québec 2002 (b)). Ce principe pose le fondement scientifique de l'évaluation toxicologique. L'évaluation du risque toxicologique utilise une démarche scientifique qui se base sur des principes et des connaissances scientifiques exactes et ne relève pas de la supposition ni de la supercherie.

1-2 Démarche de l'évaluation toxicologique

Toutes les organisations scientifiquement reconnues comme IRIS (Integrated Risk Information System), ATSDR (Agency of Toxic Substances and Disease Registry), HEAST (Health Effects Assessment Summary Tables) s'accordent à reconnaître la démarche de l'évaluation de risques en quatre étapes (MSSS Québec, 2002 (a)). Elle comprend :

- l'identification du danger;
- la caractérisation toxicologique ou estimation des relations dose / réponse;
- l'estimation des expositions;
- la caractérisation du risque ou estimation du risque.

Cette démarche peut être réduite à deux étapes selon les situations et les substances à évaluer.

Un 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 est un effet sanitaire indésirable lié à un agent (Laure, 2003).

L'évaluation 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.

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 organismes 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 ou d'une incapacité, d'un décès (Laure, 2003; MSSS Québec, 2002 (a)). Il peut être d'origine biologique (microbe, virus, protozoaire) ou chimique (une molécule ou mélange de molécules) (Laure, 2003).

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 de 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.

Cette étape consiste à analyser les différentes phases du procédé qui est à l'origine du contaminant ou les contaminants susceptibles d'être émis et mis en contact de la population ou les sources d'émission (MSSS Québec, 2002 (a)).

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 d'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 cancérigènes, le dysfonctionnement du système reproduction et/ou de développement (Curtis, 2001).

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 cancérigènes ou à des estimateurs de risque pour les substances cancérigènes. Ces valeurs sont souvent établies par des organismes

internationaux ou gouvernementaux scientifiquement comme IRIS, ATSDR, HEAST, Santé Canada et OMS.

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 sont plus toxiques. La sensibilité inégale des populations (facteur de confusion) peut être un frein à des résultats concluants (en fonction de l'âge, le sexe, le statut immunologique), d'où la nécessité de détermination de groupe sensible s'impose. L'absence de valeurs de référence ou d'estimateurs de risque disponibles peut rendre la comparaison difficile.

1-2-2 Caractérisation toxicologique

Elle indique la relation entre la dose ou le niveau d'exposition à une substance et l'incidence ou la gravité de l'effet sur la population cible (MSSS Québec, 2002(a)). On distingue deux situations selon les substances.

- Pour les substances non cancérogènes, il existe un effet seuil correspondant aux valeurs toxicologiques de référence qui sont des doses pour lesquelles un individu peut être exposé sans risque d'apparition d'effets autres que le cancer (NOAEL¹, LOAEL²).
- Pour les substances cancérogènes, il n'existe pas d'effet seuil. On détermine un excès de risque unitaire³. La comparaison est faite avec des estimateurs de risque de cancer.

Cette étape est caractérisée par l'utilisation des valeurs de références établies par IRIS, ATSDR, HEAST ou OMS.

¹ Non-Observed-Adverse-Effect-Level

² Lower-Observed-Adverse-Effect-Level

³ Pente de la droite théorique correspondant à la courbe dose-réponse établie par les organismes comme IRIS, ASTDR

1-2-3 Estimation des expositions

Elle consiste à déterminer les voies d'exposition (permanente ou temporaire), la fréquence et ou la durée d'exposition, les médias, le niveau d'exposition (concentration ou dose) à une substance. Cette estimation peut être qualitative ou quantitative (MSSS Québec, 2002 (a)).

L'estimation qualitative recherche les voies d'entrée ou d'exposition du contaminant : inhalation, ingestion ou contact cutané. Elle permet de caractériser la population : ses habitudes alimentaires, sa culture, ses activités, l'âge ou le sexe. Ces facteurs sont susceptibles d'influencer l'exposition.

L'estimation quantitative a pour objectif de déterminer la concentration de la substance dans un milieu biologique (le sang, le rein) ou dans l'environnement à l'aide de la modélisation des concentrations dans l'environnement. Elle analyse les différents facteurs d'exposition (Laure, 2003).

1-2-3-1 La durée d'exposition

En fonction de la durée d'exposition on distingue deux cas :

- L'exposition aiguë où la durée est comprise entre **0 et 14 jours**. Elle est liée à des activités saisonnières (baignage, traversée) ou à un dysfonctionnement d'installation (brise de conduit de polluant, exposition accidentelle);
- L'exposition chronique de durée supérieure à **15 jours** ou plus d'une année. Elle est continue ou récurrente et s'effectue pendant une fraction importante de la durée de la vie (MSSS Québec, 2002 (a)).

On distingue aussi des expositions sub-chroniques, ou des expositions variant de chroniques très fortes à des expositions aiguës fortes selon les cas.

1-2-3-2 La fréquence d'exposition

Elle est fonction du complexe espace- temps- activité et du principe de proportionnalité (poids corporel, surface corporelle). A temps d'exposition égal, en un même lieu et pour une même activité, le poids corporel ou la surface de contact a une influence sur la dose de polluant

absorbée (Laure, 2003).

L'espace est un facteur primordial car la concentration d'un contaminant varie selon la localisation par rapport à la source d'émission. La fréquence est forte lorsque l'activité émettrice de polluant est importante et dure dans le temps. Le temps passé en contact du polluant a une influence sur la dose journalière absorbée.

1-2-3-3 La concentration d'exposition dans les milieux pertinents

C'est la détermination de la concentration d'un polluant dans un compartiment de l'environnement ou dans un milieu spécifique d'un organisme vivant.

Elle permet d'évaluer l'exposition. Elle est faite par la mesure de la concentration dans les milieux pertinents, par échantillonnage dans la population et en fonction de l'affinité du polluant dans les microenvironnements de l'homme (sang, rein, poumon) ou soit dans les compartiments de l'exposition (l'air dans une salle, l'eau d'un effluent, un sol particulier, une plante dans un environnement donné). Elle peut être faite par biomarquage en utilisant des marqueurs biologiques (éléments radioactifs, éléments traceurs).

Il est possible d'exprimer la concentration d'un polluant dans un compartiment environnemental à l'aide de système de modélisation. Plusieurs facteurs sont utilisés mais les plus employés sont la dose journalière et la concentration inhalée (Laure, 2003).

- La dose journalière d'exposition (**D**) est la quantité de polluant à laquelle un individu est mis en contact en fonction de son poids corporel. Elle est exprimée par la relation :

$$\mathbf{D = C \times Q \times F / P}$$

C : Concentration de la substance dans le milieu (mg /l ou mg/m³ ou mg/kg)

Q : Quantité administrée ou ingérée par jour (l/j ou kg/j)

F : Facteur de temps d'exposition⁴

P : Poids corporel (kg p.c.)

⁴ Rapport de la durée d'exposition (jours) et la période de temps pour laquelle la dose est déterminée (jours)

- La concentration inhalée (**CI**) est liée à une exposition par inhalation (mg/m^3). Elle donnée par la relation :

$$\text{CI} = \sum (\text{Ci} \times \text{t}_i) \times \text{F}$$

CI : Concentration moyenne inhalée (mg/m^3 ou $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ci : Concentration du polluant dans l'air pendant la fraction de temps t_i (mg/m^3 ou $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

t_i : Fraction de temps d'exposition

F : Facteur de temps d'exposition

Les variables humaines d'exposition sont le poids corporel, la surface corporelle, le complexe activité-temps-occupation territoriale. Les voies d'exposition varient en fonction des polluants et en fonction des ressources utilisées par la population (MSSS Québec, 2002 (a)). La répartition de polluants dans les divers compartiments induit la voie d'entrée chez l'homme. L'utilisation ou la fréquence d'une ressource peut augmenter les chances d'induire une manifestation d'effet du polluant. La population en fonction de ses activités, de l'occupation territoriale (habitation), de la consommation d'aliments, du sexe ou de l'âge, peut être plus ou moins exposée à une substance.

Ces paramètres décrivent les scénarios d'exposition et permettent de calculer la dose journalière d'exposition. Le scénario est un schéma conceptuel qui permet de définir à partir des émissions des rejets, les voies de passage des polluants dans les différents compartiments environnementaux ou vers les populations cibles. Il peut être représenté par la séquence suivante : **source- vecteur- cible**.

Ce scénario englobe les points d'exposition, les modes de transmission des polluants et les voies d'administration du polluant.

1-2-4 Estimation du risque

Elle consiste à quantifier le risque et à évaluer les incertitudes liées à cette quantification. Le risque est quantifié par rapport aux valeurs de référence ou à des estimateurs de risque. Le risque (produit de l'exposition et du danger) peut être quantifié selon le type de substance:

- Pour les substances non cancérigènes, on établit un indice de risque (**IR**) qui permet de déterminer la probabilité de survenue de l'effet toxique. Il exprime le nombre d'unité de risque. En général il est donné par la relation :

♦ **IR = D / VTR**

Dans le cas particulier de l'inhalation, il est exprimé par la relation :

♦ **IR = CI / VTR**

IR : indice de risque

VTR : valeur toxicologique de référence

CI : concentration inhalée

D : dose

- Pour les substances cancérigènes, on détermine l'excès de risque individuel (**ERI**) qui est la probabilité qu'un individu a à développer l'effet cancérigène associé à la substance pendant sa vie du fait de l'exposition considérée. Il peut être estimé par la relation:

♦ **ERI = D x ERU_o**

ERU_o = excès de risque unitaire par voie orale (mg/kg.j)⁻¹

ERU_o et ERU_i sont obtenus à partir des tables de IRIS ou ATSDR.

Pour l'exposition par inhalation, cette relation devient :

♦ **ERI = CI x ERU_i**

ERU_i = excès de risque unitaire par inhalation (µg/m³)⁻¹ dans le cas de l'inhalation.

Après l'étape d'estimation des expositions, il faut interpréter les résultats obtenus. Cette interprétation relève de la gestion de risque. Il existe de valeurs communément appelées ACCEPTABLES, établies par les organismes qui permettent la comparaison. Ces valeurs n'indiquent pas une absence d'effet toxique, car il n'existe aucune substance qui, même à de très faibles concentrations, présente un niveau de risque égal à zéro. Le concept de tolérance zéro est inapplicable dans la pratique.

Pour les substances non cancérogènes, lorsque l'indice **IR** < **1**, la probabilité d'apparition de l'effet est faible; tandis que pour les substances cancérogènes on a des estimateurs de risque (compris entre **10⁻⁴** et **10⁻⁶**) dont la valeur repère habituellement utilisée par IRIS et INERIS est **10⁻⁵** (Laure, 2003).

Dans l'interprétation, il est nécessaire de procéder à l'analyse des incertitudes, d'exposer les hypothèses liées à l'identification du danger et de l'évaluation d'exposition, le niveau de connaissances actuelles concernant la substance pour lever tout équivoque. Cette analyse permet de rapprocher les résultats de la réalité et de fournir des éléments de discussion. Elle expose aussi les limites du modèle d'acquisition de données et évoque les efforts supplémentaires à produire.

Toutefois l'évaluation de risque toxicologique est une démarche complète qui peut être adaptée aux circonstances, mais aussi à la substance qui est en étude.

2- Données toxicologiques sur le cadmium

2-1- Généralités sur le cadmium

Le cadmium est un métal relativement rare dans la croûte terrestre (0,1 à 0,2 ppm) et est le plus souvent associé au gisement de minerai de zinc et de plomb comme sous-produit. C'est un élément toxique, découvert en 1817 (Haguenoer, 1981).

Ses applications, autrefois réduites, connaissent aujourd'hui un élargissement fort considérable. Le métal cadmium, grâce à ses propriétés anticorrosives, est utilisé dans le plaquage par galvanoplastie et dans la soudure sur aluminium. C'est un constituant des alliages facilement fusibles. Il est aussi employé dans la gravure, dans les accumulateurs nickel-cadmium (plaques négatives d'accumulateurs) et dans les barres de contrôle des réacteurs (capteurs de neutrons) (Edouard, 2002).

Certains composés de cadmium (oxyde, hydroxyde et sels de cadmium) sont utilisés dans les écrans de télévision ou comme des colorants dans les glaçures et émaux et aussi dans la teinture et l'impression (encre d'imprimerie) ou dans la fabrication de semi-conducteurs et des redresseurs de courant alternatif (Lauwerys, 1999).

Le cadmium est aussi présent dans la céramique, les prothèses dentaires. Il est utilisé dans la

stabilisation de plastique, dans les caoutchoucs et préservatifs et est aussi employé en photographie. (Haguenoer, 1981).

L'exploitation minière (plomb, zinc) constitue une source importante de la pollution environnementale (Friberg, 1985; ATSDR).

2-2- Toxicité du cadmium

Plusieurs études s'accordent pour montrer que le cadmium est une substance potentiellement toxique lorsqu'elle entre dans l'organisme humain et chez les animaux. Divers effets pathogènes ont été mis en association avec la présence de cadmium chez les organismes vivants.

L'étude Thun et al. (1985) sur une cohorte de 602 employés, tous exposés pendant plus de six mois montre un excès de risque de cancer de poumons chez les employés de fonderie de cadmium. Elle montre en outre que l'exposition aux fortes concentrations de cadmium en milieu de travail est à l'origine du cancer.

Plusieurs estimations de risque lié à l'exposition au cadmium ont été faites. Elles ont pour but de déterminer les doses minimales susceptibles d'induire des effets nuisibles notables chez les êtres vivants.

En moyenne une exposition à des fumées de concentration comprise entre 40 à 50 mg/m³ de cadmium pendant une heure (soit 2400 à 3000 min-mg de Cd/ m³) ou une concentration de 9 mg/m³ pendant 5 heures est fatale pour l'homme (IRIS, 2004).

Barret et al. (1947) estiment qu'une dose-temps de 2500 min-mg Cd / m³ est fatale pour l'homme. De même Breton et al. (1966) ont montré qu'une exposition à 8,63 mg CdO / m³ d'air a provoqué la mort d'employés qui possédaient une concentration de 2,5 µg de cadmium par gramme des tissus de leurs poumons.

Les études faites par Holder (1980) et par Lemman et al., (1976) montrent que l'exposition des employés aux poussières est significativement associée au cancer de la prostate. Cependant la taille faible de l'échantillon de la population rend la corrélation trop élevée et donc limite la généralisation de ces résultats.

On peut néanmoins conclure que le cadmium, à des concentrations élevées ou pour des expositions prolongées, produit des effets nuisibles à la santé de l'homme.

2-3 Exposition de l'homme au cadmium et les effets sur la santé

La majeure source d'intoxication au cadmium de la population reste les aliments (Curtis, 2001). En effet les plantes qui contaminent l'homme, absorbent le cadmium du sol et sont aussi contaminées par les retombées des suspensions de l'air, les eaux d'irrigations contaminées qui y sont utilisées. Une autre source est constituée par les boues (Fouchécourt, 2001) et engrais chimiques utilisés pour la fertilisation agricole. Les boues peuvent contenir jusqu'à 1500 mg de Cd/ kg de matières sèches (Curtis, 2001). L'apport du cadmium par les engrais phosphatés est de 2 à 6 g de Cd/ha/an.

Sur les lieux de travail, la voie respiratoire peut être plus prépondérante selon l'activité et la ventilation des locaux.

Plusieurs études sont menées pour déterminer les valeurs limites admissibles ou acceptables en fonction des voies d'entrée du cadmium dans l'organisme. Les résultats sur l'homme ne sont pas accessibles pour les différents scénarios d'exposition et médias d'entrée, mais on se base sur des études faites sur les animaux afin de faire des extrapolations.

Ces extrapolations tiennent compte des conditions d'expérimentation (taille de l'échantillon, durée de l'exposition et autres facteurs de modification). EPA (Environmental Protection Agency) et OMS établissent à cet effet des tables des facteurs de modification pour obtenir des valeurs applicables à l'homme.

2- 3-1- Milieux d'exposition de l'homme au cadmium

L'exposition de l'homme se fait par contact avec trois milieux (l'air, eau, sol) qui sont indissociables. Le cadmium peut passer d'un milieu à un autre. Ces trois milieux déterminent les niveaux d'exposition complète dans un environnement (dose potentielle).

2-3-1-1- Contamination de l'air

Elle résulte de l'émission des vapeurs et des fumées des industries de raffinerie, de métallurgie et de purification des mines de zinc, de plomb ou de cuivre (Lauwerys, 1999). Les industries de fabrication d'acide sulfurique et de fertilisants sont aussi des sources importantes d'émission de cadmium. L'incinération des ordures ménagères municipales émet des quantités notables; de même les fumées et les cendres en vol sont des voies de contamination de l'air.

L'exploitation de carrière ouverte de gisement de phosphates riches en cadmium et le séchage des phosphates après lavage produisent aussi des fumées et poussières très fines en suspension renfermant du cadmium. On observe parfois des suspensions denses de poussières au dessus de la zone industrielle. Ces poussières entraînées par le vent, peuvent contaminer des régions éloignées.

2-3-1-2- Contamination du sol

Le cadmium existe en petite quantité dans le sol, mais la concentration peut être élevée dans les zones où des gisements miniers renferment du cadmium (gisement de plomb, zinc, phosphates). C'est un métal soluble dans le sol et absorbé avidement par certaines plantes dès que la concentration augmente (Verloo, 2003). Les plantes absorbent aussi le cadmium à partir des poussières déposées sur les feuilles. La contamination superficielle est surtout due à des dépôts de poussières en suspension ou au lessivage des poussières par la pluie. Elle peut aussi être due à un transport depuis des zones éloignées par des torrents ou par des vents.

Les pollutions par les fertilisants chimiques sont parfois très importantes. Des apports en engrais riches en cadmium contaminent les sols et peuvent atteindre des chaînes alimentaires. L'utilisation des boues d'épuration dans l'épandage des sols est aussi une source importante de contamination des sols. Ces boues non traitées contaminent les sols et les chaînes alimentaires.

2-3-1-3- Contamination de l'eau

La contamination de l'eau est faite par la dissolution de composés renfermant du cadmium. Les chlorures de cadmium et sulfates de cadmium sont les plus solubles. Cette contamination est aussi faite par la chute de poussières qui contaminent l'eau de surface. La dissolution de composés et l'infiltration dans les sols peuvent être à la base de la contamination des eaux souterraines. Les sources d'eau situées dans le voisinage de carrières d'exploitation de mines riches en cadmium sont susceptibles de renfermer d'importantes teneurs de cadmium.

2-3-2 Les voies d'entrée du cadmium dans l'organisme humain

2-3-2-1- La voie orale

C'est la voie la plus probable. Les médias d'entrée sont l'eau et les aliments. L'absorption gastro-intestinale est de 5 à 8 % (Curtis, 2001).

Les poissons et produits aquatiques sont une source majeure de cadmium diététique et peuvent contenir 100 à 1000 µg/kg. Les crustacés accumulent le cadmium à partir de l'eau sous forme de cadmium complexé par les peptides. Les viandes, poissons et fruits contiennent 1 à 50 µg /kg et les plus grandes concentrations se rencontrent dans le foie et rein ou rognon des animaux. Les grains de céréales contiennent 10 à 150 µg/kg (Curtis, 2001).

Cette absorption est induite par un apport déficient en calcium, en fer et en protéine. Un faible apport en calcium favorise sa complexion et accroît l'absorption du cadmium. La dose orale pour laquelle une protéinurie⁵ prononcée n'est pas observée, ou la dose orale la plus élevée pour laquelle aucun effet indésirable n'est observé (NOAEL) est de 5×10^{-4} mg / kg / jour dans l'eau de boisson (IRIS, 2004). La NOAEL indiquée inclut une exposition chronique de 10^{-3} mg / kg / jour dans la nourriture selon l'EPA (1985).

Pour les enfants et nourrissons, le lait maternel peut être une source importante selon l'exposition de la mère. Le lait maternel et le lait de vache contiennent en général moins de 1µg / kg de lait (Curtis, 2001).

⁵ Perte de protéines par les urines

2-3-2-2- *L'inhalation*

Le cadmium peut s'attacher à de fines particules et former des poussières. Ces poussières inhalées contaminent l'organisme. Le média d'entrée est l'air ambiant, les fumées et les vapeurs émises sur les lieux de travail ou les fumées de cigarette. Le taux d'absorption du cadmium par voie respiratoire est beaucoup plus grande (15 à 30 %) mais dépend de la nature du composé de cadmium inhalé, de sa concentration et de sa solubilité (Curtis, 2001).

L'absorption est de 50 % pour les fumées et vapeurs. Une cigarette contient 1 à 2 µg de cadmium, et environ 0,1 à 0,2 µg sont inhalés (Curtis, 2001).

Les études faites par Friberg (1950), montrent que des concentrations de 6,8 mg/m³ dans les poussières et fumées sont fatales pour l'homme (IRIS, 2004).

2-3-2-3- *La voie transplacentaire*

Une possibilité de contamination des enfants au cadmium par la voie transplacentaire est mise en évidence par plusieurs études. L'analyse de cadmium dans le sang de mère et du sang du cordon ombilical de 100 couples mère-enfant par Mokhtar et al. (2002) a montré que 70 % de la concentration du cadmium présent chez les mères est retrouvé dans le cordon ombilical, donc chez les enfants. Ceci a permis aux auteurs de conclure que le placenta jouerait un rôle de barrière à la transmission du cadmium aux enfants. Mais la présence de cadmium dans le cordon ombilical montre que la voie transplacentaire constitue aussi une voie de contamination des enfants au cadmium.

2-3-2-4- *La voie cutané-muqueuse*

Aucune étude ne démontre une possibilité de contamination du cadmium par voie cutané-muqueuse (Lauwerys, 1999; Haguenoer, 1981). Des manifestations d'eczéma allergique peuvent être associées.

2-3-3 Les effets sur la santé

Les effets nuisibles à la santé induits par le cadmium peuvent être regroupés en deux

catégories (les effets non cancérigènes et les effets cancérigènes), chez l'homme et chez les animaux.

2-3-3-1- Les effets non cancérigènes

Le cadmium est mis en cause dans divers troubles non cancérigènes chez l'homme. Les effets varient souvent en fonction de la source ou la voie de contamination.

- **Les maladies pulmonaires chroniques**

Les affections respiratoires sont les plus fréquemment rencontrées dans l'intoxication du cadmium. La gravité des troubles du système pulmonaire est fonction du temps d'exposition et de la concentration.

L'intoxication au cadmium entraîne une obstruction pulmonaire provoquant une bronchite chronique, une fibrose des voies aériennes basses, accompagnée de dommage alvéolaire aboutissant à un emphysème (Lauwerys, 1999). Le cadmium de l'air est mis en cause dans le dysfonctionnement du foie et du système immunitaire chez les rats et les souris. Aucune relation directe de ces effets n'a pu être établie chez l'homme (IRIS).

- **Les effets neurologiques**

La contamination au cadmium est mise en relation avec une détérioration de la coordination motrice. Le cadmium de l'eau est mis en cause dans le dysfonctionnement du système nerveux (Lauwerys, 1999).

- **Les maladies du rein**

Le rein est l'organe cible de l'accumulation du cadmium. Il cause des dommages des reins et de la vessie. Une exposition chronique au cadmium aboutit à l'accumulation du cadmium dans le rein (Curtis, 2001).

- **Les autres problèmes liés à l'intoxication au le cadmium**

Les autres conséquences de l'exposition chronique au cadmium sont l'anémie, la décoloration jaunâtre des dents, la rhinite, l'ulcération occasionnelle du septum nasal, les atteintes au nerf olfactif avec une perte de l'odorat (Edouard, 2002). Le cadmium de l'eau est mis en cause dans le dysfonctionnement cardio-vasculaire particulièrement

l'hypertension, dans les troubles nutritionnelles (anémie ferriprive) et les troubles du foie. L'exposition chronique est associée à la fragilité des os (Lauwerys, 1999).

De fortes concentrations dans les aliments et dans l'eau induisent l'irritation de l'estomac, des vomissements, diarrhées et parfois la mort (WHO, 2000).

Les effets sur la reproduction et la croissance sont suspectés, mais aucune étude n'a établi de manière exacte cette relation (INERIS).

2-3-3-2- Les effets cancérigènes

Les informations épidémiologiques sont rares en raison du nombre faible de cas et de même que la certitude scientifique de diagnostic sur l'homme. Les études de toxicité sont faites sur les animaux, et par extension on tire des conclusions pour l'homme grâce aux facteurs de modification.

- **Chez les animaux**

Plusieurs études menées sur des animaux montrent que divers composés inorganiques du cadmium causent des tumeurs parfois malignes chez l'animal.

L'exposition de rats de souche Wistar au cadmium par inhalation des sels de cadmium à des concentrations comprises entre 12,5 et 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (chlorure de cadmium) durant dix-huit mois, suivie d'une période d'observation de treize mois, a montré une relation avec le développement de tumeurs de poumons (Takenaka et al., 1983).

La recherche sur la voie pulmonaire par instillation intratrachéale d'oxyde de cadmium aux rats de souche Fisher n'a entraîné aucune tumeur de poumons; par contre les tumeurs ont été observées dans les seins de mâles et en plusieurs autres endroits. (Senders and Maheffrey, 1984).

Des localisations de tumeurs aux sites d'injection et en d'autres endroits ont été rapportées par certains auteurs comme conséquence de l'administration intramusculaire et cutanéomuqueuse du cadmium métallique et de sels de cadmium (sulfates, oxydes, chlorures, et sulfites) à des rats et des souris (EPA, 1985).

D'autres recherches sur les rats et souris ont montré des effets cancérigènes lorsqu'on administre des sels de cadmium par la voie orale.

- **Chez l'homme**

L'exposition professionnelle de l'homme au cadmium peut être considérée comme responsable d'une augmentation significative de cas de cancer du poumon parmi la population de travailleurs. Le CIRC (Centre de Recherche International sur le Cancer) a déterminé qu'il y a suffisamment de preuve chez l'homme quant à la cancérigénicité du cadmium et de ses composés.

Il est démontré également que le cadmium a la capacité de modifier le matériel génétique en particulier les chromosomes (Edouard, 2002). Plusieurs organes présentent des tumeurs après une exposition au cadmium. Les études faites par Holder (1980) et Leman et al. (1976), montrent que l'exposition des employés aux poussières de cadmium est significativement associée au cancer de la prostate.

Deuxième partie :

Stratégies d'intervention

Chapitre I : RÉCUPÉRATION ET GESTION DES MATIÈRES DANGEREUSES À HYDRO - QUÉBEC

Tout comme les ménages ou les installations urbaines, les processus industriels génèrent des déchets. Un processus industriel comporte une phase d'utilisation d'intrants qui après fabrication ou transformation produit des déchets. Ces déchets se révèlent parfois dangereux, aussi bien pour l'environnement que pour la santé des hommes. Dans certains cas, avant utilisation le propriétaire peut juger qu'une matière est non adaptée à l'utilisation; elle est alors périmée et constitue aussi un déchet qui peut être dangereux ou non.

Compte tenu des effets néfastes que ces matières résiduelles produisent ou sont susceptibles de provoquer sur l'environnement et sur la santé de l'homme, il est important d'établir des règles et des procédures de gestion en vue de les prévenir.

Les grandes entreprises (dans les pays développés) ont appris qu'une bonne gestion de l'environnement, malgré les coûts apparents, permet d'obtenir des avantages tangibles et intangibles aussi bien pour l'homme que pour l'environnement. C'est le cas par exemple de la société de production d'électricité (Hydro-Québec) dans la province de Québec au Canada, qui depuis les années 1990, a fait de la gestion des déchets dangereux une priorité dans ses politiques.

Hydro-Québec (HQ) est la société principale de production d'électricité dans la province du Québec au Canada. Elle fournit plus de 99% de l'électricité à la population. C'est une société dont les actions sont entièrement détenues par le gouvernement québécois.

1- Généralité sur les matières dangereuses résiduelles

On fait une distinction entre les déchets urbains solides ou liquides et les déchets industriels du fait du caractère particulier que ces derniers peuvent comporter (toxicité intrinsèque, potentiel toxique des produits de dégradation, réactions violentes, etc).

Parmi les déchets industriels, il existe une différence entre les matières dangereuses (MD), les matières résiduelles (MR) et les matières dangereuses résiduelles (MDR).

Ces sous-produits sont distingués en fonction de leur action sur la santé de l'homme et sur l'environnement.

1-1 Définitions

Une matière résiduelle (MR) est tout résidu gazeux, ou toute substance, produit ou bien meuble que le détenteur se propose de recycler ou de jeter au rebut (papier, canettes de liqueur, planches de bois, fils de cuivre, peau de banane, cartouche d'imprimante).

Selon l'article 3 du règlement québécois sur les matières dangereuses (MD), «est considérée comme matière dangereuse (MD), toute matière, qui en raison de ses propriétés, présente un ou des dangers pour la santé ou à l'environnement et qui est soit explosive, gazeuse, inflammable, toxique, radioactive, corrosive, comburante ou lixiviable» (CPS, 2003).

Une matière est dite résiduelle dangereuse (MDR), toute substance non réutilisable liquide, solide ou semi liquide potentiellement dangereuse non réutilisable, usée ou périmée (CPS, 2003). Cette substance par ces propriétés porte atteinte à la sécurité de l'homme ou s'accumule et persiste dans l'environnement, perturbant ainsi les cycles naturels du milieu.

1-2 Classification des matières dangereuses

Selon le règlement sur les MD du Québec, les MD sont regroupées selon la dangerosité qu'elles présentent pour l'homme et sur l'environnement. Elles sont rassemblées en neuf groupes ou classes selon la classification internationale des Nations Unies (UN). Pour certains groupes, il est possible de définir des divisions permettant de regrouper encore à un niveau plus petit des matières plus semblables.

1-2-1- Les matières explosives

Ce sont des matières qui par réaction chimique autoentretenu (prolongée de manière autonome), peuvent émettre des gaz à une température, à une pression ou à une vitesse telle qu'il en résulte des dommages à la zone environnante ou toute substance fabriquée en vue de produire un effet pratique explosif ou pyrotechnique ou tout autre objet

constitué d'une telle substance. Elles constituent la classe **1** des matières dangereuses (L.Q.E., 2004).

1-2-2- Les substances gazeuses

Elles regroupent tout gaz dont la température critique est inférieure à 50° C ou dont la tension de vapeur est supérieure à 294 kPa à 50° C. Ce sont des gaz qui, à une pression absolue de 101,325 kPa (pression atmosphérique) et à une température de 20° C, sont inflammables lorsqu'on constitue un mélange en proportion de 13% en volume avec l'air ou qui possèdent un intervalle d'inflammabilité supérieur ou égal à 12. Cette classe rassemble aussi les gaz qui, en raison des effets corrosifs qu'ils produisent sur le tissu respiratoire, ont une valeur CL₅₀⁶ inférieure à 5 000 mL/m³ à une pression atmosphérique normale (L.Q.E., 2004).

Ce sont aussi des liquides inflammables dont la tension de vapeur est supérieure à 275 kPa à 38,7° C ou des gaz à l'état liquéfié et réfrigéré qui ont un point d'ébullition inférieure à -84° C.

Elles sont regroupées dans la classe **2** des matières dangereuses. On peut définir pour cette classe plusieurs divisions.

1-2-3 Les substances inflammables

On distingue deux classes dans ce groupe de matières en fonction de leur nature physique:

- Les liquides sont dits de la classe **3** et regroupent tout liquide ou matière liquide contenant des matières solides en suspension, autres qu'une boisson alcoolisée, dont le point d'éclair est inférieur ou égal à 61° C.

- Les matières solides appartiennent à la classe **4**, et désignent les substances solides susceptibles de s'enflammer facilement ou de brûler violemment, longtemps ou encore de favoriser un incendie. Elles sont sujettes à l'inflammation spontanée dans des conditions normales et sont susceptibles de subir une réaction fortement exothermique. Ce sont des matières hydro- réactives⁷ (L.Q.E., 2004).

⁶ Concentration létale, qui provoque la mort de 50% d'une population exposée (lapins albinos)

⁷ Substances qui au contact avec l'eau s'enflamment rapidement ou produisent des gaz inflammables

1-2-4 Les comburants et peroxydes organiques

C'est l'appellation collective des matières dangereuses de la classe **5**. Ce groupe désigne toute matière combustible ou non, qui provoque ou favorise la combustion d'autres matières en libérant de l'oxygène ou une autre matière oxydante. Ce sont des composés thermiquement stables mais pouvant subir une décomposition auto-accélérée exothermique. Elles contiennent une structure bivalente d'oxygène (-O-O-) (etheroxydes) (L.Q.E., 2004).

1-2-5 Les substances toxiques et matières infectieuses

Elles appartiennent à la classe **6** des matières dangereuses et englobent toute matière :

- solide ayant une toxicité par ingestion dont la DL_{50} est inférieure ou égale à 200 mg/kg;
- liquide, toxique par ingestion dont la DL_{50} est inférieure ou égale à 500 mg/kg ou par absorption cutanée (DL_{50} 1000 mg/kg);
- ou des poussières ou brouillards toxiques par inhalation (DL_{50} 1000 mg/m³);

Cette classe comprend aussi les micro-organismes ou des recombinants, des hybrides ou mutants de ceux-ci dont les preuves scientifiques d'infestation sont établies (L.Q.E., 2004).

1-2-6 Les substances radioactives

Elles appartiennent à la classe **7** et regroupent toute matière qui émet des rayonnements ionisant dont l'activité est supérieure à 74 kBq/kg ou dans le cas où la matière est constituée de plusieurs éléments radioactifs, la somme des rapports de l'activité massique par l'activité spécifique des différents éléments radioactifs composant la substance est supérieure à 1 (L.Q.E., 2004).

1-2-7 Les substances corrosives

On qualifie de substance corrosive toute matière qui provoque une nécrose visible sur la peau humaine ou d'animaux (lapin). Elles possèdent un pH inférieur à 2 ou supérieur à 12,5 ou elles corrodent des surfaces en acier ou en aluminium non plaqué à un taux supérieur à 6,25 mm par an à la température de 55° C.

On distingue deux catégories :

- les corrosifs acides employés par exemple dans les accumulateurs acides-plomb (l'acide sulfurique)
- Les corrosifs alcalins employés par exemple dans les accumulateurs nickel-cadmium, ou le mercure.

Elles appartiennent à la classe **8** dans la classification internationale des matières dangereuses (L.Q.E., 2004).

1-2-8 Les matières lixiviables

Elles forment la classe **9** et regroupent toute substance ou matière, liquide ou solide renfermant un contaminant ou qui à la mise à l'essai d'analyse, produit un lixiviat contenant un contaminant dont la concentration est supérieure à une des normes ci-après (L.Q.E., 2004):

Tableau I: Normes fixées pour les contaminants (Ministère de l'environnement, Québec, 2003)

CONTAMINANTS	Normes (mg/L)
Arsenic	5,0
Baryum	100
Bore	500
Cadmium	0,5
Cyanures totaux	20
Chrome	5,0
Fluorures totaux	150
Mercure	0,1
Nitrates + nitrites	1000
Nitrites	100
Plomb	5,0
Sélénium	1,0
Uranium	2,0

Tableau II: Récapitulation de la classification des substances dangereuses

Matières dangereuses		Classe
Explosives		1
Gazeuses		2
Inflammables	Solides	3
	Liquides	4
Combustibles		5
Toxiques et infectieuses		6
Radioactives		7
Corrosives		8
Lixiviables		9

2- Cycle global de gestion des matières dangereuses au Canada

La gestion intégrée de matières dangereuses est au centre de politique de protection de l'environnement et de la préservation de la santé de l'homme au niveau fédéral (Canada) comme provinciale (Québec).

Au Canada la gestion des matières dangereuses est réglementée par plusieurs règlements dont les plus importants sont : la loi canadienne sur la protection de l'environnement (L.Q.E) et la loi de 1992 sur le transport des matières dangereuses. Selon la L.Q.E, toute personne a droit à la qualité de l'environnement, à sa protection et à la sauvegarde des espèces vivantes qui y habitent.

Au niveau provincial la L.Q.E constitue le fondement de la gestion des matières dangereuses. Elle est complétée par le règlement sur les matières dangereuses et le règlement sur le transport des matières dangereuses.

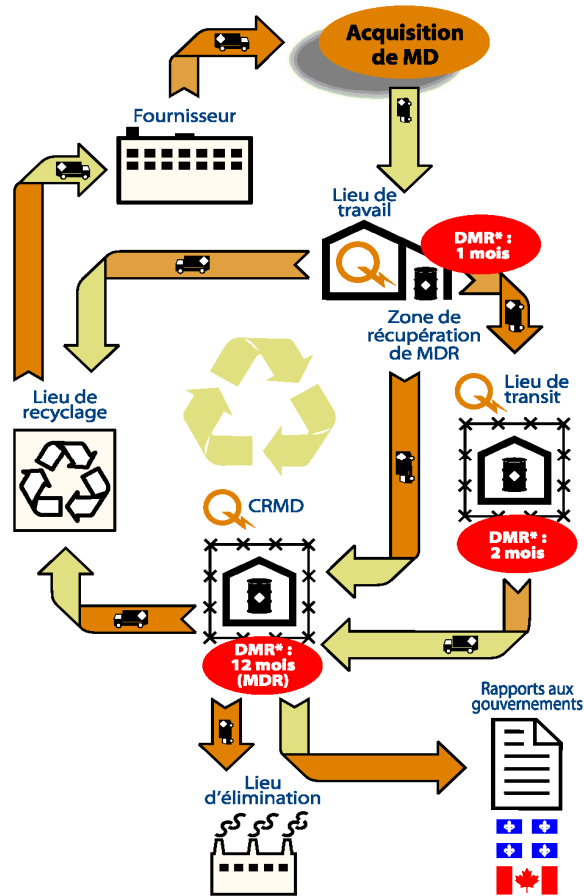


Figure 2 : Cycle de gestion des matières dangereuses

La gestion de MDR suit un cycle global auquel toute structure est tenue de respecter. Cette gestion commence à partir de la fourniture des matières. Les matières dangereuses acquises sur le lieu du travail font l'objet de suivi et de contrôle. À la fin de leur utilisation, ces matières entrent dans un processus de récupération selon leur catégorie. La récupération est l'activité la plus importante pour soustraire de l'environnement de l'homme les matières dangereuses. Les matières récupérées sont transférées au niveau de centre de transit ou centre de récupération de matières dangereuses.

Le service exploitant est tenu de fournir un rapport sur la gestion de ses MDR chaque année au ministère de l'environnement de la province et du gouvernement fédéral. Tout le processus de récupération est supervisé par des services de contrôle et d'inspection qui dressent leur rapport sur les activités des exploitants. Ils vérifient le respect des différents délais relatifs à l'exécution des règlements sur la protection de l'environnement.

Les matières issues de la récupération ont deux types de destination selon leur nature et leur qualité :

- soit une élimination directe lorsqu'on dispose la technologie et les connaissances suffisantes pour éviter les conséquences sur la santé et l'environnement;
- soit un recyclage : cette dernière ne doit affecter ni la santé de l'homme ni porter atteinte à la qualité de l'environnement. Et la matière produite donc peut recommencer son cycle.

Ces opérations sont aussi l'objet de suivi, de contrôle et de rapport au gouvernement provincial et fédéral.

Les gouvernements fédéral et provincial établissent chaque année des rapports sur la gestion de matières dangereuses.

Cette gestion globale de MDR est sujette à plusieurs contraintes sociales, à la pression des organismes externes, des règlements du gouvernement provincial et fédéral. La prise en compte de tous ces facteurs fait de la gestion des MDR, une gestion intégrée, cherchant un équilibre entre la technologie, le bien-être de l'homme et la préservation de l'environnement.

3- Production des matières résiduelles dangereuses à Hydro-Québec

Au cours de ses différentes activités de production d'électricité, de transport et de distribution, HQ libèrent plusieurs matières dangereuses.

Selon le rapport du bureau du vérificateur général (mai 2002), HQ a produit 4 654 tonnes de matières dangereuses résiduelles liquides et 735 tonnes de matières dangereuses résiduelles solides en 2001.

Ces matières sont connues sous une nomenclature courante, propre à l'entreprise et différente de l'appellation réglementaire internationale, qui permet une désignation uniforme de matières dangereuses résiduelles et matières dangereuses. Selon la nature physique de ces substances on distingue trois catégories.

3-1 Les matières solides

Parmi les matières solides produites à HQ figurent les accumulateurs (au nickel-

cadmium, acide-plomb ou à plomb inversable), les absorbants, les aérosols vides, les appareils électriques, les ballasts, les barils vides contaminés, les boues, les cartouches, les condensateurs, les filtres, les graisses, les lampes, les matériaux contaminés, les piles, les sols contaminés, les tubes fluorescents.

Certains matériaux contiennent des huiles renfermant des contaminants ou autres composés dont les effets sur l'environnement ne sont pas négligeables.

3-2 Les matières liquides

Elles sont constituées d'huiles (huiles à moteur, huiles minérales, huiles isolantes), les carburants usés, le diesel, les eaux de lavage, les solvants usés (chlorés ou non), les antigels, le mercure, les peintures.

3-3- Les matériaux divers

D'autres matériaux sont aussi utilisés comme les gaz: argon, l'azote, les extincteurs, les halons, l'hexafluorure de soufre, etc, au cours de nombreuses activités.

A HQ, on emploie de faibles quantités de substances radioactives dans la centrale nucléaire pour la production d'électricité; et d'autres utilisations de ces matières se limitent dans les dispositifs de production de lumière au tritium ou dans certains détecteurs de fumées.

Toutes ces matières font l'objet de réglementation et nécessitent une procédure de récupération pour éviter leur contamination et dissémination dans l'environnement.

4- Procédure de récupération

La procédure de récupération désigne l'ensemble des opérations à accomplir pour recueillir une matière à la source (émission) à l'aide des zones de récupération, et d'assurer son transport vers un centre de transit ou un centre de traitement de matières dangereuses, afin de se conformer aux lois et règlements fédéraux et provinciaux.

Cette procédure permet d'éviter le mélange des différentes substances récupérées pour rendre moins complexes les opérations de traitement des déchets.

Les MDR possèdent des propriétés physicochimiques variables. Leur contact entre elles ou lorsqu'elles sont exposées aux intempéries (conditions météorologiques) est susceptible de provoquer des réactions avec des conséquences, parfois très dommageables dans la zone environnante, sur le manipulateur ou sur la nature (environnement).

Une procédure de récupération des MDR en général comprend plusieurs phases: l'inventaire ou classification des MDR à produire dans la zone, le choix du matériel de récupération, le choix de l'emplacement de la zone de récupération, la gestion des contenants et le transport des MDR vers un centre de transit ou de récupération.

4-1- Classification des matières résiduelles dangereuses

La diversité des matières avec leurs propriétés physico-chimiques parfois complexes, et la dynamique des réactions dont elles sont susceptibles de provoquer entre elles d'une part, et avec les contenants d'autre part, rendent nécessaire le regroupement de ces matières en fonction de leur ressemblance.

Avant la mise en œuvre de la récupération, il est nécessaire de faire l'inventaire des substances susceptibles d'être produites. Parmi ces substances on identifie les MDR et les contenants appropriés.

La récupération en mode séparé des MDR selon leur classe, leur division ou sous-classe et leur groupe, est un avantage pour la sécurité du personnel et de l'environnement ainsi que pour le traitement des MDR. Il est alors indispensable d'effectuer un tri ou une ségrégation des MDR lorsqu'elles sont produites ou en envoyés en vrac. Cette procédure doit être applicable aussi bien dans les zones permanentes de récupération que dans les zones temporaires.

4-2- Matériel de récupération

Une gestion efficace et pratique des MDR requiert l'usage de contenants adéquats lors de la récupération. Le choix de contenants adéquats est fait selon la réglementation internationale, dite "Nations Unies" (UN). Les contenants sont alors dits normalisés. Leur choix est déterminé en fonction de leur résistance face aux matières à contenir pour éviter

des accidents (explosion ou détérioration du contenant).

Plusieurs notions sont utilisées dans le choix des contenants: le groupe d'emballage (GDM)⁸, le code UN⁹, le code SAP¹⁰ (CPS, 2003).

Le matériel normalisé utilisé pour la récupération, le transport des MDR comprend des barils en plastique, en acier, des contenants, des sacs, des couvercles (en acier et en polyéthylène).

4-2-1 Les affiches

Il est nécessaire d'effectuer le choix des affiches indispensables pour identifier les catégories des MDR lors de la récupération.

Ces affiches sont aussi désignées par leur description (taille, couleur), leur code SAP et leur numéro de contrat permettant une référence rapide (CPS, 2003).

4-2-2 Les contenants

Après avoir établi la liste des MDR à récupérer, on identifie et recense le matériel nécessaire à la récupération.

Ce matériel est repéré par le code SAP, le GDM, le contrat cadre, l'identité du manufacturier et du fournisseur (CPS, 2003).

4-2-3 Utilisation de matériel de protection ou de prévention

Dans la zone de récupération certains contenants sont recouverts de matériels de protection lorsqu'ils sont en cours de remplissage.

Sur les contenants réservés aux MDR solides inflammables, il faut disposer les couvercles pare-feu et sur les contenants pour liquides, il faut mettre un entonnoir et un indicateur de niveau de remplissage pour chaque contenant. Il est nécessaire d'éviter d'utiliser un même matériel pour plusieurs MDR. Pour les liquides à vapeur prévoir un entonnoir pourvu de couvercle anti-vapeur et procéder à une mise en terre des barils métalliques contenant des matières solides inflammables (CPS, 2003).

⁸ Regroupement des substances selon leur ressemblance

⁹ Numéro à quatre chiffres dans le système international de numérotation des MDR

¹⁰ Système de numérotation propre à l'entreprise

4-3 Emplacement de la zone de récupération

Les normes et les critères d'emplacement de cette zone sont définis par l'article 33 du règlement sur les matières dangereuses (RMD) de la loi sur la qualité de l'environnement (L.Q.E., avril 2004). La zone de récupération ou d'entreposage doit être construite de manière à protéger les produits entreposés ou récupérés de toute altération par les intempéries (la neige, de l'eau, du gel) ou de la chaleur. La situation de la zone ne doit en aucun cas permettre la contamination des zones sensibles comme une rivière, une nappe phréatique, un fossé.

Les MDR doivent être entreposées de manière à éviter toute situation susceptible de provoquer en raison de leur incompatibilité des réactions physiques ou chimiques dangereuses.

4-3-1 La zone de récupération temporaire

Elle est construite sur les chantiers temporaires ou de courte durée. En aucun cas, la récupération des MDR ne doit se faire sans un aménagement de zone pour la récupération, quelque soit la durée, la quantité et la nature des matières à récupérer.

Selon la quantité de matières à récupérer et/ou la durée des travaux, un conteneur peut être utilisé ou une construction de taille suffisante, ayant au moins trois côtés pour protéger les contenants et les matières des intempéries. Il doit avoir un plancher imperméable et un toit étanche.

Certaines conditions sont requises pour la mise en exploitation d'une zone de récupération; les principales sont (CPS, 2003):

- Installer à proximité de la zone, un extincteur de 10 litres de catégorie ABC;
- Afficher un pictogramme "***Défense de fumer***", bien à la vue dans la zone de récupération;
- Laisser libre accès autour de la zone pour permettre une évacuation rapide ;
- Installer des affiches d'identification des différentes catégories des MDR sur les murs de manière à placer les contenants de récupération directement sous les affiches. Ces fiches contiennent les informations comprenant le type ou les caractéristiques de la matière (matériaux et contaminants), l'appellation réglementaire pour les produits assujettis au règlement sur le transport des

MDR, les étiquettes de transport à apposer avec le numéro UN, la classe et le groupe d'emballage.

- Afficher au-dessus de chaque contenant de MDR la procédure de récupération;
- Installer les accessoires pour les contenants (entonnoir et couvercles anti-vapeur pour les liquides, mise à terre pour les contenants métalliques de produits inflammables, couvercle pare-feu pour barils contenant des solides inflammables ou des aérosols);
- Identifier les contenants avec des étiquettes de récupération et cocher la case de la catégorie de MDR dès l'installation du contenant pour la récupération;
- Apposer à l'aide d'étiquette, la classe ou sous-classe du produit pour le transport;
- Mettre en place la procédure de récupération des MDR dans la zone pour chaque type de MDR;
- Disposer de trousse d'urgence avec matériel diversifié pour intervention en cas de déversement (feuille, serpents, granules, etc)
- Il faut numéroter les zones de récupération lorsqu'il y en a plusieurs pour rendre facile les inspections de contrôle.

4-3-2- La zone permanente de récupération

Elle est présente sur un site d'exploitation permanente; c'est l'exemple de la zone de récupération dans les centrales hydro-électriques, les centres de services.

Elle est localisée dans une zone de sécurité par rapport aux installations d'exploitation (éloignée de zone chaude ou de production de chaleur, de circulation de véhicules, etc).

Des dispositifs sécuritaires doivent être mis en place dans la zone pour permettre une intervention rapide en cas d'incident ou d'accident. Elle nécessite tout le dispositif énumérer pour la zone temporaire.

4-4 Etiquetage

C'est une étape très importante dans la gestion et la récupération des matières dangereuses résiduelles, car une confusion lors de l'étiquetage peut être à l'origine de

plusieurs incidents parfois aux conséquences très graves. Elle se déroule dans la zone de récupération. HQ utilise plusieurs catégories d'étiquettes (CPS, 2003).

4-4-1 Etiquette d'identification des matières résiduelles dangereuses

On distingue trois types en fonction de la nature physique de la matière (CPS, 2003) :

- une étiquette de couleur jaune pour les solides
- une étiquette de couleur ocre pour les liquides
- une étiquette de couleur brune pour les sols contaminés

Chacune de ces étiquettes comprend deux parties:

- Une partie correspondant à :
 - la description physique de la matière (boue, filtre, accumulateur, etc)
 - nature chimique des principaux constituants (BPC, lithium, mercure, cadmium)
 - la teneur de certains paramètres (BPC)
- Une seconde partie précisant :
 - le lieu de production,
 - le service producteur,
 - la date de fin de remplissage,
 - la quantité de matière contenue.

Il est important de préciser l'appellation réglementaire de la matière, et la mention « matière réglementée par le transport des matières dangereuses » lorsque cela est requis. La classe de la matière, le groupe d'emballage et le numéro de code UN sont à mentionner sur l'étiquette.

Il faut en suite mentionner les coordonnées du responsable du centre de production et réserver la place pour la datation du contenant à son arrivée dans le centre de récupération de matières dangereuses.

4-4-2 Etiquette de transport de matières dangereuses

Elle a pour rôle l'identification de la classe de la matière et porte parfois le numéro de la sous-classe qui indique la dangerosité de la matière contenue dans le baril. Souvent le

numéro du code UN de la matière est inscrit sur cette étiquette ou peut être écrit à côté. Ainsi son omission peut être aussi très grave et entraîner une erreur de manipulation.

4-4-3- Les autres étiquettes

D'autres étiquettes additionnelles peuvent être utilisées pour préciser ou mettre l'accent sur un produit particulier contenu dans un contenant (CPS, 2003).

- Étiquette pour identification des articles contenant des BPC (biphényles polychlorés). Elle précise la concentration en BPC et indique si le contenant doit être retenu pour les analyses.
- Étiquette utilisée pour l'identification des équipements à bain d'huile retirés du réseau.

5- Autres aspects de la gestion des matières dangereuses

5-1 La gestion des contenants pleins

Lorsqu'un contenant est plein, on procède à la fermeture du contenant par un couvercle. Pour les matières liquides dangereuses, il est important de vérifier l'étanchéité du contenant et s'assurer que les bouchons possèdent des joints d'étanchéité et les visser adéquatement. Si le contenant ne peut être rendu étanche, utiliser un suremballage et apposer les mêmes indications de danger sur le contenant en question.

La gestion de contenants s'applique aussi bien en zone permanente que temporaire et une limitation de durée d'un contenant plein de MDR dans la zone de récupération est nécessaire pour éviter des accidents. Il devra alors être acheminé à un lieu de transit ou centre de récupération.

Une vérification de différentes étiquettes est nécessaire avant l'expédition de contenants. Les entonnoirs et couvercles pare-feu sont conservés pour de nouveaux contenants installés dans la zone de récupération.

Le responsable de la zone de récupération joue un rôle fondamental dans la récupération des MDR. Il se charge du maintien de la conformité de la zone de récupération, du respect de la procédure de récupération et du remplissage de la fiche d'expédition. Il doit être éclairé pour prendre en charge toutes les questions de gestion des MDR.

5-2 Le transport des matières dangereuses résiduelles

Le règlement sur le transport des matières dangereuses (MD) est l'ensemble de réglementations élaborées pour sécuriser le transport des MD par les voies routière, maritime ou aérienne. Elle fixe la quantité minimale de matière dans chaque contenant, la quantité totale qu'un expéditeur peut envoyer et aussi les conditions sécuritaires lors du transport (compatibilité entre matière).

La destination des MDR est soit un centre de transit où plusieurs centres de récupération concentrent les productions en vue d'un transfert dans le centre de traitement.

5-3 L'inspection d'une zone de récupération des matières dangereuses résiduelles

Cette section a pour objectif de guider le personnel de récupération des MDR dans la mise en place et la gestion de zone de récupération. Cette opération nécessite un guide d'évaluation (Site intranet Hydro-Québec).

Le délai d'inspection des zones est fixé à trois mois. Mais pour des zones de récupération temporaire la fréquence est plus grande et dépend de l'importance et de la nature des MDR à récupérer, de la situation de la zone dans l'environnement.

Des critères déterminés sont retenus pour vérifier la conformité d'une zone récupération. Le personnel de récupération devra contrôler la régularité de ces paramètres pour permettre une réussite des opérations sur le chantier et ainsi permettre le respect des lois en vigueur. Ceci constitue un autocontrôle qui précède un contrôle officiel par les inspecteurs généraux.

5-4 Le démantèlement de la zone

La zone de récupération devra être convenablement nettoyée, débarrassée de tout résidus à la fin des travaux. Toutes les matières devront être transportées dans la zone ou centre de récupération permanente.

6- La gestion des déchets de cadmium à Hydro- Québec

Les résidus de cadmium produits à Hydro- Québec sont liés à l'usage d'accumulateurs au nickel-cadmium. La procédure mise en place préconise une bonne récupération des plaques d'accumulateurs

Les matières récupérées sont transportées pour le recyclage dans des centres spécialisés. Deux centres de recyclage (Ottawa, Floride) s'occupent du traitement des matières renfermant du cadmium résiduel produit au Canada. Le succès de cette opération réside dans la bonne récupération de résidus (Site intranet Hydro-Québec).

Quels enseignements de ce stage pour le Togo, où des déchets industriels, notamment miniers qui contenant de fortes concentrations de cadmium constituent un problème majeur de santé publique?

Chapitre II : GESTION DU PROBLÈME DE CADMIUM AU TOGO

Le cadmium est devenu un élément ubiquitaire du fait de son emploi dans différentes activités. Au Togo, les industries employant du cadmium sont peu répandues ou inexistantes. Mais le cadmium est un élément rencontré dans les phosphates d'Hahotoé et de Kpogamé. Le Togo un pays producteur de phosphate avec une forte teneur en cadmium (Thiombiano, 2002).

Les analyses de minerais montrent des résultats variables suivant les échantillons. Une analyse faite par Tchassanti (1999) par absorption atomique montre une composition de 42µg de cadmium/g de minerais brut et 47µg cadmium/g de minerais traité.

Cette source demeure la plus importante en matière de pollution dans cette région du pays. Cette pollution est occasionnée par l'exploitation des phosphates par l'office nationale des phosphates (OTP) depuis 1954, aujourd'hui connu sous le nom de IFG-Togo (International Fertilizers Group-Togo).

Avec le développement du secteur de nouvelles technologies de l'information et de la communication, l'usage de téléphones portables et autres appareils électroniques avec des batteries au nickel-cadmium laisse craindre une augmentation de la quantité de cadmium en circulation et donc d'étendre la zone de contamination ou d'augmenter la concentration de ce polluant. En effet, les batteries de téléphones portables mises au rebut et non récupérées peuvent constituer aussi une grande source de contamination par le cadmium.

La problématique de la pollution par le cadmium réside au niveau de la purification des phosphates par lavage, processus qui libère plusieurs déchets miniers dont le cadmium dans l'eau de mer, de plus le séchage des phosphates laisse échapper des poussières riches en cadmium qui contamine l'homme à travers différents médias.

1- Source de contamination par le cadmium au Togo

Selon une étude de la banque mondiale (1998), les eaux de lavage des phosphates du Togo renferment une concentration de 0,328 mg/l de cadmium, soit un rapport de 3 avec

la norme de la banque mondiale ou 65 fois la norme tunisienne. Ce rejet est estimé à 5,58 tonnes de cadmium par an, ce qui représente une quantité énorme de ce polluant (Thiombiano, 2002). De plus, lors du séchage des phosphates lavés et de leur stockage, des particules de poussières se dégagent et se répandent dans l'environnement. Ceci constitue également une voie importante d'exposition des travailleurs et de la population en général vivant dans la région, de même pour les cultures de la région.

Cette exposition constitue un problème de santé publique majeure. L'influence de ce problème de santé dans cette région du pays se caractérise par un accroissement de problèmes respiratoires, problèmes de dentition. Les autres effets souvent associés à la contamination au cadmium peuvent être observés, mais de véritables études n'y sont pas menées pour montrer cette association.

La décharge des déchets miniers dans l'océan constitue une problématique environnementale. Les eaux de lavage et de rinçage des phosphates sont directement rejetées dans la mer à la sortie de l'usine de Kpémé. Ces eaux de rejets sont estimées à 70 000 à 100 000 m³ par jour, mélangées à 2 400 tonnes d'argile et de 480 tonnes de sable (Thiombiano, 2002)

En 1992, le rapport national sur l'état de l'environnement au Togo mentionnait que ce traitement (du minerai) dégage des déchets qui sont rejetés dans la mer et la polluent. Ce rapport met aussi en exergue la pollution de l'air par la poussière ambiante. Cette pollution est faite lors du séchage des phosphates dans les fours où de fines particules se dégagent et polluent l'air. Ces fines particules lors de retombées contaminent le sol et les cultures (légumes, céréales) (Thiombiano, 2002).

Le code de l'environnement du Togo constitue le seul texte qui garantit une vie saine à l'homme liée à son environnement. En son article 35 il est écrit que « toute personne qui produit ou détient des déchets dans des conditions de nature à entraîner des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, et d'une façon générale à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement, est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination conformément aux dispositions de la présente loi et des règlements pris pour son application ».

La population de Kpémé avec celle des villages avoisinants est estimée à 95 000 habitants (Thiombiano, 2002). Cette population exerce des activités diverses (employés

de l'usine, cadre, agriculteurs et pêcheurs), la mettant ainsi en contact à différents niveaux de pollution. Les travaux de Kinvi (2000) montrent la répartition de la population en fonction des activités.

Tableau III : Répartition de la population par profession (source Kinvi, 2000)

Profession	Pourcentage
Agriculteurs	3
Pêcheurs	4
Mineurs	7
Artisans/commerçants	34
Fonctionnaires	15
Autres	37
Total	100

Certaines activités sont rencontrées à la plage comme les promenades, les baignades, la pêche, les cérémonies rituelles et le commerce. Selon cette étude 7 % de la population est directement exposée à la pollution et peut manifester des effets d'intoxication au cadmium (Thiombiano, 2002). Quand on considère la contamination par voie orale par les produits de mer et les cultures de la région, la proportion directement exposée s'accroît énormément.

Selon le sondage de Thiombiano, 70% de personne s'inquiètent du changement de la couleur de l'eau de mer. La perception du public sur le problème est superficielle car elle se limite au seul constat du changement de la couleur de l'eau, mais les niveaux effectifs de l'exposition et les effets liés à la contamination sont totalement ignorés.

2- Mise au point de stratégies

Il importe d'élaborer des stratégies afin de réduire le risque d'intoxication de la population par ce polluant aux conséquences redoutables pour la santé.

Seules des stratégies adaptées peuvent permettre de limiter les effets de cette pollution sur la population et sur l'environnement. Ces mesures doivent toucher les différentes voies et médias d'entrées du cadmium dans le corps humain et la contamination de l'environnement.

Du fait d'un manque d'études réelles des effets du cadmium sur la santé des populations de la région, de la détermination des niveaux d'exposition, ce problème reste jusqu'alors méconnu et les effets continuent de s'étendre et d'augmenter les préjudices à la population. Néanmoins, une prise en compte de ce problème par le gouvernement et l'office dans les priorités des politiques peut constituer une mesure adéquate pour améliorer la santé des populations de cette région. L'état actuel des connaissances et techniques peut permettre de prendre des mesures de prévention pour épargner la population de l'intoxication au cadmium.

2-1 Élimination du cadmium dans l'eau de rejet

Les eaux résultantes du lavage des phosphates constituent un effluent d'eau résiduelle chargée de matières en suspension (MES) et de divers polluants dont le cadmium. Le traitement de cet effluent nécessite une chaîne comprenant un traitement primaire, un traitement secondaire et pour accroître la performance d'élimination de polluant, un traitement tertiaire peut être nécessaire.

Compte tenu du volume considérable de l'eau de lavage, la quantité totale du cadmium par jour est très élevée, évaluée à 15,30kg/j. La forte concentration de MES dans l'eau peut constituer une contrainte majeure à l'élimination de ce polluant. Néanmoins, une élimination en grande partie de MES en prétraitement peut être un avantage considérable et faciliter les étapes ultérieures. Il comprend un dessablage et un dégrillage.

Pour éviter l'envahissement (encrassement) du système de traitement par des matières en suspension et le comblement prématuré du bassin, il est indispensable de retenir les corps flottants et en suspension et de procéder à un curage régulier.

Le dégrillage permet de retenir les particules de grande taille et corps flottants; et un dessablage permet d'éliminer les grains de sable et les autres MES afin de diminuer la turbidité de l'eau pour éviter le comblement du bassin et le colmatage des filtres. Un

curage et un dragage réguliers sont nécessaires à cette étape.

La suite de la chaîne de traitement suit le schéma classique : traitement primaire, traitement secondaire et tertiaire.

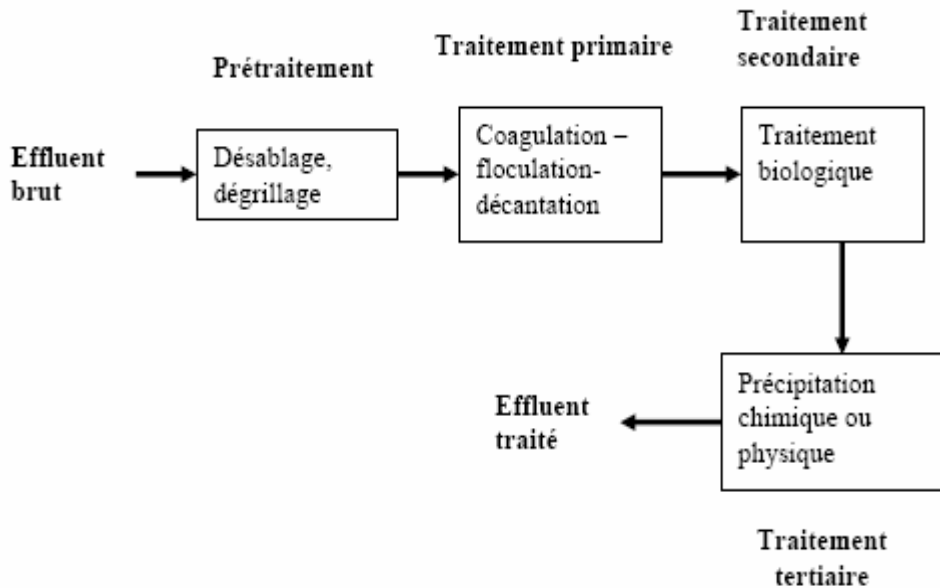


Figure 3 : Chaîne de traitement de l'effluent industriel

2-1-1 Traitement primaire

Il s'agit d'un traitement physico-chimique qui regroupe toutes les techniques permettant d'améliorer la qualité de l'eau brute en vue d'un traitement plus facile.

2-1-1-1 La décantation- sédimentation

Les eaux de lavages issues de l'usine et ayant subi le prétraitement passent dans un bassin de décantation pour permettre le dépôt des particules plus denses que l'eau. Les dimensions du bassin doivent permettre la chute de particules avant leur sortie du bassin.

La technique de la décantation statique où les particules tombent sous l'effet de leur propre vitesse est plus facile en pratique avec des résultats considérables. L'écoulement

dans ce cas doit être laminaire et sans turbulence pour favoriser cette décantation. La faible vitesse de l'eau est un inconvénient à cause de la quantité d'eau importante à passer.

Pour employer de forts débits, il est indispensable de disposer des lamelles par rapport à l'horizontal. On réalise ainsi la décantation laminaire (cette étape n'utilise aucun réactif).

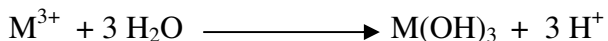
2-1-1-2 Coagulation- floculation- décantation

La présence d'argile rend la décantation inefficace à cause de particules de charge négative qui se repoussent mutuellement. Une opération de coagulation-floculation est nécessaire pour diminuer la turbidité de l'eau et ainsi permettre les réactions d'élimination du cadmium dissous dans l'eau.

En effet l'eau reste encore trouble après la décantation primaire; il subsiste des colloïdes en suspension. L'étape de coagulation-floculation-décantation est alors nécessaire pour rabattre la turbidité et clarifier l'eau. Cette étape a un double intérêt car elle permet de clarifier l'eau, et en précipitant les colloïdes, elle précipite aussi les métaux lourds dont le cadmium.

Son principe consiste à une déstabilisation des particules colloïdales par addition de réactifs chimiques (coagulant) et ensuite une agglomération de particules déstabilisées en microflocs puis en flocons plus volumineux (flocs). Cette étape nécessite un coagulant et parfois un adjuvant ou floculant (réactif provoquant la formation de flocs).

Les coagulants généralement utilisés sont des cations trivalents (sels de fer et sels d'aluminium) qui permettent une meilleure neutralisation des colloïdes, mais ils abaissent le pH et élève la conductivité de l'eau. La réaction générale expliquant le mécanisme de la coagulation-floculation est la suivante :



Le pH optimum est voisin de 6 pour les sels d'aluminium et de fer. D'autres réactifs peuvent aussi être utilisés comme les polyélectrolytes cationiques ou anioniques et non ioniques. Des réactifs organiques comme la solution aqueuse de farine de grains de *Moringua oleifera* sont aussi employés.

Une étape de décantation est nécessaire pour la séparation des boues formées et

complétée par une filtration pour une séparation effective de l'eau et des flocons. La filtration sur sable constitue une bonne méthode de séparation de l'eau d'avec les précipités formés. L'eau sortant de la station de traitement traverse un lit de sable qui retient les composés formés lors de la réaction. Les métaux lourds comme le cadmium précipitent au cours de cette opération.

À la fin un contrôle de paramètre peut être nécessaire pour vérifier si la concentration du cadmium résiduel est conforme à la norme de la banque mondiale ou à une autre référence avant le rejet de l'eau. Si cet objectif est atteint, la suite de la chaîne de traitement n'est donc plus nécessaire.

2-1-2 Traitement secondaire

C'est l'ensemble des traitements biologiques qui peuvent être appliqués à l'effluent.

Aucune étude ne montre l'utilisation du cadmium par des microorganismes, ce qui aurait facilité son élimination par voie biologique. L'accumulation du cadmium par des bryophytes, en particuliers les mousses aquatiques, a été démontrée par Gagnon et al. (1997). Ces études montrent que cette accumulation se fait aussi bien en milieu d'eau douce que dure.

Les conditions de l'eau dure (95 mg/L de CaCO₃ de TH¹¹, une alcalinité de 87,6 mg/L de CaCO₃ et une conductivité de 558 µS/cm²) se rapprochent de celle que l'on peut retrouver dans les eaux après lavage des phosphates, car les phosphates renferment du CaCO₃ et l'eau de mer à une forte conductivité.

Les résultats montrent un facteur d'accumulation (rapport de la concentration finale du Cadmium dans la phase finale et de la concentration initiale) de 100 pour *Fontinalis dalecarlica* et de 74 pour *Fontinalis ripriodes* pour une concentration initiale de 10 µg/L de Cd dans l'eau. Ce facteur d'accumulation augmente avec la concentration du cadmium dans l'eau. Mais cette application ne peut être employée qu'après clarification des eaux (élimination des MES) pour permettre un bon développement des végétaux.

¹¹ Titre hydrotimétrique, mesure la dureté de l'eau

2-1-3 Traitement tertiaire

Il emploie des techniques et des matériels élaborés. C'est une étape complémentaire utilisant souvent des réactifs pour provoquer des réactions chimiques.

2-1-3-1 Réactions de précipitation et d'absorption

Elles sont pratiquées pour l'élimination de métaux lourds, mais ces réactions dépendent en grande partie du pH de l'eau. Le pH de l'eau de lavage dans ce cas est de 6,1 proche de la neutralité est favorable à la majorité de réaction de précipitation. A défaut de cette condition, il faut réaliser une correction de pH avant la réaction.

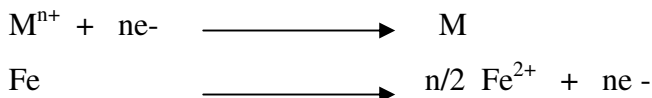
En général un pH élevé favorise la précipitation de métaux. Elle constitue une bonne mesure d'élimination de cadmium. Son succès est aussi lié à la performance d'élimination de MES.

L'absorption sur charbon actif ou sur les oxydes métalliques ou encore les méthodes d'absorption sur vieux pneus et sur des écorces d'arbres sont aussi efficaces pour éliminer les métaux lourds en général et particulièrement le cadmium.

2-1-3-2 La cémentation

C'est une technique de traitement ou d'épuration des effluents industriels (cuivre, étain, métaux précieux et métaux lourds). Elle est employée dans l'extraction de métaux polluants soit par réaction avec un champ magnétique (cémentation magnétique) ou par agitation du milieu (eau) soit emploie des réactifs (cémentation mécanique ou physico-chimique). Elle permet de récupérer les sels de métaux lourds comme le cadmium, le mercure.

Le principe consiste à la réduction d'un cation présent dans une solution en présence de fer métallique (réaction d'oxydo-réduction).



Cette technique est applicable pour des eaux de faible turbidité, donc ne peut être envisagée dans notre cas qu'après les opérations de coagulation – floculation –

décantation et filtration.

La cémentation mécanique est une technique performante mais nécessite un dispositif plus élaboré, parfois très coûteux. Elle combine les réactions chimiques et les phénomènes physiques. Elle emploie plusieurs procédés.

- La technique de crible agité permet une extraction améliorée et un temps de réaction court.
- La technique avec des réacteurs à tambour rotatif permet d'améliorer la séparation des ciments formés mais est souvent accompagnée de phénomène d'abrasion
- Avec un précipitateur conique, l'écoulement est turbulent et les ciments sont rassemblés dans le cône, permettant ainsi une bonne séparation.
- Le réacteur vibrant, constitué par une chambre cylindrique horizontale, soumis à une vibration (10 Hz) provoque l'agitation des particules, mais les chocs entre les particules engendrent de l'abrasion.

Dans la cémentation magnétique, l'effluent à traiter, rendu fluide, est soumis à un champ magnétique qui augmente la fréquence et la force de collisions des particules. Elle favorise ainsi la précipitation de métaux. Les boues formées sont retenues par filtration et séchées.

Cette technique est employée pour de faible débit (1 à 13 m³/h). Le coût d'installation de cette méthode est très important.

2-2 Gestion des boues

Du fait de l'entassement des boues, un curage régulier permettra de maintenir le bassin profond pour permettre une bonne décantation. Les boues récupérées aussi lors de la filtration, de la décantation, du dégrillage et du dessablage doivent être évacuées pour éviter l'encrassement et le colmatage des filtres.

Ces boues contiennent d'importantes quantités de polluant et constituent une autre problématique qu'une bonne gestion peut permettre d'éviter les désagréments et effets nuisibles (contamination des eaux de surface).

Les boues retirées peuvent servir de matériel de remblai de carrière. Cette alternative peut constituer un dépôt sécuritaire pour éviter de contaminer d'autres régions ou des nappes phréatiques. On devra éviter de répandre ses boues sur des surfaces ou dans des champs. Ce dépôt doit éviter la contamination de prises d'eau souterraine.

2-3 Élimination du cadmium de l'eau potable

Du fait de la présence du cadmium dans la région, la surveillance de ce contaminant dans l'eau potable doit constituer une priorité. La concentration maximale admissible en cadmium dans les eaux destinées à la consommation humaine est fixée à 5 µg/l (norme canadienne) et au Togo la norme en vigueur est celle de l'OMS (3 µg/l).

Au Togo la régie nationale des eaux du Togo qui est chargée de fournir de l'eau potable utilise de l'eau de surface et souterraine à cet effet.

L'eau souterraine peut être contaminée par dissolution de composés de cadmium du sol. De même, l'eau de surface, du fait des retombées des poussières et du lessivage par les eaux de pluies, est susceptible de contenir de fortes concentrations de cadmium. Il est alors important d'inclure dans la chaîne de production de l'eau potable des étapes d'élimination et de contrôle du cadmium.

La solubilité de certains composés de cadmium dans l'eau est considérable et peut donc constituer une source majeure de contamination. Tout comme les procédés de déferrisation (élimination du fer) ou de démantanisation (élimination du manganèse), une étape de réduction de la concentration du cadmium doit être intercalée dans le processus et suivie de contrôle.

Les réactions de précipitation utilisent le même principe que dans l'élimination du fer du fait de la similitude de leur structure ionique (ions bivalents).

Les méthodes utilisées pour diminuer la concentration du cadmium par précipitation dans l'eau sont :

- la précipitation avec de la chaux ou du sulfure de sodium ou encore de l'eau oxygénée. L'emploi de polymères facilite l'élimination par formation de complexes;

- Les résines échangeuses d'ions permettent la rétention du cadmium puis en suite son élution.

Cette étape est suivie d'une filtration pour éliminer les composés formés (précipités). L'exploitation d'ozoneur reste limitée en Afrique compte tenu du coût de revient élevé du matériel de traitement.

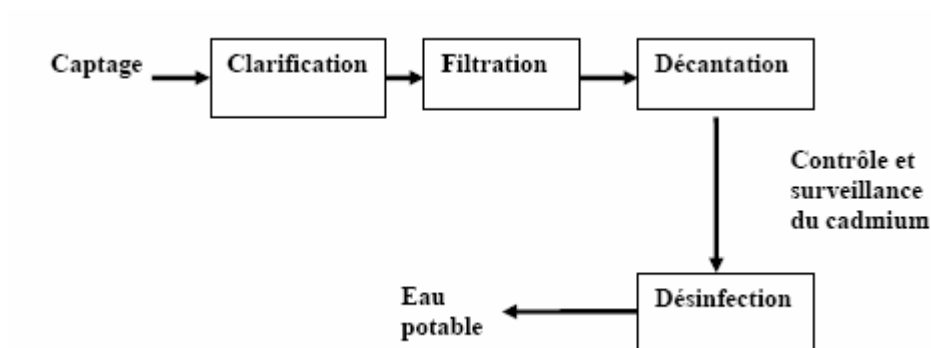


Figure 4 : Chaîne simplifiée de traitement de l'eau potable

Généralement le cadmium n'est pas un élément souvent ciblé dans les procédés de traitement de l'eau potable. Mais du fait de son abondance et de sa toxicité, il apparaît donc nécessaire de surveiller sa présence pour éviter les effets nuisibles qu'il peut provoquer sur la santé des populations consommant une eau polluée, l'eau étant l'aliment le plus consommée par jour (en moyenne deux litres). Il faut donc avant l'étape de désinfection de réaliser un contrôle de l'élimination du cadmium pour évaluer la performance du processus d'élimination du cadmium.

En attendant que la dépollution à la source fasse partie de notre culture, nous devons surveiller étroitement la qualité de notre eau de consommation.

2-4 Contrôle du cadmium dans les aliments

La présence de fines particules de phosphates avec du cadmium dans l'air ambiant rend la probabilité de contamination des aliments plus élevée. Les services d'hygiène

alimentaire de la région doivent redoubler plus d'effort pour sensibiliser et encourager les familles et les services de restauration à faire recours aux bonnes pratiques de sécurité et d'hygiène alimentaire.

Des cultures sont capables d'accumuler ou de concentrer le cadmium dans leur organisme. Ces types de plantes doivent faire l'objet de sensibilisation pour être cultivées dans les zones éloignées de rejets de poussières. Des mesures doivent être prises pour informer la population pour limiter les quantités de consommation en fonction du niveau moyen de contamination (produits halieutiques, plantes, fruits).

2-5 Le cadmium dans l'air

La présence de cadmium dans l'air est un problème complexe auquel une seule solution ne peut résoudre. Les mesures envisageables restent préventives et leur généralisation peut être gênante.

L'option de système favorisant l'émission de peu de poussières est une solution idéale pour prévenir l'émission de poussières. En effet le séchage à de hautes températures émet plus de poussières et peut favoriser l'émission de fumées avec des particules plus fines faciles à inhaler. Des études plus poussées permettant un séchage à température plus basse pendant un temps plus long peut être une solution alternative.

La population la plus à risque restant les employés de l'usine. Cette réduction de la température de séchage peut être accompagnée de l'adoption d'autres mesures de sécurité.

- Le port de masques filtrants très efficaces devra être institué et rendu obligatoire pour tous les employés en contact de ces poussières;
- Une interdiction de boisson, de restauration ou de fumer sur les chantiers sujets à la production de poussières;
- Un contrôle ou dépistage de l'atteinte rénale débutante est indispensable pour entamer une cure de désintoxication. Inclure dans les plans d'intervention la prise en charge de cas détecté. L'usage de l'EDTA (ethylene diamine tetraacetic acid) est une solution mais une prudence doit être importante dans le cas d'une atteinte rénale.

Un suivi régulier de la qualité des dents est nécessaire pour détecter une contamination précoce chez les enfants et même les adultes.

2-6 Autres stratégies

2-6-1 Prévention dans la population

L'exposition de la population varie avec les activités et l'occupation du territoire. Les activités situées à proximité des zones d'émission de poussières doivent être réglementées afin de réduire la quantité absorbée par jour en fonction du NOEAL pour une exposition prolongée.

Le cadmium est l'un des métaux lourds le plus soluble dans le sol. A concentration élevée, il est accumulé par les plantes qui contaminent la chaîne alimentaire. Les plantes sont aussi contaminées par des dépôts de poussières. Les fumées et les cendres volantes des incinérateurs jouent aussi un rôle important dans la contamination.

Tous les scénarios d'exposition doivent être explorés pour fournir des conseils appropriés pour limiter l'exposition des populations.

Les aliments susceptibles de concentrer le cadmium doivent être indiqués à la population et il faut trouver des sources de remplacement. Certaines plantes sont capables de cumuler ou de concentrer le cadmium dans leur organisme. Ce sont les épinards, les légumes de racine (les carottes, les betteraves) qui peuvent contenir des taux de cadmium élevés. L'épinard peut accumuler jusqu'à 2000 µg/g. Le choix judicieux de meilleures variétés de plantes permet de limiter l'accumulation.

La consommation de ces produits devra donc être restreinte ou réduite pour limiter l'exposition par ingestion ou conseiller aux producteurs à effectuer leur culture dans les zones éloignées de rejets de poussières.

Les produits de mer (crevettes, les poissons) sont susceptibles de renfermer de fortes concentrations de cadmium. La consommation de ces produits capturés dans la zone de déversement du polluant peut être dangereuse pour les consommateurs si la diète devient grande (supérieure au NOAEL).

Alors que les aliments de l'homme sont souvent lavés, les aliments des animaux ne bénéficient pas de ce traitement. Ceci a pour conséquence d'augmenter la concentration du cadmium dans le lait, les abats, le foie et les reins de ces animaux. Ce qui peut être à l'origine de la contamination de l'homme.

L'intoxication accidentelle au cadmium peut se faire après dissolution de composés de cadmium par les acides organiques dans certains aliments (aliments, sauces vinaigrées, vins) contenus dans des récipients ou poteries cadmiés. Certaines thérapeutiques utilisant le sulfure de cadmium ou des anthelmentiques pour la volaille et les porcs peuvent constituer des sources de contamination de l'homme.

2-6-2 Prévention chez les enfants

Les enfants sont l'avenir de notre société. Ils constituent un groupe cible particulier (ingestion du sol) (WHO, 2003). Il est important de protéger leur santé et veiller à ce qu'ils vivent dans un environnement qui leur permette de développer pleinement les capacités dont ils sont dotés en tant qu'individus, membres et acteurs de la société. La relation entre la croissance, le développement psychomoteur et la pollution due à plusieurs composés chimiques est établie. Les enfants sont particulièrement vulnérables depuis l'étape de fœtus.

Les mesures de protection peuvent s'appliquer à la maison et à l'école. Les parents doivent veiller sur l'interdiction à la circulation des enfants dans les zones environnant l'usine de séchage.

À l'école les enseignants et le personnel d'hygiène doivent contribuer à la protection des enfants par l'enseignement de bonnes pratiques d'hygiène et recommander la protection des aliments vendus à l'école et en dehors de l'école, pour éviter le dépôt de poussières.

2-6-3 Prévention et surveillance chez les travailleurs

La prévention et la sécurité au travail constituent aussi une bonne mesure pour protéger limiter l'intoxication au cadmium. La présence de fines particules de phosphates dans

l'air ambiant augmente la probabilité de contamination des aliments et des travailleurs.

La prise de repas sur les lieux de travail doit être effectuée dans une zone exempte de contamination. Des précautions sont aussi importantes pour préserver et protéger la santé des travailleurs et de la population entre autres :

- préconiser aux travailleurs une alimentation riche en calcium pour empêcher l'absorption du cadmium.
- conseillers aux travailleurs de cesser de fumer pour réduire la probabilité de manifester les effets de la contamination.
- prévention médicale et surveillance : il faut établir une surveillance sur la prévention des troubles rénaux, pulmonaires, osseux et cardio-vasculaires par des examens biologiques dans la population en général et particulièrement chez les employés de cette usine (dosage de cadmium dans le sang et dans les urines, la protéinurie, la radiographie du thorax et du bassin pour la mise en évidence de lésions pulmonaires et éventuellement osseuses).

La recherche de dents jaunes cadmiques ne constitue pas un facteur d'identification de l'intoxication au cadmium, mais reste un indicateur présomptif.

RECOMMANDATION

Ce travail aurait eu un avantage plus grand si certains aspects ou volets du travail avaient été élaborés, entre autre :

- Des mesures ou des estimations des niveaux d'exposition de la population à travers les divers médias d'entrée du cadmium avaient été faite à la source d'émission et en divers autres endroits adéquatement choisis (zone résidentielle). Néanmoins il reste une ébauche qui pourra être complétée par des études additionnelles et plus précises pour connaître les niveaux exacts d'exposition des travailleurs et de la population en général.
- Il sera aussi important d'élaborer des stratégies d'intervention à partir d'essais techniques pour connaître les conditions physico- chimiques nécessaires pour l'élimination optimale de ce métal dans les divers milieux.

Certains aspects juridico-institutionnels peuvent permettre une bonne politique de prévention des intoxications dues aux activités de l'homme.

- Le code de l'environnement promulgué en 1988 est le seul cadre réglementaire en matière de la protection de l'environnement et de la santé de l'homme qui devait permettre la prise en compte de question d'environnement dans le processus d'industrialisation. Mais son application n'est pas effective jusqu'à ce jour. Des insuffisances et manquements figurent dans ce code pour lui donner une plus grande force. Il ne mentionne pas le cas de pollution par un ouvrage ou une installation des cours d'eau ou de la mer et le cas des effets nuisibles des substances naturelles comme celui du cadmium. Une révision de ce code et en même temps la mise en application de la nouvelle version est nécessaire si l'on veut assurer la protection de la santé de l'homme et la préservation de l'environnement.
- Il est aussi indispensable d'organiser le circuit de récupération et de collecte de batteries nickel-cadmium, et privilégier celles rechargeables pour prolonger

leur durée de vie et ainsi permettre d'éviter la dissémination de ce métal lourd (cadmium) aux conséquences catastrophiques.

- Il faut instituer une surveillance des effets liés à la contamination au cadmium. La communauté scientifique nationale, en collaboration des organismes internationaux, devra s'investir à quantifier le niveau de risque de la population face à ce phénomène et d'appliquer les solutions adaptées

La société d'exploitation, de concert avec le gouvernement, devra proposer et renforcer les mesures sociales pour mieux prendre en compte l'état de santé des populations exposées.

CONCLUSION

Il est évident de nos jours que les effets néfastes provoqués par les déchets industriels et les résidus de fonctionnement des activités anthropiques sur la santé des populations sont incontestables. Le cadmium est aussi capable de provoquer sur la santé de l'homme des effets considérables.

L'absence de certitude des preuves des effets cancérigènes directs du cadmium sur l'homme à partir des différentes voies 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. Les effets non cancérigènes sont à l'origine de plusieurs dysfonctionnements chez les populations exposées.

Le principe de précaution élargi à la gestion de risque sanitaire doit être appliqué dans ce contexte pour réduire les risques d'intoxication.

Le problème de santé dû au cadmium interpelle la population, le gouvernement et les organisations internationales surtout l'OMS à s'investir en vue d'apporter une solution adéquate pour préserver la population.

L'emploi de techniques adéquates peut permettre une bonne mesure pour réduire la propagation et la contamination du cadmium. Ces techniques couplées à un système de collecte de piles ou batteries nickel- cadmium peuvent permettre d'offrir à la population de bonnes conditions qui garantissent une vie saine.

Une sensibilisation de la population sur les dangers inhérents à cette substance est importante pour une prise de conscience et une participation de la population aux différentes stratégies de protection. Une surveillance dans la population de travailleurs ou vivant à proximité de l'usine ou dans les zones où la concentration peut se révéler élevée est utile pour détecter l'apparition d'effets et de mettre en place un plan d'intervention pour corriger le fléau et limiter les expositions.

La recherche de solution à la contamination au cadmium est une opération qui permet de résoudre aussi le problème de pollution par les eaux troubles, et ainsi une action

de protection de l'environnement (lutte contre la pollution des eaux usées). Les étapes de clarification permettent la dépollution par les MES. La mise en œuvre de cette solution assure aussi un équilibre écologique des êtres vivants dans la mer.

RESUME

La santé environnementale est aujourd'hui une problématique majeure pour le bien-être des populations. La nature nous fait courir certains risques, mais les effets découlant des activités anthropiques viennent aggraver ces risques : les pesticides, les métaux lourds, les gaz et autres composés répandus dans l'environnement.

Les métaux lourds sont aujourd'hui parmi les éléments naturels que l'on combat pour maintenir un niveau de santé acceptable du fait de leur toxicité et de leur ubiquité.

Le cadmium est l'un de ces métaux; il est rencontré dans la nature, et lorsqu'il contamine l'homme, il provoque des effets neurologiques, des perturbations endocriniennes, les troubles de croissance et des effets cancérologiques.

Une urgence d'assainissement s'impose pour offrir un cadre de vie agréable à la population. Il est important aujourd'hui de prendre en compte dans l'étude d'impact sur la santé de l'homme dans les études et d'envisager les solutions adéquates avant l'installation de site industriel. Lorsqu'un site est déjà installé, il faut alors chercher les moyens d'élimination adéquats pour épargner la population des atteintes à la santé et à l'intégrité de l'environnement.

Dans cette optique il convient de déterminer les contaminants industriels, de situer leurs sources d'émissions, de connaître le devenir des polluants, leurs effets sur la santé de l'homme, leur influence sur l'environnement, et en fin de situer les responsabilités des industries et proposer des mesures de correction de la situation engendrée.

La contamination au cadmium au Togo est provoquée par l'exploitation des phosphates, qui libère ce métal lourd dans divers compartiments de l'environnement. La lutte contre cette contamination passe par une combinaison de stratégies : l'élimination du cadmium dans l'eau de lavage de phosphates, l'élimination et le contrôle de ce métal dans l'eau de boisson, une amélioration de condition de séchage des phosphates et une sensibilisation des populations à ce problème. Le rôle du gouvernement, de l'entreprise, des institutions scientifiques est important dans cette recherche de solution.

Mots clés : cadmium, métaux lourds, contamination, matières dangereuses, effets cancérigènes, effets non cancérigènes, prévention, élimination.

Références bibliographiques

Monographies et articles

ALLAN H. S. et al., Contamination of drinking water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency, *Revue Bulletin of World Health Organisation*, Vol. 9, N°78 (2000) pp. 1093- 1103

BANDA P. et MONFORT P., Agents pathogènes et modification des environnements : quels risques actuels et futurs?, *Rev. Environnement, Risques et Santé*, Vol. 3, N°3, pp. 165 – 172 (mai – juin 2004).

SANDERS C. L. and MAHAFFEY J. M., (1984) Carcinogenicity of single and multiple intracheal instillations of cadmium oxide in the rat, *Environment Reseach*, N° 33, pp 227-233.

CURTIS D. K., *Toxicology, The basic science of poisons*, Casarett et Doull's, 6^e édition (2001) pp.822-826, 1073-1074

FOUCHÉCOURT M.-O. et BEAUSOLEIL M., Critères de santé pour la valorisation agricole des matières fertilisantes, *Bulletin d'Information en Santé Environnementale*, Vol. 12, N° 3 (mai – juin 2001), Québec.

GAGNON C., VAILLANCOURT G. & L. PAZDERNIK (1999). L'accumulation et l'élimination de cadmium par deux mousses aquatiques, *Fontinalis dalecarlica* et *Platyphynidium ripariodes* : Influence de la concentration de Cd, du temps d'exposition, de la dureté de l'eau et de l'espèce de mousses. **Rev. Sci. Eau** 12 (1) : 219-237

GÉRIN M., et al., *Environnement et Santé Publique, Fondements et pratiques*, éd. TEC & DOC, 2003 1023 p.

HAGUENOER J. M., FURON D., Toxicologie et hygiène industrielles, Tome 1, éd. Technique et documentation, 1981; pp. 213- 238

FRIBERG L., Cadmium in the environment, CRC Press, 2^e éd., 1974, p.48

GUY L. et VIERLING E., Microbiologie et toxicologie des aliments, Hygiène et sécurité alimentaire, col. Bioscience et Technique; éd. Doin pp. 149- 156

THUN M. J., SCHNORR T. M., SMITH A. B., and HALPERIN W. E. (1985), Mortality among a cohort of U.S. cadmium production workers : an update, Journal of National cancer Institut 74 (2) : 325-333.

Mémento technique de l'eau, Degremont, Tomes 1 et 2, 9^e édition (1989)

MOKHTAR G., E. HOSSNY, EL-AWADY M. and ZEKRY M., In utero exposure to cadmium pollution in Cairo and Giza governorates of Egypt, Eastern Mediterranean Health Journal, Vol. 8, n°2 and 3 (March 2002) www.emro.who.int/publications/emhj/0802_3/index.htm, consulté le 22/07/2004

LEMEN R. A., WAGONER J. K. and BLEJER H. P., (1976), Cancer mortality among cadmium production workers. Annals of the New York Academy of Sciences, pp 271- 273

LAUWERYS R. R., Toxicologie industrielle et intoxication professionnelles, 4^e édition, MASSON (1999), pp 81- 98; 171-188.

TAKENDA S., OLDIGES H., KONIG H., HOCHRAINER D. and OBEROERSTER G. (1983), Carcinogenicity of cadmium aerosols in wistar rats, Journal of National Cancer Institut, 70: 367-373

U. S. EPA (1985), Update Mutagenicity and Carcinogenicity Assessment Document of Cadmium, Addendum to the Health Assessment Document for Cadmium (EPA 600/B-B1-

023)

Mémoires

KINVI M. (2000), Impacts environnementaux d'une industrie minière : cas de l'Office Togolais des Phosphates (OTP), mémoire DEA-PTCI, FaSEG, Université de Ouagadougou, Ouagadougou

TCHASSANTI O. A., Contribution à l'étude du comportement de quelques éléments métalliques dans les phosphates naturels (apatites): cas des phosphates de Hahotoé (TOGO), Mémoire N°98/05/G.E.E./ESTBA-UB, Université de Lomé

Rapports et communications

ATSDR, Agency for Toxic Substances and Diseases Registry) Water and Public Health <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/phs5.html> consulté le 22 /07/2004

CSP Hydro-Québec, Guide de gestion des matières dangereuses, Hydro-Québec, CSP (avril 2003)

HOLDEN H. (1980), Further mortality studies on workers exposed to cadmium fumes. Presented at Seminar on Occupational Exposure to Cadmium, march 20, 1980, London, England.

LAURE D., Méthodologie de l'évaluation des risques sanitaires, Communication Journée régionale centre, Direction des Risques Chroniques, Unité Évaluation des Risques Sanitaires INERIS, 7 Octobre 2003 (France)

VERLOO M., Les métaux lourds dans les denrées alimentaires: origine et évolution des teneurs, Symposium « Les oligo-éléments dans l'alimentation en Belgique », Institut Danone, Novembre 2003 http://www.danone-institute.be/communication/pdf/oligo/pr-verloo_fr.pdf

Ministère de l'Environnement (1992), Rapport national sur l'état de l'environnement au Togo, Lomé.

OMS, Aspects sanitaires et nutritionnels des oligoéléments et des éléments en traces, OMS, Genève 1987, pp 207-210.

QUÉBEC, Ministère de la santé et de services sociaux, Principes directeurs d'évaluation toxicologique pour la santé humaine de nature environnementale, Québec, 2002, 87 p. [MSSS, 2002 (b)]

QUÉBEC, Ministère de la santé et des services sociaux, Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine dans le cadre de la procédure de d'évaluation des impacts sur l'environnement et de l'examen des projets de réhabilitation de terrains contaminés, Québec, 2002, 124 p. [MSSS, 2002 (a)]

Récupération des matières dangereuses, Manuel du formateur ou de la formatrice, Hydro-Québec, CPS (Février 2003)

THE WORLD BANK (1998), Pollution prevention and abatement Handbook, Washington D.C

THIOMBIANO T. (2002), (Madelinots pour le Respect du Golfe) Analyse de l'impact environnemental sur l'eau de mer de l'Office Togolais des Phosphates (OTP) à l'aide de l'approche socioéconomique http://www.mouvementmrg.org/documents/impact_eau.pdf, consulté le /07/2004

SUDHIR D'SOUZA, Mécanisme de la néphrotoxicité du cadmium et du plomb dans les reins en développement ou adultes, Initiative de la recherche sur les substances toxiques, Santé Canada, p. 55

<http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/eau/pdf/ep/cadmium.pdf> , consulté le /10/2004

WHO, Air quality guidelines, cadmium, Copenhagen 2000, chapter 6.3

WHO, Protéger les enfants contre les expositions aux produits chimiques, 4^e Session du Forum intergouvernemental sur la Sécurité Chimique (IFSC), Bangkok Novembre 2003.

Autres documents et sites

EDOUARD B., Cadmium, ses composés et émission

<http://sorel-tracy.qc.ca/~edouardb/>

<http://perso.wanadoo.fr/smart2000/index.htm>, consulté le 23/07/20

INERIS: Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, Une stratégie de développement durable, INERIS magazine, Mai 2002, p. 5-7

<http://www.epa.gov/dclead/health.htm>, consulté le 18/10/2004

Intranet Hydro- Québec

<http://intranet.hydro.qc.ca>

<http://environnement.hydro.qc.ca>

Loi sur la qualité de l'environnement

http://publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/Q_2/Q2.htm

Règlement sur les matières dangereuses, Québec (Avril2004)

http://publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R15_2.HTM

Règlement sur la récupération et la valorisation des contenants de peintures mis au rebut

http://publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R20_01.HTM