



**EHESP**



---

**Ingénieur du Génie Sanitaire**

Promotion : **2010 - 2011**

Date du Jury : **Octobre 2011**

---

**Etude de faisabilité d'une Evaluation de Risques  
Sanitaires associés à la pratique de brûlage des  
déchets dans la décharge brute des Badamiers  
(Petite-Terre) à Mayotte**

---

**Sabrina MEKHOUS**

Lieu de stage :

**ARS Océan Indien - Délégation  
de l'île de Mayotte**

Référent professionnel :

**M. Julien THIRIA**

Référent pédagogique :

**M. Jean CARRE**

---

## Remerciements

---

Je tiens, tout d'abord, à remercier mon référent professionnel, M. Julien THIRIA, responsable de pôle « Promotion de la santé et milieux de vie » à l'ARS Océan Indien - Délégation de l'île de Mayotte, pour son suivi tout au long de ce stage, ses conseils avisés et son aide à l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie également mon référent pédagogique, M. Jean CARRE, professeur à l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, pour la pertinence de ses conseils.

Je présente mes remerciements à Mme Chantal de SINGLY, directrice de l'ARS Océan Indien et à Mme Danielle MOUFFARD, directrice de la Délégation de l'île de Mayotte, pour m'avoir accueillie au sein de leur structure.

Je remercie particulièrement M. Jacques GRELOT, responsable de l'unité technique de gestion du fonds européen de développement (UTG-FED) pour avoir répondu à mes interrogations et m'avoir fourni nombre de documents intéressants.

Je remercie également M. Philippe JUSIAK, directeur adjoint de la direction « Aménagements, Infrastructures et Environnement » du Conseil Général de Mayotte, pour m'avoir permis de rencontrer certains acteurs de la politique de gestion des déchets à Mayotte et m'avoir transmis plusieurs documents d'intérêt.

Je remercie le syndicat du SIVOM Petite-Terre et ses agents qui m'ont accompagnée sur le site lors de la première visite ainsi que les gardiens et les récupérateurs présents sur le site qui ont bien voulu répondre à mes questions. Merci également aux riverains de Petite-Terre et aux agriculteurs et éleveurs pour m'avoir fait part de leurs remarques et pour avoir répondu à mes interrogations.

Pour m'avoir fourni des documents d'importance et pour leur aide, je tiens à remercier M. DENYS (ARS Océan Indien - La Réunion), Mme LERNOUT (Cire Océan Indien-Mayotte), MM. VERLAIN et GASC (Antenne Météo France à Mayotte), M. CROCIS (DAF), M. CHRISTIAN (Société EDM), M. BOSTSARRON (Total Mayotte), M. TEMEY (bureau d'étude SEGC), M. JAOUEN (BRGM), M. de la ROCH (SIEAM).

Enfin, je tiens à remercier toute l'équipe de la « Lutte Anti-Vectorielle » et le service « Santé-Environnement » de la délégation de l'île de Mayotte.

---

# Sommaire

---

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Contexte.....</b>	<b>3</b>
1.1 Présentation de l'île de Mayotte.....	3
1.1.1 Situation géographique.....	3
1.1.2 Situations socio-économique et culturelle .....	3
1.2 Gestion des déchets à Mayotte .....	4
1.2.1 Historique de la gestion des déchets et approche socio-comportementale ..	4
1.2.2 Evolution des tonnages et de la nature des déchets .....	5
1.2.3 Situation actuelle de la gestion des déchets.....	7
1.2.4 Définition de la politique de gestion des déchets future : le PEDMA.....	10
1.3 Cadre réglementaire .....	10
1.3.1 Au niveau européen.....	10
1.3.2 Au niveau national .....	11
1.4 Objectifs et attentes du stage .....	11
<b>2 Revue bibliographique .....</b>	<b>13</b>
2.1 Données de la littérature sur le brûlage à ciel ouvert de déchets ménagers et les feux de décharge .....	13
2.2 Polluants traceurs .....	15
2.2.1 Polluants organiques persistants.....	16
2.2.2 Eléments traces métalliques.....	23
2.2.3 Hydrocarbures aromatiques polycycliques .....	23
<b>3 Etat des lieux et analyse des risques sanitaires associés à la décharge des Badamiers.....</b>	<b>25</b>
3.1 Présentation de la décharge des Badamiers .....	25
3.1.1 Modes de gestion de la décharge.....	26
3.1.2 Nuisances associées à l'exploitation de la décharge et au brûlage des déchets .....	27
3.1.3 Quantification et caractérisation des déchets accueillis sur le site .....	28
3.1.4 Estimation de la production en dioxines et furanes .....	29
3.2 Occupation du territoire.....	30

3.2.1	Les zones habitées .....	30
3.2.2	Agriculture et élevage .....	31
3.2.3	Sites industriels .....	32
3.2.4	Autres activités humaines .....	33
3.3	Diagnostic environnemental .....	33
3.3.1	Analyse topographique .....	33
3.3.2	Analyse hydrologique.....	34
3.3.3	Analyse géologique.....	34
3.3.4	Analyse hydrogéologique.....	35
3.3.5	Analyse météorologique.....	36
3.3.6	Synthèse .....	37
3.4	Recueil des données alimentaires .....	41
3.4.1	Consommation alimentaire de la population mahoraise .....	41
3.4.2	Part de l'autoconsommation dans l'alimentation.....	41
<b>4</b>	<b>Stratégies d'évaluation de l'impact sanitaire.....</b>	<b>43</b>
4.1	Evaluation de risques sanitaires.....	43
4.1.1	Identification des dangers et choix des polluants.....	43
4.1.2	Estimation des relations dose-réponse .....	44
4.1.3	Evaluation des expositions.....	44
4.1.4	Caractérisation des risques.....	46
4.1.5	Analyse des incertitudes .....	46
4.2	Biomonitoring .....	46
<b>5</b>	<b>Campagne métrologique .....</b>	<b>47</b>
5.1	Choix des polluants .....	47
5.2	Choix des matrices à échantillonner .....	47
5.3	Choix des points de mesure.....	49
5.4	Choix des périodes de mesure.....	49
5.5	Analyse des résultats .....	49
	<b>Conclusion .....</b>	<b>51</b>
	<b>Bibliographie.....</b>	<b>53</b>
	<b>Liste des annexes.....</b>	<b>I</b>

---

# Liste des figures, tableaux et illustrations

---

## FIGURES

Figure 1: Localisation géographique de l'île de Mayotte .....	3
Figure 2: Ile de Mayotte .....	3
Figure 3: Contenu d'une poubelle mahoraise .....	7
Figure 4: Gestion des déchets par les syndicats intercommunaux .....	8
Figure 5: Structure générale des PCDD (dioxines) .....	18
Figure 6 : Structure générale des PCDF (furanés).....	18
Figure 7: Localisation des communes de Dzaoudzi-Labattoir et Pamandzi .....	30

## TABLEAUX

Tableau 1: Production annuelle des déchets solides en 2007, par catégorie .....	6
Tableau 2: Inventaire des substances potentiellement rejetées par le brûlage à ciel ouvert de déchets ménagers et industriels.....	15
Tableau 3: Tonnages de déchets totaux pour l'année 2006-2007 .....	29
Tableau 4: Prélèvements à réaliser dans les matrices environnementales, selon polluants .....	48

## ILLUSTRATIONS

Illustration 1: Localisation géographique de la décharge .....	26
--	----

---

## Liste des sigles utilisés

---

<b>ARS</b>	Agence <b>R</b> égionale de <b>S</b> anté
<b>ATSDR</b>	Agency for <b>T</b> oxic <b>S</b> ubstances and <b>D</b> isease <b>R</b> egistry
<b>BRGM</b>	<b>B</b> ureau de <b>R</b> echerches <b>G</b> éologiques et <b>M</b> inières
<b>BTEX</b>	<b>B</b> enzène <b>T</b> oluène <b>E</b> thylène <b>X</b> ylènes
<b>CBz</b>	<b>C</b> hlorobenzène
<b>CET</b>	<b>C</b> onseil et <b>E</b> tudes <b>T</b> echniques
<b>CIRC</b>	<b>C</b> entre <b>I</b> nternational de <b>R</b> echerche sur le <b>C</b> ancer
<b>Cire</b>	<b>C</b> ellule de l'institut de veille sanitaire en <b>r</b> égion
<b>CITEPA</b>	<b>C</b> entre <b>I</b> nterprofessionnel <b>T</b> echnique d' <b>E</b> tudes de la <b>P</b> ollution <b>A</b> tmosphérique
<b>CO</b>	Monoxyde de carbone
<b>COV</b>	<b>C</b> omposés <b>O</b> rganiques <b>V</b> olatils
<b>COVNM</b>	<b>C</b> omposés <b>O</b> rganiques <b>V</b> olatils <b>N</b> on <b>M</b> éthaniques
<b>CPh</b>	<b>C</b> hloro <b>p</b> hénol
<b>CSDU</b>	<b>C</b> entre de <b>S</b> tockage des <b>D</b> échets <b>U</b> ltimes
<b>CSDND</b>	<b>C</b> entre de <b>S</b> tockage de <b>D</b> échets <b>N</b> on <b>D</b> angereux
<b>DASRI</b>	<b>D</b> échets d' <b>A</b> ctivités de <b>S</b> oins à <b>R</b> isques <b>I</b> nfectieux
<b>DEEE</b>	<b>D</b> échet d' <b>E</b> quipement <b>E</b> lectrique et <b>E</b> lectronique
<b>DIB</b>	<b>D</b> échets <b>I</b> ndustriels <b>B</b> anals
<b>DDT</b>	<b>D</b> ichlorodiphényltrichloroéthane
<b>DOM</b>	<b>D</b> épartement d' <b>O</b> utre- <b>M</b> er
<b>EQRS</b>	<b>E</b> valuation <b>Q</b> uantitative des <b>R</b> isques <b>S</b> anitaires
<b>ERI</b>	<b>E</b> xcès de <b>R</b> isque <b>I</b> ndividuel
<b>ERU</b>	<b>E</b> xcès de <b>R</b> isque <b>U</b> nitaire
<b>ERS</b>	<b>E</b> valuation de <b>R</b> isques <b>S</b> anitaires
<b>ETM</b>	<b>E</b> léments <b>T</b> races <b>M</b> étalliques
<b>FED</b>	<b>F</b> onds <b>E</b> uropéen de <b>D</b> éveloppement
<b>HAP</b>	<b>H</b> ydrocarbures <b>A</b> romatiques <b>P</b> olycycliques
<b>HCB</b>	<b>H</b> exachlorobenzène
<b>ICPE</b>	<b>I</b> nstallations <b>C</b> lassées pour la <b>P</b> rotection de l' <b>E</b> nvironnement
<b>IEDOM</b>	<b>I</b> nstitut d' <b>E</b> mission des <b>D</b> épartements d' <b>O</b> utre- <b>M</b> er
<b>IGN</b>	<b>I</b> nstitut <b>G</b> éographique <b>N</b> ational
<b>INERIS</b>	<b>I</b> nstitut <b>N</b> ational de l' <b>E</b> nvironnement industriel et des <b>R</b> ISques
<b>INSEE</b>	<b>I</b> nstitut <b>N</b> ational de la <b>S</b> tatistique et des <b>E</b> tudes <b>E</b> conomiques

<b>InVS</b>	<b>I</b> nstitut de <b>V</b> eille <b>S</b> anitaire
<b>IS</b>	<b>I</b> mpact <b>S</b> anitaire
<b>MODECOM</b>	<b>MODE</b> de <b>C</b> aractérisation des <b>O</b> rdures <b>M</b> énagères
<b>NGM</b>	<b>N</b> ivellement <b>G</b> énéral de <b>M</b> ayotte
<b>NOx</b>	Oxydes d'azote
<b>OEHHA</b>	<b>O</b> ffice of <b>E</b> nvironmental <b>H</b> ealth <b>H</b> azard <b>A</b> ssessment
<b>OM</b>	<b>O</b> rdures <b>M</b> énagères
<b>OMS</b>	<b>O</b> rganisation <b>M</b> ondiale de la <b>S</b> anté
<b>OTAN</b>	<b>O</b> rganisation du <b>T</b> raité de l' <b>A</b> tlantique <b>N</b> ord
<b>PBDE</b>	<b>P</b> oly <b>b</b> romodiphényléthers
<b>PBDD</b>	<b>P</b> oly <b>b</b> romodibenzo-para- <b>d</b> ioxines
<b>PBDF</b>	<b>P</b> oly <b>b</b> romodibenzofuranes
<b>PCDD</b>	<b>P</b> olychlorodibenzo-para- <b>d</b> ioxines
<b>PCDF</b>	<b>P</b> olychlorodibenzofuranes
<b>PEDMA</b>	<b>P</b> lan d' <b>E</b> limination des <b>D</b> échets <b>M</b> énagers et <b>A</b> ssimilés
<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>P</b> articulate <b>M</b> atter (particules fines)
<b>PNUE</b>	<b>P</b> rogramme des <b>N</b> ations <b>U</b> nies pour l' <b>E</b> nvironnement
<b>POP</b>	<b>P</b> olluants <b>O</b> rganiques <b>P</b> ersistants
<b>PVC</b>	Chlorure de polyvinyle (polyvinyl chloride)
<b>QD</b>	<b>Q</b> uotient de <b>D</b> anger
<b>RIVM</b>	Institut national de la santé publique et de l'environnement des Pays-Bas
<b>SICTOM</b>	<b>S</b> yndicat <b>I</b> ntercommunal de <b>C</b> ollecte et de <b>T</b> raitement des <b>O</b> rdures <b>M</b> énagères
<b>SIDS</b>	<b>S</b> yndicat <b>I</b> ntercommunal de <b>D</b> éveloppement du <b>S</b> ud
<b>SIEAM</b>	<b>S</b> yndicat <b>I</b> ntercommunal d' <b>E</b> au et d' <b>A</b> ssainissement de <b>M</b> ayotte
<b>SIG</b>	<b>S</b> ystème d' <b>I</b> nformation <b>G</b> éographique
<b>SIVOM</b>	<b>S</b> yndicat <b>I</b> ntercommunal à <b>V</b> Ocation <b>M</b> ultiple
<b>SO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de soufre
<b>TEF</b>	Facteur d'Equivalent Toxique ( <b>T</b> oxic <b>E</b> quivalency <b>F</b> actor)
<b>TEQ</b>	Quantité d'Equivalent Toxique ( <b>T</b> oxic <b>E</b> quivalency <b>Q</b> uantity)
<b>UIOM</b>	<b>U</b> nité d' <b>I</b> ncinération d' <b>O</b> rdures <b>M</b> énagères
<b>US EPA</b>	<b>U</b> nited <b>S</b> tates <b>E</b> nvironmental <b>P</b> rotection <b>A</b> gency
<b>VTR</b>	<b>V</b> aleur <b>T</b> oxicologique de <b>R</b> éférence

## Introduction

Le brûlage des déchets à ciel ouvert est une pratique extrêmement courante dans les pays en développement, où les structures de traitement de déchets ne sont pas toujours existantes ou effectives.

Mayotte est devenue le 5<sup>ème</sup> département d'outre mer (DOM) français en mars dernier. Située dans l'Océan Indien, l'île forme un territoire atypique aux influences variées, africaines et malgaches notamment. Le développement économique rapide et les mutations sociétales et culturelles récentes de l'île ont conduit à un changement important des modes de vie de la population mahoraise.

Cependant, de nombreuses problématiques environnementales persistent et concourent à une dégradation générale de l'environnement. En effet, Mayotte est encore loin d'atteindre les objectifs réglementaires imposés par la France et l'Europe en matière d'assainissement et de gestion des déchets.

Sur l'île, la gestion des déchets en est encore à ses balbutiements et constitue un problème majeur de santé publique. Plusieurs décharges existent mais leur non-conformité est susceptible de faire encourir des risques sanitaires aux populations environnantes. La pratique de brûlage des déchets à ciel ouvert est encore très présente dans la décharge des Badamiers (à Petite-Terre). Le caractère quotidien de ce brûlage est particulièrement préoccupant en raison de l'émission possible de substances toxiques. De nombreuses inquiétudes ont par ailleurs été soulevées par la population et les associations environnementales.

L'objectif de ce mémoire est de réaliser un état des lieux général et de caractériser, de la manière la plus exhaustive possible, le site de la décharge et ses impacts potentiels sur l'environnement et la santé humaine. L'évaluation des risques sanitaires constitue une méthode de choix qui vise à analyser le caractère dangereux d'une situation, à identifier les polluants pouvant en résulter et à évaluer les risques sanitaires potentiels. Aussi, ce travail permettra de conclure quant à la faisabilité d'une telle évaluation de risques sanitaires associés au brûlage des déchets sur la décharge des Badamiers, à Mayotte.



# 1 Contexte

## 1.1 Présentation de l'île de Mayotte

### 1.1.1 Situation géographique

L'île de Mayotte, encore appelée « île hippocampe » en raison de sa forme, est située au nord du canal du Mozambique entre le continent africain et Madagascar (cf. figure 1). Elle est, avec la Grande Comore, Mohéli et Anjouan, une des îles composant l'archipel des Comores. Contrairement aux autres îles voisines, l'île de Mayotte a fait le choix de rester française et est devenue, de fait, le 5<sup>ème</sup> DOM et le 101<sup>ème</sup> département français le 31 mars 2011. Mayotte, dont la superficie totale avoisine les 376 km<sup>2</sup>, se compose de deux îles principales, Grande-Terre et Petite-Terre, et d'une trentaine d'îlots (cf. figure 2).



Figure 1: Localisation géographique de l'île de Mayotte



Figure 2: Ile de Mayotte (Source: <http://focuscaraibes.typepad.com>)

### 1.1.2 Situations socio-économique et culturelle

Au confluent de l'Afrique et de l'Occident, Mayotte est un département atypique où se mêlent influences occidentales et traditions locales. La religion musulmane est une composante importante de la société mahoraise, qui régit les rythmes de vie, notamment en période de ramadan. La langue officielle est le français, bien qu'une partie de la population ne le parle pas ou très peu. Les deux langues locales les plus représentées sont le shimaoré et le shibushi.

La population de Mayotte était estimée à 186452 habitants au dernier recensement de 2007 contre 160252 en 2002, soit une augmentation de 16% en 5 ans (INSEE, 2010). Cet accroissement important de la population (près de 3,1% de taux de croissance annuel

moyen) s'explique principalement par la forte croissance démographique et l'immigration en provenance des îles voisines. Environ 40% de la population résidant à Mayotte est de nationalité étrangère (principalement comorienne). Cette population, qui est pour la majorité relativement jeune (moins de 16 ans), a émigré sur le territoire mahorais en espérant bénéficier de meilleures conditions de vie socio-économiques et sanitaire (INSEE, 2010). De la même façon, la population de Mayotte est très jeune ; l'âge moyen des Mahorais étant de 22 ans contre 39 ans en France métropolitaine. Le chômage, bien qu'en forte baisse, s'élève encore à 26% en 2007 (INSEE, 2010).

## **1.2 Gestion des déchets à Mayotte**

La gestion des déchets constitue l'une des problématiques environnementales et sanitaires majeures à Mayotte. Bien qu'elle représente un réel enjeu pour la protection de l'environnement et la salubrité publique, la gestion des déchets n'est que depuis peu une priorité politique. La question de la gestion et du traitement adéquats des déchets n'a été abordée que récemment. Or, on observe, depuis quelques années, une augmentation considérable de la production de déchets. La nature des déchets a, elle aussi, été modifiée. Le développement économique rapide, l'importante pression démographique et les évolutions sociétales expliquent en partie ces changements. Actuellement, aucune décharge de l'île de Mayotte n'est aux normes et ne respecte la réglementation en vigueur. Les cinq décharges de l'île constituent toutes des décharges à ciel ouvert, en proie à l'envol des déchets et à la pollution des milieux. Elles sont saturées, et les déchets qui y arrivent, suivent, peu ou prou, le même « traitement », à savoir l'entassement, l'enfouissement non réglementaire, voire le brûlage à l'air libre.

### **1.2.1 Historique de la gestion des déchets et approche socio-comportementale**

Historiquement, le brûlage constituait un mode traditionnel d'élimination des déchets qui était largement pratiqué sur l'ensemble du territoire mahorais. Un lieu destiné au dépôt et au traitement des déchets ménagers, appelé « majajou » en shimaoré ou « puringa » en shibushi, était défini au sein de chaque village (Guyot & Soilihi, 2008). Les déchets pouvaient alors y être brûlés. Une autre partie des déchets était également rejetée dans l'environnement et était alors évacuée par les eaux de pluie vers le littoral. Bien que cette technique de brûlage à ciel ouvert soit considérée comme une pratique obsolète et dangereuse dans les pays industrialisés, elle est encore largement répandue dans de nombreux pays en développement (Estrellan *et al.*, 2010). En effet, le brûlage constitue, dans ces pays, le moyen d'élimination des déchets le moins cher, le plus facile et est efficace sur le plan sanitaire (Estrellan *et al.*, 2010). Outre la réduction en masse et en volume des déchets, le brûlage permet aussi d'éviter leur putréfaction et la formation de lixiviats associée. Il limite la présence d'animaux nuisibles (rats, mouches, moustiques,

*etc.*) et réduit ainsi les risques de développement et de transmission de certaines maladies (paludisme, leptospirose, maladies oro-fécales, *etc.*) (Action contre la faim, 2006).

Cependant, la quantité de déchets produits par les ménages mahorais ne cesse de s'accroître. Le développement économique de l'île a indéniablement participé à cette augmentation effrénée de la production de déchets. Par ailleurs, les nouvelles habitudes de vie ont conduit à une modification de la nature des déchets. Ces derniers contiennent de plus en plus de matières non putrescibles, à savoir, des plastiques (tels que des déchets d'emballages), des textiles sanitaires, et des métaux (canettes, notamment). Malgré les actions de sensibilisation environnementale récentes, la population mahoraise n'a pas encore pris conscience de cette évolution de la nature des déchets. Ils continuent à être jetés dans la nature, comme s'il s'agissait toujours de déchets de nature organique. Cette pratique entraîne une pollution majeure et la présence de nombreux macrodéchets dans l'environnement. L'enquête de Guyot & Soilihi (2008) menée auprès des ménages mahorais, a mis en évidence une différence notable de perception de dangerosité des déchets entre les ménages aisés et modestes de Mayotte. En effet, même si les deux types de ménages considèrent le sachet comme l'un des déchets les plus dangereux pour l'environnement mahorais (suite à une campagne de communication massive sur le sujet et la parution d'un arrêté préfectoral interdisant les sacs en plastiques dans les supermarchés de Mayotte), les ménages aisés identifient plus facilement les autres déchets dangereux pour l'environnement (produits chimiques, batteries automobiles). Ainsi, selon Guyot & Soilihi (2008), il apparaît nécessaire de mettre en place des campagnes d'information auprès du public, au moyen d'arguments scientifiques, dans le but de faire prendre conscience de l'impact des déchets dangereux sur l'environnement et de promouvoir un changement dans les comportements des usagers.

### **1.2.2 Evolution des tonnages et de la nature des déchets**

Ces dernières années, il a été observé un accroissement considérable de la population de Mayotte. En effet, elle a pratiquement été multipliée par 8 en l'espace de 50 ans (INSEE, 2007). Parallèlement, une certaine proportion de la population mahoraise a adopté un nouveau mode de consommation, de plus en plus occidentalisé. La consommation totale des habitants de l'île de Mayotte a été multipliée par 3 en dix ans d'après l'INSEE (2008). Les achats de produits alimentaires ont également doublé pour ce même intervalle de temps (INSEE, 2008). Les grandes et petites surfaces représentent aujourd'hui le lieu d'achat alimentaire principal pour 70% de la population (INSEE, 2008). Aussi, de plus en plus de déchets d'emballages (plastiques, cartons, canettes, *etc.*) sont générés sur le territoire, alors même qu'il est impossible de les recycler, de les valoriser ou de les

éliminer correctement. Un système de consigne de bouteilles en verre existe et fonctionne relativement bien à Mayotte. Parallèlement, on observe une consommation de plus en plus importante de produits jetables « nomades » (bouteilles en plastique et de canettes). Le contenu de la « poubelle mahoraise type » actuel a ainsi été grandement modifié et tend à se rapprocher de plus en plus de celui observé en métropole.

Une campagne de caractérisation et de quantification des déchets a été réalisée par TRIVALOR (Indiggo) en 2006-2007, dans le cadre de l'élaboration du Plan d'Élimination des Déchets Ménagers et Assimilés (PEDMA), pour le compte du Conseil Général de Mayotte. Elle a permis d'appréhender les tonnages de déchets collectés par les différents syndicats intercommunaux et d'identifier plus précisément leur nature. La quantité de déchets solides (tous déchets confondus) produite en 2007 atteint les 54600 tonnes soit 293 kg/an/hab. De la même façon, la quantité d'ordures ménagères (OM) générée pour la même année s'élève à 40400 tonnes soit 217 kg/an/hab., contre 391 kg/an/hab. en France métropolitaine (ADEME, 2007). Ainsi, la production sur l'île peut sembler relativement faible mais les prédictions d'accroissement de la population et d'augmentation inévitable de la production de déchets pourraient contribuer à réduire cet écart. Dans son étude, TRIVALOR met en évidence des variations saisonnières relativement importantes selon les syndicats intercommunaux. Ces dernières s'expliquent principalement par la production plus importante de déchets verts en saison humide. Le tableau 1 regroupe la production annuelle de déchets solides en 2007, par catégorie.

**Tableau 1: Production annuelle des déchets solides en 2007, par catégorie (Collectivité Départementale de Mayotte, 2010a)**

Types de déchets	OM	Encombrants	Déchets verts	Voirie	DIB <sup>a</sup>	DASRI <sup>b</sup>	Global	Population en 2007 (nombre d'habitants)	Production individuelle OM (kg/an/hab.)
<b>Tonnages (tonnes)</b>	40400	1200	9500	1300	2100	200	54700	186452	<b>217</b>

a Déchets Industriels Banals

b Déchets d'Activité de Soins à Risque Infectieux

En 1997, une première campagne de caractérisation des déchets a été réalisée à Mayotte. La comparaison des résultats a conclu en une augmentation considérable de certains types de déchets, notamment les plastiques et les textiles sanitaires (couches-culottes), dont la production a presque doublé et triplé, respectivement, en l'espace de dix ans (TRIVALOR/Indiggo, 2007).

La campagne de caractérisation de 2007, menée dans le respect de la nomenclature MODECOM (MODE de Caractérisation des Ordures Ménagères) développée par l'ADEME, a contribué à la connaissance plus fine de la composition actuelle des ordures



Figure 3: Contenu d'une poubelle mahoraise (Source : Conseil Général de Mayotte, 2010)

ménagères. Elle révèle une part extrêmement importante de déchets putrescibles puisque plus de la moitié du contenu de la poubelle mahoraise (56%) est représenté par des matières biodégradables (cf. figure 3). Cette prédominance de déchets putrescibles s'explique par la forte consommation en tubercules (manioc, songe, taro, etc.), bananes et autres aliments, qui produisent quantités d'épluchures et par l'importante production de déchets verts en saison des pluies. Ces résultats ont été comparés à ceux obtenus suite à la campagne nationale de caractérisation des ordures ménagère réalisée en 2007 par l'ADEME (cf. annexe 1). Les différences majeures concernent les déchets putrescibles, qui sont majoritairement représentés à Mayotte. La teneur en métaux (canettes en aluminium et en acier) est également supérieure à celle observée en métropole (4,4% contre 2,9% respectivement) mais les résultats de la campagne réalisée à Mayotte ont probablement été sous-estimés en raison du nombre important de canettes jetées dans la nature et donc non collectées. Les proportions de plastiques et de textiles sanitaires avoisinent presque celles de métropole, bien que les quantités de couches-culottes aient probablement été sous-évaluées, une grande partie étant jetée dans l'environnement. Enfin, la faible proportion de verre dans la poubelle type mahoraise est liée au fait que la majorité des bouteilles en verre est consignée.

### 1.2.3 Situation actuelle de la gestion des déchets

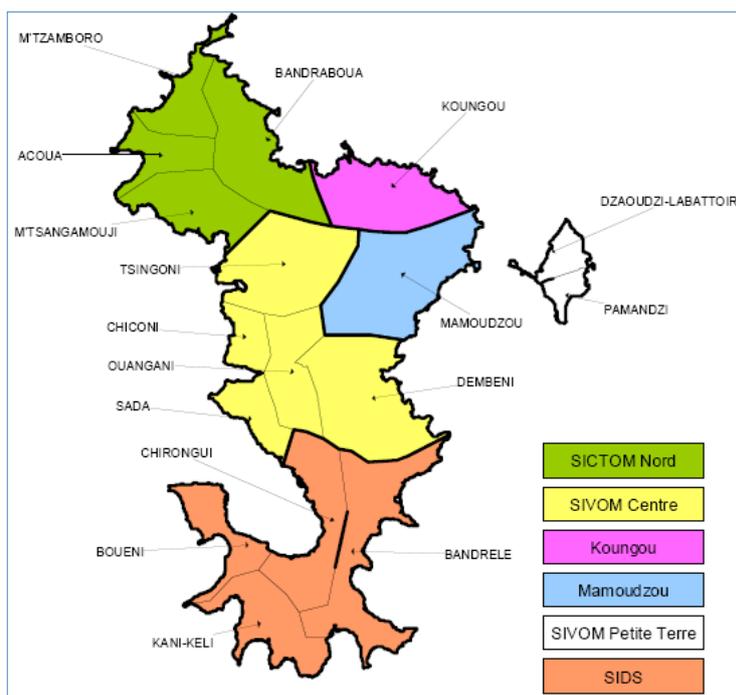
La gestion des déchets sur l'île de Mayotte est encore imparfaite et contribue à une dégradation générale de l'environnement extérieur urbain et rural.

#### *Une gestion des déchets peu organisée*

La responsabilité légale de l'élimination des déchets ménagers incombe aux communes, qui peuvent, cependant, la transférer à des structures intercommunales. A Mayotte, pour 15 des 17 communes de l'île, l'élimination des déchets ménagers a été confiée à quatre syndicats intercommunaux qui ont la double compétence de collecte et de traitement des ordures ménagères (cf. figure 4):

- Le Syndicat Intercommunal de Collecte et de Traitement des Ordures Ménagères (SICTOM) Nord
- Le Syndicat Intercommunal à Vocation Multiple (SIVOM) Centre
- Le Syndicat Intercommunal de Développement du Sud (SIDS)

- Le Syndicat Intercommunal à Vocation Multiple (SIVOM) de Petite-Terre



La commune de Mamoudzou fait appel à un prestataire privé, la société STAR, filiale du groupe SUEZ, pour la collecte des déchets produits dans sa commune. Quant à la commune de Kougou, elle a fait le choix d'être indépendante sur le plan de l'élimination des déchets ménagers (Régie de Kougou).

Figure 4: Gestion des déchets par les syndicats intercommunaux (Source: Collectivité Départementale de Mayotte, 2008)

**Des insuffisances de la pré-collecte, de la collecte et du transport des déchets**

La collecte des déchets sur l'île de Mayotte est encore imparfaite et aurait ainsi besoin d'être améliorée afin de garantir la salubrité publique et la protection de l'environnement. En effet, aucun syndicat intercommunal n'est en mesure de gérer efficacement les déchets produits sur sa commune. De nombreux éléments rendent la qualité du service de collecte fragile, notamment, le manque de régularité et la fréquence insuffisante de passage des bennes à ordures, l'insuffisance du nombre de bacs collecteurs, les difficultés ou manque d'entretien des camions-collecteurs (sophistication des bennes à ordures ménagères, coût des pièces détachées, absence de main d'œuvre spécialisée, etc.), le manque de formation des personnels de collecte. De plus, le coût non négligeable des sacs poubelles constitue un frein à l'achat pour les populations défavorisées de Mayotte. L'annexe 2 présente des photographies illustrant les insuffisances de la gestion des déchets.

Ainsi, les bacs de collecte sont très souvent encombrés et débordent. Il n'est pas rare de retrouver les sacs poubelles à même le sol, le plus souvent éventrés par des animaux (chats, chiens, rongeurs). Les populations démunies utilisent le plus souvent des « gouni » (sacs de riz réutilisables) ou déversent leurs ordures ménagères directement dans le bac de collecte ou sur la voirie. En raison du climat et des fortes températures, les déchets entrent beaucoup plus rapidement en putréfaction et entraînent souvent des nuisances olfactives. Les habitants utilisent généralement les caniveaux et les égouts

(ces derniers étant majoritairement à ciel ouvert) pour y déposer leurs déchets solides, ce qui entraîne fréquemment leur obstruction. Malheureusement, cet usage impacte aussi les mangroves et le lagon qui servent alors de dépotoirs. La précarité de la vie pour certains habitants fait qu'il est courant de voir des enfants fouiller les bacs dans le but de trouver des objets ou tissus qu'ils pourraient réutiliser. La population s'expose ainsi à des risques sanitaires en raison de la possible présence d'animaux nuisibles (notamment des rongeurs, mouches, *etc.*) et de déchets dangereux mélangés aux ordures ménagères.

Il n'existe pas, à Mayotte, de tri sélectif et de collecte sélective des déchets. Ainsi, les déchets habituellement collectés séparément, tels que le verre, les déchets verts, les déchets recyclables ou encore les déchets dangereux des ménages, se retrouvent avec les ordures ménagères. Quelques filières de récupération de déchets dangereux existent (piles usagées) mais les zones de dépôt sont peu nombreuses et pas toujours connues de la population. Ils finissent alors le plus souvent dans la poubelle. D'autres filières qui concernent les déchets dangereux des ménages et des entreprises se mettent progressivement en place, notamment pour les huiles usagées, la récupération des batteries automobiles ou encore les véhicules hors d'usage (VHU). En effet, la majorité de ces déchets sont généralement jetés en pleine nature, faute de structures existantes et sont alors susceptibles de polluer l'environnement et de contaminer l'Homme.

#### ***Des modes de traitement et d'élimination non conformes des déchets à Mayotte***

Cinq décharges brutes sont présentes sur le territoire mahorais. Ces décharges non conformes et illégales sont, néanmoins, autorisées et exploitées par les collectivités locales, dans l'attente de la création du centre de stockage de déchets ultimes (CSDU) ou installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND), qui est aujourd'hui prévu pour l'année 2012.

Toutes les décharges de l'île sont saturées et leur médiocre gestion, au-delà du fait qu'elle est génératrice de nuisances diverses pour la population locale, représente une menace certaine pour l'environnement, les espèces animales et l'Homme. En effet, les déchets arrivant en décharge sont entassés, enterrés voire brûlés à l'air libre. Cette pratique est courante au sein de la décharge des Badamiers (en Petite-Terre). La situation est particulièrement préoccupante en raison de son caractère hautement fréquent (la pratique y est quotidienne), de l'hétérogénéité des déchets accueillis sur le site (dont des déchets dangereux), et des conditions de réalisation du brûlage.

Ainsi, il apparaît essentiel de disposer, à Mayotte, d'un système de collecte des déchets effectif et de mettre en place, aussitôt que possible, des structures de traitement des déchets réglementaires afin de concourir à une amélioration majeure de l'hygiène, de la salubrité publique et de contribuer à la protection de l'environnement.

#### **1.2.4 Définition de la politique de gestion des déchets future : le PEDMA**

La loi n°2004-809 du 13 Août 2004, relative aux libertés et responsabilités locales, a transféré au département la compétence d'élaboration et de suivi du PEDMA. Le PEDMA a été pris en charge par le Conseil Général de Mayotte et a été validé le 4 octobre 2010. Il a pour objectif de définir la politique de prévention et gestion des déchets pour la période 2010-2020 avec comme enjeux majeurs, l'amélioration de la salubrité publique, la minimisation de l'impact des déchets sur l'environnement et la santé des populations, la préservation des ressources naturelles et la lutte contre le réchauffement climatique.

Le 9<sup>ème</sup> Fonds Européen de Développement (FED) a inscrit dans son programme la création et le financement total d'un CSDU, pour un montant de 7,5 millions d'euros. Cette installation de stockage de déchets ménagers et assimilés, qui sera implantée sur la commune de Dzoumogné, aura une capacité de 2 millions de m<sup>3</sup>. Sa durée de vie, estimée à 30 ans, a été calculée sur la base d'une production de déchets annuelle de 300 kg/an/hab. et pour une population de 200000 habitants (Collectivité Départementale de Mayotte, 2010a). La saturation actuelle des décharges brutes de l'île et les pratiques inadaptées et dangereuses de traitement des déchets rendent indispensable la création d'un tel centre de stockage respectant la réglementation en vigueur. Ce centre, après avoir esquissé un certain retard, devrait être mis en service courant 2012. La durée de vie de l'ISDND sera conditionnée par la croissance démographique, l'évolution future de la production de déchets et les mesures préventives mises en place afin de réduire la quantité de déchets ménagers et assimilés. Ainsi, si des actions de prévention de la production de déchets ne sont pas mises en œuvre rapidement, il est probable que la durée de vie de ce CSDU soit nettement réduite. Cela est d'autant plus vrai que les estimations futures d'accroissement de la population impliquent également une augmentation de la production de déchets. En outre, l'ouverture de ce CSDU risque encore de subir un retard puisque sa mise en service suppose la fermeture et la réhabilitation des décharges brutes existantes, la création de quais de transfert et de déchetteries, la mise en place du tri sélectif, la création d'un syndicat unique et l'appropriation entière du problème par la population et les collectivités de Mayotte.

### **1.3 Cadre réglementaire**

La gestion des déchets sur l'île de Mayotte ne répond pas encore aux exigences imposées par la réglementation nationale et européenne.

#### **1.3.1 Au niveau européen**

Le cadre réglementaire général dans le domaine de la gestion des déchets en Europe est constitué par les directives suivantes:

- Directive européenne 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux déchets et abrogeant certaines directives
- Directive européenne n° 2001/42/CE du 27 Juin 2001 relative à l'évaluation des incidences
- Directive européenne n° 2000/76/CE sur l'incinération des déchets
- Directive européenne n° 1999/31/CE sur la mise en décharge
- Directive européenne n° 2006/12/CE relative aux déchets
- Directive européenne n°2008/98/CE établissant une hiérarchie d'intervention sur les déchets

### **1.3.2 Au niveau national**

Le cadre réglementaire qui s'applique en France est constitué par les textes réglementaires nationaux suivants :

- Décrets n° 2005/613 2005 pris pour l'application de l'ordonnance n° 2004-489 du 3 juin 2004 relative à l'évaluation des incidences de certains plans et programmes sur l'environnement
- Décret n° 2011-828 du 11 juillet 2011 portant diverses dispositions relatives à la prévention et à la gestion des déchets
- Arrêté du 2 août 2011 modifiant l'arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux
- Arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux

## **1.4 Objectifs et attentes du stage**

Le sujet de mémoire initial, précisé dans la note de cadrage, consistait en une analyse des risques sanitaires associés à la pratique de brûlage à ciel ouvert de déchets dans la décharge de Chirongui. Or, lors de la première visite de cette décharge, il est apparu que le brûlage des déchets n'était plus pratiqué de façon régulière depuis l'année 2010. Actuellement, la décharge de Chirongui ne constitue plus qu'une plateforme d'entreposage des déchets, ces derniers étant par la suite transférés vers la décharge de Dzoumogné, située au nord de l'île. Néanmoins, cette pratique de brûlage perdure toujours au sein de la décharge des Badamiers (Petite-Terre) et est vivement contestée par les nombreuses associations environnementales de Mayotte. Aussi, il est apparu justifié de reconsidérer le site initial. Une comparaison des deux décharges a été effectuée; divers éléments de comparaison ont concouru au fait que le site d'étude de la décharge des Badamiers ait été retenu. Il est possible de citer, par exemple, le fait que l'exploitation de cette décharge soit plus ancienne que celle de Chirongui. Par ailleurs, la quantité des déchets accueillis sur le site est plus importante à Petite-Terre (4800 contre 3400 tonnes/an respectivement).

L'objectif général de ce travail consiste à dresser un état des lieux général de la décharge et d'évaluer l'ampleur et les conséquences associées à la problématique de brûlage des déchets à l'air libre. Dans un deuxième temps, ce travail visera à déterminer dans quelles mesures l'exploitation de cette décharge est à même d'entraîner une pollution des milieux de vie et de faire encourir des risques sanitaires aux populations environnantes. La démarche classique d'évaluation de risque sanitaire a été envisagée en premier lieu. Or, en l'absence de mesures environnementales sur le site d'étude, il s'est avéré difficile de pouvoir répondre à la question de l'exposition de la population et de pouvoir conclure quant à l'existence de risques sanitaires. Il a alors été décidé de réaliser une étude préliminaire à une évaluation de risque sanitaire et de conclure à la faisabilité d'une telle étude sur ce problème précis. Les deux premières étapes-clés de la démarche seront décrites de façon succincte, les données manquantes énoncées, et une première réflexion relative à la future campagne métrologique à mettre en œuvre sera intégrée au mémoire.

Le mémoire essayera d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Quelles sont les substances toxiques principalement émises par le brûlage à ciel ouvert de déchets ménagers et dangereux en décharge ? Quels sont les polluants traceurs de risque à considérer pour l'évaluation de risque sanitaire ?
- Quelles sont les conditions de réalisation du brûlage et dans quelle mesure ces dernières influencent-elles la production de substances toxiques, et notamment, de POP ?
- Existe-il un risque avéré de pollution de l'environnement et de contamination des chaînes alimentaires terrestre et maritime ?
- Quels risques sanitaires, l'exploitation de la décharge, fait-elle encourir à la population ?
- Quelles sont les sources majoritaires d'exposition des populations ?
- Quelles sont les populations les plus à risque ?
- De quelle manière peut-on réduire l'exposition des populations ? Quelles sont les mesures à prendre pour réduire considérablement cette exposition ?

## 2 Revue bibliographique

Relativement peu d'études ont été menées dans le but d'identifier et de quantifier les polluants émis par les feux de décharge. Cependant, une abondante littérature existe sur les substances toxiques produites par le brûlage incontrôlé de déchets ménagers, lorsqu'il est réalisé au niveau résidentiel (« brûlage de fond de jardin »). Dans une certaine mesure, la composition des fumées de décharges pourrait être assimilée à celle mesurée lors du brûlage de fond de jardin.

### 2.1 Données de la littérature sur le brûlage à ciel ouvert de déchets ménagers et les feux de décharge

Le brûlage incontrôlé de déchets ménagers peut entraîner l'émission de nombreux polluants toxiques dans l'air (Murphy *et al.*, 2008). Ces substances toxiques peuvent être libérées par pyrolyse des déchets, soit parce qu'elles y sont initialement présentes ou parce qu'elles sont formées lors de la combustion incomplète caractérisant ce type de brûlage (Lemieux *et al.*, 2001 ; Chrysikou *et al.*, 2008). En effet, les déchets ménagers sont susceptibles de renfermer de nombreuses substances dangereuses telles que des métaux lourds (mercure (Hg), plomb (Pb), chrome (Cr), arsenic (As), cadmium (Cd), *etc.*) et des polluants organiques persistants ou POP (polychlorobiphényles (PCB), hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), *etc.*). Ces substances peuvent provenir d'objets divers : batteries, peintures, plastiques contenant du PVC, huiles usagées et solvants, bois traité, déchets d'équipement électrique et électronique (DEEE) et déchets de l'industrie du bâtiment.

De nombreuses publications ont mis en évidence la formation d'autres POP, les dioxines (polychlorodibenzo-para-dioxines ou PCDDs) et les furanes (polychlorodibenzofuranes ou PCDFs), lors du brûlage incontrôlé de déchets ménagers à ciel ouvert (Gullett *et al.*, 2001 ; Chrysikou *et al.*, 2008 ; Mari *et al.*, 2009 ; Estrellan & lino, 2010 ; Zhang *et al.*, 2011). En effet, la combustion incontrôlée de déchets ménagers, qu'il s'agisse de brûlages de fond de jardin ou de feux de décharges, a été identifiée comme étant la source la plus significative de PCDD/Fs dans l'air dans de nombreux inventaires nationaux quantifiant les émissions de dioxines et furanes (Roots *et al.*, 2004 ; Zhang *et al.*, 2011). Selon Chrysikou *et al.* (2008), les décharges pourraient être considérées comme des sources d'émission dans l'atmosphère de POP, tels que les PCDD/Fs, les PCB ou encore les HAP, qui contamineraient l'environnement par l'intermédiaire des émissions atmosphériques, de la déposition des particules au sol et également en se volatilisant à partir de surfaces contaminées. Le brûlage à ciel ouvert de déchets ou de biomasse a

également été identifié comme la source majeure de production non intentionnelle de POP dans les pays en développement (Fiedler, 2007).

Les émissions de POP semblent à la fois dépendantes de la composition des déchets et des conditions de combustion (température de combustion des déchets, type de combustion, teneur en oxygène, type de contenant utilisé pour le brûlage, *etc.*) (PNUE, 1999a ; Kim *et al.*, 2004 ; Chrysikou *et al.*, 2008 ; Murphy *et al.*, 2008). En effet, ces émissions seraient susceptibles de varier de manière considérable selon les conditions de combustion considérées. Deux mécanismes de formation de dioxines sont communément admis par la communauté scientifique : les réactions hétérogènes entre précurseurs organiques chlorés, tels que les chlorobenzènes (CBz) et chlorophénols (CPh), et des catalyseurs métalliques tels que le cuivre et la synthèse dite « *de novo* » nécessitant une source de carbone et de chlore et des catalyseurs métalliques (Lemieux *et al.*, 2001). Ainsi, les émissions les plus importantes seraient retrouvées en présence de fortes teneurs en chlore organique (retrouvé dans les plastiques et notamment dans le PVC) ou en cuivre (PNUE, 1999a ; Gullet *et al.*, 2001 ; Vassiliadou *et al.*, 2009). Le chlore minéral (chlorure de sodium (NaCl) ou chlorure de calcium (CaCl<sub>2</sub>) par exemple) serait également capable de réagir et de former des dioxines dans les mêmes conditions (PNUE, 1999a ; Gullet *et al.*, 2001). Kim *et al.* (2004) ont identifié plusieurs composés toxiques produits par combustion du PVC, notamment des polluants organiques tels que les PCDD/Fs, les HAP, les CBz, les CPh. D'après Vassiliadou *et al.* (2009), le PVC fournirait ainsi la majorité du chlore organique nécessaire à la formation des PCDD/Fs lors de la combustion de déchets ménagers. En outre, certains produits chlorés tels que les PCB, qui seraient présents dans les déchets, seraient également en mesure de produire des dioxines (Ettala *et al.*, 1996 ; PNUE, 1999b).

Le travail réalisé par Estrellan & Iino (2010) a permis de faire l'inventaire des substances toxiques émises lors du brûlage de fond de jardin d'OM, de la combustion de déchets industriels ou lors d'incendies dans les décharges. Les polluants résultant de la combustion incontrôlée de déchets ménagers ont été identifiés (*cf.* Tableau 2) ; ils comprennent des POP, tels que les dioxines et furanes (PCDD/Fs), de l'hexachlorobenzène (HCB) et des PCB, des métaux lourds (As, Pb, Cr, Hg, Cd et Ni), des HAP, des composés organiques volatils (COV), des poussières (PM), des polybromodiphényléthers (PBDEs) pouvant conduire à la formation de polybromodibenzo-para-dioxines/furanes (PBDD/Fs). Les poussières émises dans les fumées seraient chargées en de nombreux polluants organiques (tels que les PCDD/Fs) et métaux lourds (Hg, Pb, As, Cd) (Mari *et al.*, 2009). Cela s'explique principalement par la nature lipophile

d'une grande partie de ces polluants et par leur forte affinité pour les matières organiques (particules de carbone organique des sols ou autres particules).

Enfin, des gaz toxiques tels que le monoxyde de carbone (CO) peuvent également être générés lors du brûlage et représenter un risque pour les personnels travaillant sur la décharge (Øygaard *et al.*, 2005).

**Tableau 2: Inventaire des substances potentiellement rejetées par le brûlage à ciel ouvert de déchets ménagers et industriels**

Type de déchets	Ordures ménagères	Déchets industriels
<b>Polluants émis</b>	POP : PCDD/Fs, PCB, HCB Métaux lourds HAPs (dont certains perturbateurs endocriniens), COV, PM, PBDEs, et PBDD/Fs	POP : PCDD/Fs Métaux lourds HAPs, PBDD/Fs, PM, composés mutagènes

Ainsi, il semblerait que le brûlage de déchets ménagers conduise à l'émission de polluants très toxiques, dont des POPs. Ces substances ont la particularité de persister dans l'environnement pendant des temps très longs (années) avant de se décomposer ; de plus, elles peuvent s'évaporer et se déplacer sur de longues distances, contaminer les différents *media* de l'environnement (air, eau, sol) et menacer l'écosystème et les organismes vivants. Compte-tenu de leurs propriétés hautement toxiques (certaines sont cancérogènes), de leur capacité de bioaccumulation (dans les tissus gras) et de contamination de la chaîne alimentaire, il apparaît indispensable de considérer ces substances en priorité dans la mesure où elles représentent une réelle menace pour la santé des populations. L'évaluation des risques future devra également permettre une prise en compte des métaux lourds car ces derniers sont susceptibles de contaminer l'environnement et la chaîne alimentaire.

## 2.2 Polluants traceurs

Les traceurs des risques sanitaires correspondent aux déterminants des expositions et/ou des risques potentiels sélectionnés dans le cadre d'une évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS). Les polluants traceurs des risques sanitaires pouvant être retenus ici pour une démarche future d'évaluation de risques, appliquée à la problématique de brûlage des déchets dans la décharge des Badamiers, incluent diverses substances :

- Les POP, famille comprenant les hydrocarbures aromatiques polycycliques halogénés (dioxines/furanes) et les PCB
- Les éléments traces métalliques (ETM)
- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Le choix de ces substances repose principalement sur des critères de toxicité et de quantités potentiellement émises. La nature cancérigène des dioxines/furanes et leur importante capacité à se bio-accumuler dans l'environnement et à contaminer la chaîne alimentaire ont constitué des éléments supplémentaires de sélection. Les inquiétudes manifestées par les associations environnementales et la population mahoraise, par rapport à la problématique de brûlage des déchets sur la décharge des Badamiers, ont également appuyé la sélection des POP et en particulier des dioxines/furanes en tant que polluant traceur des risques sanitaires principal.

Il est à noter qu'en l'absence de mesures environnementales, il n'a pas été possible de réaliser une comparaison des ratios « quantité émise/VTR » comme cela devrait être le cas dans une démarche de sélection des polluants traceurs. Cette liste pourra, en conséquent, être réajustée dès qu'une campagne métrologique aura été menée et que les concentrations environnementales seront connues.

### **2.2.1 Polluants organiques persistants**

Les POP représentent un danger certain pour l'environnement, les espèces animales et la santé humaine. Ils regroupent plusieurs substances chimiques, tels que les pesticides organochlorés (DDT ou dichlorodiphényltrichloroéthane), les substances chimiques industrielles (PCB) et quelques sous-produits industriels (dioxines et furanes), qui ont été introduits dans l'environnement de manière intentionnelle ou non. Compte-tenu de leur stabilité et de leur faculté à se propager dans l'environnement, ils sont, aujourd'hui, largement distribués dans le monde. En raison de leurs propriétés lipophiles et de leurs longues demi-vies, ils sont capables de s'accumuler chez les animaux, en particulier chez les espèces qui se trouvent au sommet de la chaîne alimentaire, tels que l'Homme.

La Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants a été ratifiée le 22 mai 2001 par de nombreux gouvernements de par le monde. Ce traité international, en accord avec la décision 19/13 C du Conseil d'administration du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) du 7 février 1997, a pour objectif de restreindre puis d'éliminer complètement la production, l'utilisation, l'écoulement et le stockage de ces substances hautement toxiques pour l'environnement et la santé humaine. Elle est entrée en vigueur en France, le 17 mai 2004. L'article 5 de la Convention de Stockholm concerne les rejets résultant d'une production non intentionnelle de POPs. L'annexe C détaille les polluants organiques persistants produits et rejetés involontairement par des sources

anthropiques, soumis aux obligations énoncées à l'article 5. Parmi les douze POPs ciblés par la Convention de Stockholm « the dirty dozen », trois catégories de substances chimiques y figurent : les dioxines/furanes (PCDD/PCDF), les PCB, et l'HCB.

Ces polluants sont produits de manière involontaire au cours de procédés thermiques mettant en présence des matières organiques et du chlore, et résultent d'une combustion incomplète ou de réactions chimiques. Parmi les sources potentiellement émettrices de ces substances dans l'environnement, citées dans la Convention de Stockholm, figurent, « *la combustion à ciel ouvert de déchets, y compris dans les décharges* » et les « *installations de brûlage de bois et de combustibles issus de la biomasse* ». Ces polluants sont, par ailleurs, abondamment mentionnés dans de nombreux articles scientifiques traitant de la problématique de brûlage des déchets ménagers à ciel ouvert ou des feux de décharge.

Ainsi, compte-tenu de leur extrême toxicité, de leur capacité d'accumulation dans les organismes vivants (bio-accumulation), de leur résistance à la dégradation et de leur capacité à être propagés loin de leur site d'origine, il apparaît indispensable de considérer ces trois catégories de POPs comme polluants traceurs de risques sanitaires.

#### A) Dioxines et furanes

### **Généralités**

Le terme couramment utilisé de « dioxines » se réfère, en réalité, à deux catégories de substances chimiques appartenant à la famille des hydrocarbures aromatiques polycycliques halogénés, les polychlorodibenzo-para-dioxines (PCDDs) et polychlorodibenzofuranes (PCDFs). D'autres polluants, de la famille des PCB, dotés de propriétés similaires aux dioxines (composés dits « dioxin-like »), sont généralement pris en compte lors de l'appréciation du risque de mélanges complexes de dioxines. Les dioxines présentent un potentiel important de contamination de l'environnement, de la chaîne alimentaire et, *in fine*, de l'Homme. Elles sont omniprésentes et ont été retrouvées dans tous les compartiments de l'environnement (sol, air, eau), dans toutes les régions du monde. Leurs propriétés lipophiles leur confèrent une grande capacité à s'accumuler dans les tissus adipeux et dans les matières riches en élément carbone tels que les sols et les sédiments (PNUE, 1999a). Les dioxines et les furanes sont apparentées sur le plan structurel et chimique (*cf.* figures 5 et 6); elles sont composées de plusieurs cycles aromatiques auxquels sont liés un ou plusieurs atomes de chlore. On compte environ 210 congénères<sup>1</sup> mais seuls 17 d'entre eux, les plus toxiques, sont habituellement recherchés

---

<sup>1</sup> Substance chimique apparentée sur le plan structurel et toxicologique

dans l'environnement. Parmi les PCBs ayant un mode d'action similaire aux « dioxines », 12 congénères de PCBs « dioxin-like » sont également considérés et pris en compte dans la mesure de la toxicité d'un échantillon. Cependant, les dioxines, furanes et PCBs « dioxin-like » ne possèdent pas tous la même toxicité. La dioxine la plus toxique, la dioxine « Seveso » ou 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-para-dioxine, a été classée dans les substances cancérigènes pour l'Homme (groupe 1) par le Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC). Des facteurs d'équivalence toxique (ou TEF, Toxic Equivalency Factor) ont été développés par l'OMS afin d'évaluer la toxicité d'un mélange de dioxines et de composés « dioxin-like ». Ces facteurs ont été réévalués par l'OMS en 2005 (Van der Berg *et al.*, 2006) pour l'ensemble de ces composés (*cf.* annexe 3). La toxicité des congénères est alors définie par rapport au congénère le plus toxique, le 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-para-dioxine, qui est affecté d'un TEF égal à 1. Un indice international de toxicité (ou TEQ, Toxic Equivalency Quantity), peut alors être calculé par sommation des concentrations de chaque congénère toxique, qui ont, au préalable, été pondérées par leur TEF respectif.

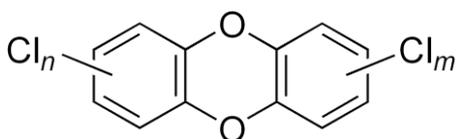


Figure 5: Structure générale des PCDD (dioxines)

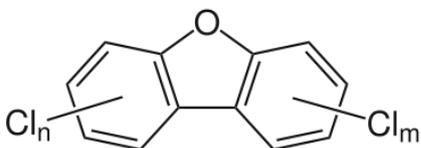


Figure 6 : Structure générale des PCDF (furanes)

### Sources d'exposition

Les dioxines constituent les sous-produits non intentionnels de plusieurs procédés de combustion, qu'ils soient naturels (feux de forêt, éruptions volcaniques) ou industriels (incinération de déchets ménagers ou municipaux, production de certains pesticides ou herbicides, blanchiment au chlore des pâtes à papier, combustion de bois et charbon, métallurgie et sidérurgie, *etc.*). Les dioxines sont formées lors de procédés thermiques mettant en présence des substances contenant du chlore, du carbone et un catalyseur, tel que le cuivre, à des températures supérieures à 300°C et en présence d'un excès d'air et d'oxygène (PNUE, 1999a). Une synthèse dite « *de novo* » des dioxines est cependant possible lors du refroidissement des fumées (PNUE, 1999a). Cependant, les émissions les plus importantes de dioxines dans l'environnement sont liées aux activités d'incinération de déchets (PNUE, 1999a ; Roots *et al.*, 2004). En France métropolitaine,

les principales sources d'émission de dioxines sont représentées par l'incinération de déchets (notamment l'incinération des déchets industriels), la métallurgie et le secteur résidentiel, avec respectivement, 46%, 22% et 19% des émissions atmosphériques en France en 2009 (CITEPA, 2011). Les émissions en dioxines et furanes (toutes sources confondues) s'élevaient, pour la même année, à 89 g I-TEQ<sub>OTAN</sub>.

### **Comportement et devenir des dioxines dans l'environnement**

Les concentrations en dioxines, furanes et PCB dans l'air sont généralement faibles sauf au voisinage d'une source émettrice importante (incinération de déchets inadéquate, pollution accidentelle). De la même façon, en raison de leur caractère fortement hydrophobe, les niveaux retrouvés dans l'eau de surface (rivières, mer) et l'eau de consommation sont également faibles (INERIS, 2006b ; OMS, 2010). Les sols, les sédiments aquatiques et les organismes animaux et végétaux sont les plus fortement contaminés. Les chaînes alimentaires terrestre et aquatique peuvent ainsi être impactées et entraîner une contamination des denrées alimentaires et de l'Homme. En raison de leur caractère fortement lipophile et de leur capacité de bioaccumulation dans les organismes vivants, les dioxines se retrouvent principalement dans les produits animaux riches en matières grasses tels que les produits laitiers, les œufs, le poisson et la viande.

Les dioxines peuvent contaminer les divers compartiments de l'environnement. Les processus de combustion à l'origine de leur formation contribuent à leur présence dans l'air ambiant. Les dioxines sont libérées dans l'atmosphère sous forme gazeuse ou sous forme particulaire (fixée aux particules produites simultanément lors de ces mêmes processus) et sont alors dispersées dans le milieu aérien. La forme prédominante serait représentée par la forme particulaire (INERIS, 2006b). Les dépôts se feraient essentiellement sous forme de dépôts humides ; les dépôts secs concerneraient majoritairement les grosses particules, de diamètre supérieur à 2,9 µm (INERIS, 2006b). De plus, le phénomène dit de « splash over<sup>2</sup> » peut conduire à une contamination des végétaux, les particules chargées en dioxines étant projetées à la surface des végétaux lors de précipitations (AFSSA/InVS, 2005). Les dioxines émises peuvent être transportées sur de longues distances et se déposer, loin du site de production originel, à la surface des sols et des systèmes aquatiques (AFSSA/InVS, 2005 ; INERIS, 2006b). En raison de leur considérable affinité pour les colloïdes du sol, les dioxines sont principalement retrouvées en surface (dans les 10 premiers centimètres du sol) et semblent peu migrer en profondeur, même en cas de pluviosité importante (AFSSA/InVS, 2005 ; INERIS, 2006b). Elles peuvent ainsi atteindre les végétaux souillés par de la terre contaminée (AFSSA/InVS, 2005). Les dioxines s'adsorbent sur les parties aériennes des plantes

---

<sup>2</sup> Phénomène de transport des particules des sols à la surface des végétaux par les pluies

(feuilles, fruits) lorsqu'elles sont sous forme particulaire mais ne semblent pas être capables d'être internalisées *via* le sol par le biais d'un transfert par voie racinaire, à l'exception de certaines familles de plantes telles que les cucurbitacées (courges, courgettes, concombres, melons, *etc.*). Les dioxines émises sous forme gazeuse peuvent également se déposer sur les feuilles, en se fixant à la cuticule cireuse qui recouvre la partie superficielle des végétaux. En effet, cette dernière présente une importante affinité pour les lipides (INERIS, 2006b). La contamination des animaux terrestres a lieu lors de la consommation, par ces derniers, de végétaux ou de sols souillés. Les dioxines se concentrent alors dans les tissus adipeux des animaux.

La contamination des eaux superficielles est la conséquence du transfert des dépôts atmosphériques aux systèmes aquatiques, de l'érosion des sols pollués par les eaux de pluie ou résulte de rejets de nature anthropique (AFSSA/InVS, 2005 ; INERIS, 2006b). En raison de leur nature hydrophobe, les dioxines s'associent préférentiellement avec les particules en suspension et sédimentent. Elles peuvent également se fixer, dans une moindre mesure, aux substances organiques dissoutes (INERIS, 2006b). La couche superficielle des sédiments aquatiques peut facilement être remise en suspension et pénétrer ainsi la chaîne alimentaire aquatique par l'intermédiaire du phytoplancton et des poissons (AFSSA/InVS, 2005 ; INERIS, 2006b). L'annexe 4 présente un schéma simplifié de contamination de l'Homme par les dioxines.

### ***Toxicité des dioxines***

Il est aujourd'hui admis par la communauté scientifique que la 2,3,7,8-TCDD constitue l'une des substances toxiques les plus dangereuses pour l'environnement et l'Homme (Schuhmacher & Domingo, 2006). La source principale d'exposition humaine est représentée par l'alimentation (AFSSA/InVS, 2005 ; INERIS, 2006b, Vassiliadou *et al.*, 2009). L'absorption, à travers cette voie, est considérable ; on estime que, pour l'ensemble de la population, 90% des doses ingérées sont absorbées. L'exposition humaine aux dioxines par inhalation n'a pas été rapportée mais il semblerait que l'absorption soit complète dans ce cas. Chez les animaux, l'inhalation constitue une voie d'exposition possible mais aucune donnée de nature quantitative n'est disponible. La voie cutanée ne représente pas une voie d'exposition à considérer dans le cas des dioxines, l'absorption étant très faible (INERIS, 2006b).

L'exposition aiguë à une concentration importante de dioxines peut conduire à l'apparition de troubles dermatologiques, tels que le chloracné. Plus rarement, d'autres effets peuvent également apparaître, à savoir, des irritations oculaires, des conjonctivites, de l'hyperpigmentation ou de l'hirsutisme. Plusieurs effets systémiques ont été observés lors d'études épidémiologiques tels que des effets dermatologiques, hépatiques,

neuropsychiques, immunologiques, effets cardiovasculaires ou encore des perturbations de la fonction thyroïdienne. Seuls les effets dermatologiques et d'augmentations des enzymes hépatiques sont actuellement avérés, bien qu'une association entre exposition aux dioxines et maladies cardiovasculaires soit de plus en plus soupçonnée (INERIS, 2006b). Enfin, il semblerait que l'exposition aux dioxines induise des effets sur la reproduction et le développement et notamment des altérations de la fertilité humaine, une diminution du poids de naissance des nouveaux-nés et un risque accru de tératogénèse et de fausse couche.

#### B) Polychlorobiphényles

Les polychlorobiphényles, ou PCB, constituent une classe de composés organiques de synthèse. Plus de 200 congénères de PCB ont été identifiés, dont une douzaine appartenant à la catégorie des PCB « dioxin-like ». Les PCB sont des polluants omniprésents dans l'environnement qui ont été retrouvés dans tous les compartiments : eau, air, sol et sédiments (PNUE, 1999b). Ces substances toxiques ont été largement utilisées par le passé, principalement en tant qu'isolants diélectriques dans les transformateurs et les condensateurs électriques. Malgré l'interdiction de leur usage en France en 1975, et l'interdiction de mise sur le marché de composés contenant des PCB depuis 1987, ces derniers continuent d'être retrouvés dans l'environnement en raison de l'existence d'anciens appareils toujours en service. Les PCB se retrouvent principalement dans les huiles usagées provenant d'équipement électriques contaminés, de véhicules et dans les déchets du bâtiment (joints, revêtements ignifuges, peintures, matériaux isolants, etc.) (PNUE, 1999b).

De plus, ces substances sont rémanentes dans l'environnement et présentent des demi-vies particulièrement longues. Les sources principales de contamination atmosphérique par les PCB sont anthropiques (INERIS, 2005e). En effet, les PCB peuvent être produits lors de l'incinération de déchets industriels, la volatilisation à partir de sols contaminés dans des décharges non contrôlées ou par lessivage par les eaux de pluie de sols pollués (INERIS, 2005e). Ainsi, les décharges, les dépôts d'ordures et les sols et sédiments contaminés représentent d'importants réservoirs dans l'environnement (PNUE, 1999a). Les PCB sont généralement dégradés à des températures d'environ 300°C mais au-delà, leur pyrolyse en présence d'oxygène peut conduire à la formation de dioxines et furanes (INERIS, 2005e).

Compte-tenu de leur nature hydrophobe, les PCB sont relativement insolubles dans l'eau (INERIS, 2005e). Leur faible solubilité dans l'eau les rend très peu mobiles dans les sols et donc rémanents. La lixiviation de ces composés est faible mais elle est favorisée en présence de solvants organiques et de composés organiques dissous. La volatilisation à partir de sols pollués est également possible, particulièrement pour les PCB faiblement

chlorés. Cette volatilisation est d'autant plus importante que le taux d'humidité des sols est élevé. Dans le milieu aquatique, les PCB ont tendance à s'adsorber fortement sur les particules en suspension dans l'eau et sur les sédiments. Ils peuvent ainsi être immobilisés pendant des périodes très longues et peuvent être remis en suspension ou même se volatiliser dans l'air depuis la colonne d'eau. Aussi, les PCB peuvent se bioconcentrer dans les organismes aquatiques.

Les végétaux se contaminent par transfert suite aux dépôts secs et/ou humides sur les feuilles ou par absorption racinaire, mais ce phénomène est limité en raison de la forte rétention des PCB dans les sols. Les PCB sont également susceptibles de se fixer à la cuticule cireuse des végétaux, cette dernière étant riche en lipides (INERIS 2005b). Cependant, la voie de transfert la plus significative est représentée par les dépôts humides qui vont particulièrement impacter les végétaux présentant une surface aérienne importante (laitue, *etc.*) (INERIS, 2005e). La voie principale d'exposition est l'alimentation (poisson, lait, produits laitiers, légumes et viandes). Les PCB se bioaccumulent dans les tissus adipeux des animaux et de l'Homme (PNUE, 1999b ; INERIS, 2005e).

Les effets chroniques, liés à de faibles niveaux d'exposition aux PCB incluent des lésions hépatiques, des effets reprotoxiques et des risques cancérogènes probables (PNUE, 1999b).

### C) Hexachlorobenzène

L'hexachlorobenzène, ou HCB, est un polluant organique persistant dont la présence dans l'environnement est d'origine anthropique. L'HCB peut être produit industriellement ; sa synthèse est réalisée par chloration du benzène en présence d'un catalyseur tel que le chlorure ferrique, à une température d'environ 200°C (INERIS, 2008). L'HCB a longtemps été utilisé dans l'agriculture en tant que fongicide et pesticide. Il est encore largement utilisé dans le secteur agricole dans les pays en développement. L'HCB constitue aussi un sous-produit de l'industrie chimique du chlore, de la soude, des pesticides et est généré lors de fabrication de pneus.

Comme il s'agit d'un composé particulièrement volatil (Chrysikou *et al.*, 2008), les teneurs en HCB retrouvées dans l'air sont généralement faibles. En raison de son caractère lipophile, les teneurs en HCB retrouvées dans l'eau sont très faibles. Cependant, l'HCB se retrouve dans l'eau lié aux sédiments et aux matières en suspension. Il est ainsi capable de s'accumuler dans plusieurs organismes aquatiques (algues, fruits de mer, poissons). La principale voie à l'HCB est représentée par l'inhalation mais l'absorption par voie orale est tout de même possible.

## 2.2.2 Eléments traces métalliques

Les éléments traces métalliques (ETM), communément appelés métaux lourds, désignent des métaux et métalloïdes toxiques tels que le plomb, le mercure, l'arsenic, le chrome, le cadmium, le nickel (Ni), le sélénium (Se) et le zinc (Zn). L'Union Européenne a fixé une liste de « substances métalliques dangereuses prioritaires », à savoir le Pb, Hg, Cd et As. Les ETM peuvent être transférés vers la nappe d'eau souterraine au travers de la zone non saturée<sup>3</sup> (INERIS, 2006a). Des changements des caractéristiques physico-chimiques du sol tels que le pH, le potentiel d'oxydoréduction ou encore la composition géochimique de l'eau peut entraîner une évolution des degrés d'oxydation de certains éléments traces, tels que le Hg, le Cr, l'As et le Se. Ces modifications peuvent influencer sur la mobilité de ces éléments dans les sols. Les ETM classées en tant que substances métalliques dangereuses prioritaires sont plus amplement définies en annexe 5.

## 2.2.3 Hydrocarbures aromatiques polycycliques

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques, ou HAP, constituent une famille de substances organiques constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène formant plusieurs cycles benzéniques (Santé Canada, 1994 ; INERIS, 2006c). Ces composés ne constituent pas un danger pour l'environnement mais, compte-tenu de leur toxicité, ils représentent une menace pour la santé humaine (Santé Canada, 1994).

Cinq principaux HAP, qui ont été classés comme des substances « probablement cancérigènes pour l'être humain » par le CIRC, sont généralement pris en considération dans l'évaluation des effets sanitaires : le benzo(a)pyrène, le benzo(b)fluoranthène, le benzo(k)fluoranthène, le benzo(ghi)pérylène et l'indéno(1,2,3-cd)pyrène.

Les HAP peuvent être d'origine naturelle (incendies de forêt, éruptions volcaniques) ou anthropique. L'utilisation des énergies fossiles (pétrole, charbon) et la combustion ou pyrolyse incomplète des matières organiques conduit à leur synthèse et à leur libération dans l'environnement (Santé Canada, 1994 ; INERIS, 2006c). Certains HAP sont également fabriqués à des fins industrielles et sont principalement utilisés dans la fabrication de polymères, de teintures, de pigments, de solvants, de ramollissants de caoutchouc, *etc.* Les sources importantes de rejets de HAP dans l'environnement sont représentées par le chauffage domestique au bois, les feux à l'air libre, le brûlage en milieu agricole, l'incinération des résidus de bois et le transport (Santé Canada, 1994). Les HAP sont relativement peu volatils et on les retrouve principalement fixés aux matières particulaires qui peuvent être ensuite éliminées par dépôts secs ou humides sur le sol ou dans l'eau. Il semblerait que le dépôt atmosphérique constitue la principale source de HAP dans les sols et les sédiments (Santé Canada, 1994). La présence des

---

<sup>3</sup> Zone du sous-sol comprise entre la surface du sol et la surface de la nappe

HAP dans l'eau et le sol peut aussi être liée à des déversements d'hydrocarbures accidentels ou d'effluents industriels ou à l'enfouissement des déchets contenant des HAP (Santé Canada, 1994). Ces substances peuvent également contaminer les eaux souterraines et superficielles par lixiviation à travers les sols et par ruissellement en surface (Santé Canada, 1994). En raison de leur faible solubilité dans l'eau et leur caractère lipophile, les HAP se fixent préférentiellement aux fractions organiques des matières en suspension et dans les sédiments. Ainsi, ils sont retrouvés à l'état de traces dans l'eau (INERIS, 2006c). Ces substances toxiques peuvent s'accumuler dans de nombreux organismes (algues, invertébrés aquatiques, poissons, plantes). Les plantes absorberaient les HAP principalement par l'atmosphère et moins par le sol. Par ailleurs, les plantes à larges feuilles et la surface extérieure des plantes, telle que l'écorce des fruits, contiennent ainsi plus de HAP (Santé Canada, 1994).

Il est particulièrement difficile de mesurer les HAP car ces derniers sont souvent sous la forme de mélanges complexes dans l'environnement (Santé Canada, 1994 ; INERIS, 2006c).

### **3 Etat des lieux et analyse des risques sanitaires associés à la décharge des Badamiers**

La présente partie a pour objectif de dresser un état des lieux général afin de caractériser les dangers et les risques sanitaires associés à l'exploitation de la décharge des Badamiers. Une description du fonctionnement de la décharge sera effectuée en premier lieu. Puis, un diagnostic environnemental global permettra de mettre en exergue, selon les polluants traceurs sélectionnés, les voies de contamination possibles, les compartiments de l'environnement et milieux de vie potentiellement impactés. Un examen de la répartition de la population à l'échelle du territoire de Petite-Terre et des activités humaines, associée à l'étude des vents dominants, permettront d'approcher l'exposition des populations. En ce sens, une description des habitudes de vie caractéristiques des habitants de l'île de Mayotte, des modes de consommation et des pratiques relatives à l'agriculture et l'élevage permettront de comprendre de quelle manière ces dernières sont à même de moduler l'exposition des populations.

L'analyse de la situation actuelle a été permise par l'examen de plusieurs documents dont certaines études antérieures relatives à la décharge, des visites sur le site et grâce aux entretiens réalisés avec les agents du SIVOM Petite-Terre et les riverains. Le rapport du bureau d'étude Conseil et Etudes Techniques Mayotte, relatif à la réhabilitation de la décharge des Badamiers (CET, 2009), a notamment été consulté.

#### **3.1 Présentation de la décharge des Badamiers**

La décharge des Badamiers est une décharge brute d'ordures ménagères à ciel ouvert, située sur la commune de Dzaoudzi-Labattoir, au nord de Petite-Terre, au sein de la zone industrielle des Badamiers (*cf.* illustration 1). Cette décharge, qui existe depuis 1987 (soit 24 ans d'activité), est exploitée par le syndicat intercommunal SIVOM de Petite-Terre. D'une superficie de 0,86 ha, elle accueille la totalité des déchets des ménages de Petite-Terre.

La décharge des Badamiers est une décharge non conforme sur le plan réglementaire. Le Règlement Sanitaire Départemental de Mayotte rappelle, dans l'article 92 (Titre IV), que « *tout dépôt sauvage ou détritrus de quelque nature que ce soit ainsi que toute décharge brute d'ordures ménagères sont interdits* » et précise que « *le brûlage à l'air libre des ordures ménagères est également interdit* ». Cependant, cette pratique perdure au sein de la décharge. Il n'est plus à démontrer que l'exploitation et les pratiques ayant cours sur la décharge nuisent aux milieux naturels et au voisinage.

La pollution diffuse éventuelle pourrait avoir contribué à une contamination de l'environnement et des populations. Cependant, une amélioration de la situation n'est pas envisageable à l'heure actuelle, en raison des nombreuses contraintes financières,

humaines et techniques, contraintes auxquelles le SIVOM ne peut répondre. L'essor démographique et les projections actuelles en termes de production de déchets vont rendre la situation encore plus difficile à gérer pour le syndicat dans les années à venir. En attendant, l'exploitation inadaptée et dangereuse de la décharge des Badamiers se poursuit; elle sera fermée dès la mise en service de la future ISDND prévue pour l'année 2012. Après sa réhabilitation, elle deviendra alors un quai de transfert.



Illustration 1: Localisation géographique de la décharge (Source : SIG – Map'Info)

### 3.1.1 Modes de gestion de la décharge

La compétence de gestion des déchets sur Petite-Terre a été déléguée au syndicat intercommunal du SIVOM. Ce dernier doit répondre à trois missions principales qui sont représentées par la gestion des déchets (collecte et traitement), le curage des caniveaux et la fourrière pour les véhicules abandonnés. Le site sur lequel est implantée la décharge est gardienné en permanence. Néanmoins, le gardien n'est pas en mesure d'assurer une surveillance effective du site. En effet, la décharge dispose d'une clôture discontinue et d'un portail mais ce dernier est toujours ouvert et n'empêche pas, comme cela devrait être le cas, l'accès aux personnes non autorisées.

D'après le SIVOM, la collecte des déchets est réalisée 5 fois par semaine, selon la disponibilité et l'état de fonctionnement des camions. Théoriquement, une cotisation devrait être payée au SIVOM en cas d'un apport volontaire de déchets. Or, le libre accès

à la décharge fait que les riverains viennent y déposer leurs déchets, qui sont principalement constitués par des déchets non collectés sur la voirie, parfois dangereux, sans avoir payé la taxe préalable. La décharge est aussi régulièrement fréquentée par des personnes (parfois des enfants) en situation de grande précarité, telles que des récupérateurs (fouilleurs-trieurs). Ces derniers sont généralement éconduits par le gardien, en raison de la dangerosité du site. Le plus souvent, ces personnes cherchent à récupérer certains matériaux de valeur, tels que du cuivre ou de l'aluminium (utilisé pour la fabrication de marmites et d'ustensiles de cuisine), qui sont ensuite vendus ou réutilisés.

Le brûlage des déchets à Petite-Terre constitue l'unique mode de « traitement » des déchets (cf. annexe 6). Les déchets ménagers et assimilés arrivent continuellement sur la décharge, et sont déposés, sans tri préalable, dans la masse de déchets déjà en combustion. La pratique de brûlage des déchets à ciel ouvert est quotidienne. Le brûlage incontrôlé des déchets est réalisé pour deux raisons principales. D'une part, compte-tenu de la saturation de la décharge, le brûlage permet un gain de place important. D'autre part, il permet d'éviter la putréfaction des déchets et les nuisances olfactives associées et de limiter ainsi la présence d'animaux nuisibles, tels que les rats et les mouches. Le gardien du site peut initier le brûlage des déchets, au besoin. Généralement, en période sèche, le pouvoir calorifique des déchets fait que le brûlage s'auto-entretient. En saison des pluies, le gardien peut être amené à remettre le feu aux déchets. Les déchets brûlés sont alors tassés ; un ajout de terre végétale est parfois effectué mais de façon assez sporadique. Cet entassement de déchets a contribué à l'augmentation de l'épaisseur du massif de déchets, qui atteint plusieurs mètres de hauteur. Les déchets résiduels et les encombrants sont, quant à eux, poussés en bordure de site et dans les ravins entourant la décharge. La quantité croissante de déchets arrivant sur la décharge a, par ailleurs, conduit à un empiètement de la décharge sur les terrains alentours.

### **3.1.2 Nuisances associées à l'exploitation de la décharge et au brûlage des déchets**

L'exploitation de la décharge des Badamiers est associée à des nuisances de plusieurs natures. En premier lieu, elle entraîne une pollution visuelle de l'environnement liée aux envois de déchets et/ou à leur entraînement par ruissellement des eaux pluviales vers le lagon. Par ailleurs, l'exploitation d'une telle décharge à ciel ouvert est à même de favoriser la prolifération d'animaux vecteurs de maladies infectieuses, tels que le rat (leptospirose) ou les moustiques (paludisme, dengue, chikungunya). En effet, près de 65% des gîtes larvaires du moustique *Aedes* sont constitués par des déchets. La production importante de fumées déclenche par ailleurs les alarmes incendie de la

centrale thermique EDM voisine, ce qui entraîne des perturbations considérables. Enfin, les risques d'incendie au sein de la décharge des Badamiers ne sont pas négligeables (CET, 2009).

La pollution générée par le brûlage des déchets à ciel ouvert a un caractère diffus et peut être invisible. Les feux de décharge sont généralement difficiles à éteindre et conduisent à la production d'une quantité importante de fumée (Ettala *et al.*, 1996). Le brûlage de déchets à ciel ouvert sur la décharge des Badamiers conduit effectivement à un dégagement de fumées chargées en substances toxiques émises sous forme gazeuse ou associées à des particules, qui sont alors libérés dans l'atmosphère. Ces fumées sont susceptibles de renfermer des POP et des métaux qui peuvent alors contaminer l'environnement, les organismes vivants et l'Homme. Les riverains à proximité immédiate de la décharge se sont plaints à plusieurs reprises de nuisances auprès du SIVOM Petite-Terre. Ces plaintes concernaient principalement les fumées et les odeurs résultant du brûlage des déchets. Selon le propriétaire de la maison en lisière de la décharge, les fumées sont particulièrement irritantes lors du brûlage de pneus ou de DEEE. Les symptômes les plus cités font état d'une irritation des muqueuses, de maux de tête, de difficultés à respirer et de toux (touchant particulièrement les enfants du ménage). L'une de ses deux jumelles est par ailleurs asthmatique. Au-delà du risque toxique évident inhérent aux fumées et du devenir des polluants dans l'environnement, cette production entraîne occasionnellement une baisse considérable de la visibilité sur la route menant à la décharge des Badamiers, ce qui peut perturber la circulation localement et ainsi constituer un danger routier.

### **3.1.3 Quantification et caractérisation des déchets accueillis sur le site**

La campagne de quantification et de caractérisation des ordures ménagères a été réalisée à l'échelle de l'île de Mayotte mais les résultats ont également été présentés par région, pour chaque intercommunalité. Ainsi, le rapport du groupe TRIVALOR/Indiggo (2007) précise les tonnages et données de caractérisation recueillis pour chaque syndicat intercommunal. A Petite-Terre, cette campagne de quantification a eu lieu en saison sèche, du 21 au 23 juin 2006 et en saison des pluies, du 18 au 31 janvier 2007, de manière à appréhender les éventuelles variations saisonnières d'un point de vue quantitatif. Les tonnages ont alors été extrapolés à une année ; les résultats sont présentés dans le tableau 3. La quantité d'ordures ménagères moyenne pour l'année 2007 s'élevait à 4820 tonnes. Le tonnage annuel moyen des déchets verts atteignait 473 tonnes. Les variations saisonnières concernaient les déchets verts et les OM, qui étaient en quantités relativement moins importantes en saison des pluies. *A contrario*, les tonnages de déchets verts étaient sensiblement plus élevés en saison des pluies (*cf.* tableau 3).

Cependant, ces résultats pourraient être entachés d'erreurs, dans le sens où une partie des déchets ménagers n'entrent pas dans le réseau de collecte habituel, parce qu'ils sont éliminés en pleine nature ou parce que leur présence sur la décharge relève d'un apport volontaire. Ainsi, les tonnages de déchets ont pu être sensiblement sous-estimés par rapport aux quantités réelles. De plus, seuls les ordures ménagères et les déchets verts ont été quantifiés au cours de cette campagne. Or, lors de visites sur le terrain, il est apparu que de nombreux déchets, généralement non admis au sein de décharges conformes, étaient présents. Il pouvait notamment s'agir de DEEE, de batteries, de carcasses de voitures, de déchets du bâtiment, de carcasses d'animaux parfois, etc.

**Tableau 3: Tonnages de déchets totaux pour l'année 2006-2007 (Source : TRIVALOR/Indiggo; 2007)**

Saison	Tonnages OM (t/an)	Tonnages déchets verts (t/an)
Saison sèche	4920	400
Saison humide	4520	690
<b>Total</b>	<b>4820</b>	<b>473</b>

La caractérisation des déchets ménagers et assimilés sur Petite-Terre a été effectuée en respectant la nomenclature MODECOM. Un échantillon a été collecté en saison sèche, le 24 juin 2006, et en saison des pluies, le 19 janvier 2007, afin d'appréhender les variations saisonnières d'un point de vue qualitatif. Les résultats sont présentés en annexe 7. Peu de différences sont observées avec la campagne réalisée à l'échelle de Mayotte.

### **3.1.4 Estimation de la production en dioxines et furanes**

Les conditions de combustion n'étant pas contrôlées (température basse, combustion incomplète), les concentrations de substances toxiques émises par le brûlage des déchets sont certainement importantes.

Le PNUE a élaboré un document d'appui à la réalisation d'inventaires nationaux de POP. Il s'agit d'un outil spécialisé pour l'identification et la quantification des rejets de dioxines et des furanes (PNUE, 2005). Il fournit plusieurs facteurs d'émission de dioxines et furanes, selon les différents *media* de l'environnement considérés. Pour le compartiment « air », deux facteurs d'émission, correspondant à la catégorie « feux accidentels et feux de déchets », sont disponibles. Ils concernent les feux dans les décharges et les feux non contrôlés de déchets domestiques pour lesquels des facteurs d'émission respectifs de 1000 et 300 µg I-TEQ/tonne de matières brûlées sont proposés. Ce second facteur d'émission a, par ailleurs, été utilisé afin d'approcher la production en dioxines et furanes résultant du brûlage des déchets à l'air libre dans les décharges de Mayotte en 2007 (Collectivité Départementale de Mayotte, 2010b). La production de dioxines et furanes dans l'air a alors été estimée à 2,8 g par an. Cependant, la quantité de déchets prise en

compte pour effectuer ce calcul n'a pas été précisée. Sachant que le tonnage d'ordures ménagères a été estimé à 40400 tonnes pour l'année 2007, il semblerait que, seul un quart du tonnage annuel de déchets ait été considéré pour cette évaluation. Or, si l'on fait l'hypothèse que la totalité des déchets ménagers de Petite-Terre sont brûlés, la quantité de dioxines et furanes estimée (en 2007) atteint alors 1,5 g (pour le facteur d'émission de 300 µg I-TEQ/tonne de matières brûlées) et 4,8 g (pour le facteur d'émission de 1000 µg I-TEQ/tonne de matières brûlées). Selon le CITEPA (2011), les émissions totales de dioxines dans l'air, en France métropolitaine, atteignaient les 89 g I-TEQ<sub>OTAN</sub>, soit 40,4 g de dioxines associées à l'activité d'incinération de déchets ménagers. Ainsi, sous cette hypothèse et pour le facteur d'émission de 1000 µg I-TEQ/tonne de matières brûlées, la quantité de dioxines produite à Petite-Terre équivaldrait à environ 12% des émissions totales nationales.

## 3.2 Occupation du territoire

### 3.2.1 Les zones habitées



Figure 7: Localisation des communes de Dzaoudzi-Labattoir et Pamandzi (SIG)

Petite-Terre est composée de deux communes : Pamandzi et Dzaoudzi-Labattoir. La commune de Dzaoudzi-Labattoir est caractérisée par une zone urbaine limitée géographiquement, une zone péri-urbaine peu étendue et une zone industrielle fondue dans la zone rurale (cf. annexe 8). Elle est constituée d'un milieu mixte urbain-rural. La population de Petite-Terre est fortement concentrée puisque 24416 habitants, soit 13% de la population totale, se partagent 3% du territoire mahorais (cf. annexe 9). De plus, les communes de Dzaoudzi-Labattoir et Pamandzi constituent les deux communes les plus densément peuplées de Mayotte avec plus de

2000 habitants/km<sup>2</sup>. Ces densités particulièrement fortes, dépassent largement la densité de population moyenne à Mayotte, qui est de 511 habitants/km<sup>2</sup> et la densité moyenne en France métropolitaine qui atteint les 101 habitants/km<sup>2</sup>. (INSEE, 2010).

Les riverains les plus proches de la décharge sont situés en direction nord-ouest, dans une maison en lisière de la décharge, à une distance d'environ 100 mètres. Cette maison est habitée depuis 1989. Au nord-est de la décharge, se trouvent également quelques maisons de fortune (« bangas » en tôles) qui n'apparaissent pas sur l'orthophotographie

du site (photographie aérienne) et qui se situent à une distance d'environ 300 mètres. La zone péri-urbaine et la zone urbaine de la commune de Labattoir se situent respectivement à une distance d'environ 1,3 km et 2,5 km, à vol d'oiseau. L'exiguïté du territoire de Petite-Terre rend la distance séparant la décharge des habitations relativement faible. Par ailleurs, il semblerait que les dioxines et d'autres POP soient capables d'être transportées sur de longues distances (parfois plusieurs dizaines de kilomètres). La contamination des milieux (sols, sédiments marins) est alors susceptible d'avoir un impact important sur les chaînes alimentaires terrestre et aquatique (AFSSA/InVS, 2005 ; INERIS, 2006).

### **3.2.2 Agriculture et élevage**

La zone au sein de laquelle est implantée la décharge des Badamiers est caractérisée par la présence de nombreuses zones agricoles et d'élevages (*cf.* annexe 10).

Le premier recensement agricole de Mayotte a été conduit par la Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DAAF) en 2010. Cette enquête a mis en évidence le fait que l'ensemble des exploitations agricoles de l'île regroupent près d'un tiers de la population mahoraise. Les parcelles cultivées par ces ménages agricoles sont petites ; ainsi, près de la moitié de ces exploitations font moins de 25 ha (DAAF, 2011b). Les cultures concernent principalement des cultures vivrières traditionnelles telles que la banane, le manioc ou l'ambrevade<sup>4</sup> (DAAF, 2011b) mais aussi du maraîchage, des vergers et des cultures fourragères pour les animaux d'élevage. Comme le montre l'annexe 10, la densité de présence de cultures vivrières, fourragères et de vergers est très élevée dans la zone des Badamiers en Petite-Terre ; elle est supérieure à 30%. Cependant, la densité de cultures maraîchères y est très faible. Les résultats de ce recensement agricole ont été détaillés par commune dans le document de synthèse du recensement agricole (DAF, 2011a). Les exploitations recensées sur la commune de Dzaoudzi produisent essentiellement du manioc, des bananes, des ambrevades et des ananas. De nombreux vergers et cultures fruitières y sont très représentés tels que des cocotiers, des agrumes, des manguiers, des papayers, des goyaviers, *etc.* (DAAF, 2011b). La consommation de brèdes<sup>5</sup> (manioc, mafana) n'est cependant pas à négliger. Par ailleurs, un tiers de ces ménages agricoles pratique également l'élevage de bovins, volailles et ovins-caprins (DAAF, 2011b). Le troupeau est généralement alimenté par des fourrages prélevés dans le milieu environnant, tels que de l'herbe fauchée, des feuilles de bananiers hachées, *etc.* (DAAF, 2011b). A Grande-Terre comme à Petite-Terre, le nombre moyen de bovins par exploitation est faible (environ 5 têtes). Une faible partie des élevages de vaches est utilisé pour la production de lait (seulement 15%).

---

<sup>4</sup> Légumineuse très utilisée dans la cuisine traditionnelle mahoraise

<sup>5</sup> Feuilles provenant du manioc ou d'autres cultures notamment utilisées pour préparer le « mataba »

L'autoconsommation est prépondérante. En effet, compte-tenu de la prédominance des cultures vivrières et des élevages de faible effectif, les exploitations agricoles mahoraises visent principalement à satisfaire les besoins alimentaires familiaux. Dans ce cas, seuls les surplus sont commercialisés.

La visite de quelques exploitations agricoles et élevages situées à proximité de la décharge ont permis une caractérisation plus précise des productions locales. Le propriétaire de la maison en lisière de la décharge possède une grande exploitation de 2,5 ha ainsi que des élevages de caprins, de poules et de canards, élevés seulement pour leur viande (les œufs ne semblent pas être commercialisés mais sont probablement consommés). Les types de culture sont globalement similaires à ceux du recensement. Les cultures sont variées : bananes, manioc, maïs, mangues, agrumes, cucurbitacées (pastèques, melons, etc.). Ce terrain est partagé entre les différents membres de la famille et est une source principale d'autoconsommation. Cependant, une partie des cultures et des animaux sont vendus à des particuliers, en centre-ville et au marché de Labattoir. D'autres élevages ont été identifiés en contrebas de la décharge (notamment un élevage de zébus d'une dizaine de têtes), au nord-est de la décharge et en bordure de route. De nombreux poules et coqs se trouvaient également à ces endroits et certains ont été aperçus sur la décharge même.

### **3.2.3 Sites industriels**

La zone industrielle des Badamiers héberge plusieurs activités industrielles, dont certaines peuvent potentiellement constituer une source de pollution supplémentaire : le dépôt d'hydrocarbures des Badamiers (TOTAL) et la centrale thermique EDM (cf. annexe 11).

Le dépôt d'hydrocarbures des Badamiers, géré par l'entreprise TOTAL, est une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE). Cependant, elle dispose d'une autorisation d'exploiter provisoire, le dossier étant toujours en cours de traitement à la préfecture. Des analyses d'eau de mer (en provenance du lagon), d'eau souterraine (issue de puits privés sur le site) et des analyses d'air ambiant sont réalisées à titre privé par l'entreprise. Ces mesures internes ne sont pas communiquées. Cependant, des analyses d'air en sortie de séparateur sont imposées par la réglementation. Elles concernent plusieurs paramètres tels que les hydrocarbures totaux ou encore les COVs (BTEX : benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes). Il est à noter que les résultats sont tous conformes aux limites imposées par l'arrêté préfectoral. Ces émissions de COVs sont alors à prendre en compte car elles pourraient interférer avec des mesures futures au niveau du site de la décharge, si elles étaient envisagées.

Un dossier d'autorisation est également en cours de traitement pour la centrale thermique EDM, qui n'est pas encore une ICPE. Des mesures environnementales des polluants réglementés dans l'air à la sortie des cheminées ont été réalisées par le bureau d'étude SOCOTEC. Plusieurs paramètres sont concernés tels que le monoxyde de carbone (CO), les composés organiques volatiles non méthaniques (COVNM), les oxydes d'azote (NOx), les poussières et le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). Les émissions polluantes respectent également la réglementation en vigueur, à l'exception des NOx. Cependant, aucune mesure en dioxines et furanes dans l'air n'a été réalisée, bien que la littérature fasse état de possibles émissions en dioxines lors de production d'énergie par combustion au fuel. La centrale thermique utilise comme combustible du gasoil (fioul léger) et est ainsi susceptible d'émettre des dioxines et furanes. Les émissions n'ont jamais été mesurées sur site mais ces dernières peuvent être approchées en utilisant les facteurs d'émission développés par le PNUE et seraient de 0,5 µg TEQ/TJ de combustible fossile brûlé (PNUE, 2005).

#### **3.2.4 Autres activités humaines**

On recense également une plage, la plage des Badamiers, à seulement 350 mètres de la décharge. Cette plage, qui dispose d'une zone de pique-nique, est notamment fréquentée par la population pour la réalisation de « voulé » (barbecue mahorais traditionnel). D'autres plages sont situées au nord-est de la décharge, notamment les « piscines naturelles des Badamiers ». Enfin, le lac Dziani Dzaha se trouve au sud de la décharge et constitue un chemin de randonnée.

### **3.3 Diagnostic environnemental**

Les modes de gestion passés et actuels de la décharge des Badamiers ont très probablement conduit à une contamination des milieux alentours qui a potentiellement entraîné une exposition de la population.

#### **3.3.1 Analyse topographique**

Contrairement à Grande-Terre qui présente un relief très accidenté, le relief de Petite-Terre est peu marqué. Le plus haut sommet de l'île, la Vigie, culmine à 203 mètres. La décharge des Badamiers se trouve à l'extrême nord de Petite-Terre, à quelques centaines de mètres du littoral. Le terrain sur lequel la décharge est implantée est relativement plat. Le brûlage effectué sur le site et l'entassement des matières imbrûlées et autres déchets résiduels a cependant conduit à une surélévation du site qui présente actuellement plusieurs pentes relativement fortes. Le profil topographique est illustré par la coupe longitudinale nord-sud passant par la décharge (cf. annexe 12). Le lac Dziani Dzaha, formé à l'intérieur d'un ancien cratère volcanique, se trouve à proximité immédiate de la

décharge (200 mètres). Le profil topographique de la décharge est illustré par l'annexe X qui présente la coupe nord-sud passant par la décharge. En raison de sa hauteur de crête (environ 70 mètres), ce cratère pourrait constituer un obstacle partiel à la dispersion des fumées toxiques dans la direction sud, sud-est. Cependant, l'altitude à laquelle sont émises les fumées est inconnue. Seules des mesures apporteraient une réponse à cette question.

### **3.3.2 Analyse hydrologique**

Mayotte possède un réseau hydrographique particulièrement dense au sein duquel sont retrouvées des rivières pérennes, présentes tout au long de l'année, et des rivières non pérennes (SIEAM, 2011). En saison des pluies, et notamment en cas de forte pluviométrie, le régime hydraulique des rivières non pérennes peut devenir torrentiel (SIEAM, 2011). A Petite-Terre, il n'existe pas de rivières pérennes. D'après le BRGM (2008), l'étroitesse de l'île et sa topographie relativement plane ne permettent généralement pas le développement d'un bassin versant suffisant pour l'alimentation d'un cours d'eau. Cependant, des cours d'eau temporaires ont été identifiés en provenance des reliefs du Dziani Dzaha et de la Vigie en direction des plages de Papani et de Moya (à l'est de Petite-Terre). La carte représentant le réseau hydrographique de Petite Terre et le tracé du bassin versant incluant la décharge (cf. annexe 13), mettent également en évidence l'existence d'une rivière non pérenne, dont l'exutoire se situe au niveau de la plage des Badamiers. Ainsi, en cas de pluviométrie importante (comme cela est le cas en saison des pluies), les eaux ruisselant sur la décharge vont se déverser à l'exutoire de ce bassin versant. Il est à noter que ces eaux sont potentiellement contaminées par des substances toxiques qui risquent alors de se déverser dans la mangrove puis dans le lagon de Mayotte, impacter la qualité générale de l'eau de mer et de pénétrer la chaîne alimentaire aquatique.

### **3.3.3 Analyse géologique**

Mayotte est une île de formation volcanique ancienne. C'est la plus vieille île de l'archipel des Comores (environ 8 millions d'années). Elle présente une altitude un peu moins élevée que les îles voisines en raison de l'érosion et de l'enfoncement de son plateau (IEDOM, 2010).

Comme le montre l'annexe 14, la nature géologique du sol sur Petite-Terre est représentée par des formations volcano-sédimentaires récentes (BRGM, 2008). Elle correspond à un empilement stratifié de sables basaltiques et de certains débris coralliens sur lesquels viennent se superposer des dépôts meubles, tels que des pyroclastites, des cendres et des formations sableuses récentes (BRGM, 2008). D'après le BRGM, la géologie de Petite-Terre est principalement constituée de formes volcaniques peu indurées, observées dans des profondeurs de 0 à 10 m, présentant une perméabilité

moyenne à forte (30 mm/h soit environ  $10^{-4}$  à  $10^{-5}$  m.s<sup>-1</sup>). Le sol peut être moins perméable en cas des bandes indurées qui sont généralement observées à des profondeurs plus importantes, supérieures à 10 m.

Une caractérisation des unités pédo-géologiques et plusieurs tests d'infiltration ont été menés par le bureau d'étude SEGC Mayotte, dans le cadre du zonage d'assainissement conduit par la SIEAM, dans les communes de Petite-Terre (SIEAM, 2011). De la même façon, les résultats indiquent que les produits volcaniques récents sont très représentés sur la commune de Dzaoudzi, où est implantée la décharge des Badamiers. Les sols sont souvent très perméables puisque 93% des tests d'infiltration réalisés sur ces terrains donnent des perméabilités supérieures à 30 mm/h et 66% des tests des perméabilités très supérieures à 50 mm/h (SIEAM, 2011). En outre, le rapport du SIEAM précise que ces formations volcaniques récentes sont susceptibles de contenir des nappes d'eau (SIEAM, 2011). Aussi, la décharge est située sur un sol perméable à très perméable dont la nature géologique est principalement formée par des pyroclastites et des cendres. Ce type de terrain est ainsi favorable à l'infiltration d'eau. Les « jus » produits sur la décharge par le phénomène de lixiviation peuvent alors être entraînés dans les sols et ainsi contaminer les aquifères.

### **3.3.4 Analyse hydrogéologique**

La caractérisation des masses d'eau souterraine de Petite-Terre est présentée dans le rapport du BRGM (2008). Les investigations menées ont mis en évidence deux formations aquifères identifiées à Pamandzi. Une autre masse d'eau souterraine sur Petite-Terre existe également mais sa géométrie et son étendue sont encore inconnues (BRGM, 2008). Le rapport précise que la proximité du littoral constitue un frein au développement des nappes souterraines et peut conduire à une dégradation de la qualité des eaux souterraines par intrusion d'eau salée (BRGM, 2008). Ces facteurs expliquent que ces nappes d'eau souterraine ne sont plus exploitées pour alimenter la population de l'île de Petite-Terre en eau potable. A Petite-terre, le dessalement d'eau de mer permet, pour partie, l'approvisionnement de la population de l'île en eau potable. Ainsi, même si une contamination des ressources d'eau souterraine par les métaux lourds (voir certains POP) était avérée, cette dernière n'impacterait pas directement la population humaine par l'eau de consommation. Cependant, plusieurs puits privés ont été recensés et sont toujours utilisés par la population. C'est notamment le cas du propriétaire de la maison en bordure de la décharge qui utilise l'eau du puits pour certaines cultures et pour fournir de l'eau à ses animaux d'élevage (chèvres, poules, canards).

D'autres forages, réalisés par SEGC Mayotte en Grande-Terre, et ont mis en évidence l'existence de nappes d'eau supposées superficielles, situées entre 0 et 5 mètres NGM, au niveau des plaines alluviales en bord de mer (SIEAM, 2011). Ces nappes d'eau, qui

sont des nappes d'accompagnement des rivières ou du littoral (associées avec la mer) sont parfois exploitées. Compte-tenu de la forte perméabilité des terrains, il semblerait que ces nappes soient sensibles aux pollutions superficielles (SIEAM, 2011). En raison de la nature probablement superficielle des nappes d'eau souterraine à Petite-Terre, il est possible qu'une contamination des eaux superficielles (rivière ou eaux du lagon) entraîne également une contamination des eaux souterraines et *vice versa*.

### **3.3.5 Analyse météorologique**

L'île de Mayotte bénéficie d'un climat de type tropical maritime, chaud et humide. Il comprend deux saisons majeures, l'hiver austral ou saison sèche et l'été austral, ou saison des pluies, qui s'étendent respectivement d'avril à septembre et d'octobre à mars. Les températures sont généralement moins élevées en saison sèche ; elles évoluent entre 24 et 28°C. L'été austral, qui correspond à la saison des pluies, se caractérise, comme son nom l'indique, par des phénomènes pluvieux très fréquents et parfois intenses et par des températures plus élevées, de 27 à 34°C environ. Cette saison est également la plus humide, avec un taux d'humidité moyen de 85% (IEDOM, 2010).

Les conditions météorologiques peuvent moduler la production et/ou l'émission de substances toxiques, la contamination des milieux et l'exposition des populations. En effet, si l'on considère le cas particulier des dioxines, la littérature scientifique souligne que leur fabrication est en partie dépendante de la température à laquelle les déchets sont brûlés. De plus, il semblerait que leur production soit favorisée lors de combustions incomplètes, ce qui serait particulièrement le cas lors d'épisodes pluvieux. Par ailleurs, le phénomène de « splash over » serait également important dans ces conditions et conduirait à une contamination accrue des sols et des végétaux. Enfin, il semblerait que les dioxines soient fixées au niveau des premières couches du sol et que les phénomènes pluvieux intenses ne permettent pas leur migration dans les couches profondes (AFSSA/InVS, 2005 ; INERIS, 2006).

Plusieurs données météorologiques, provenant de la seule station météorologique de Petite-Terre, à Pamandzi, ont été recueillies auprès de Météo France. Les différentes fiches climatologiques collectées fournissent plusieurs éléments météorologiques, notamment la température, les précipitations, l'insolation, le rayonnement, etc. En raison de l'existence de saisons très différenciées, plusieurs roses des vents ont également été commandées de manière à connaître les vents dominants et leur amplitude pour chaque période de l'année. Ces informations pourraient constituer des données d'entrée pour une modélisation future de la dispersion d'un polluant dans l'air.

La vitesse moyenne annuelle du vent est de 3 m/s. L'intensité du vent est cependant un peu plus élevée en saison sèche, notamment à cause des alizés. La rose des vents moyennée sur plusieurs années pour la période 1981-2008 (représentative de la moyenne des vents dominants depuis le début de l'exploitation de la décharge) est indiquée en annexe 15. Les vents dominants sont principalement en direction sud entre 140° et 210° (sud-ouest et sud-est), avec des vitesses comprises entre [1,5 ; 4,5] et [4,5 ; 8,0]. Aussi, il semblerait que les vents se dirigent préférentiellement vers les zones habitées si l'on considère seulement cette rose des vents. L'annexe 16 présente les six roses des vents saisonnières pour la période 1999-2008. L'examen de ces roses des vents saisonnières montre cependant qu'il existe des différences très marquées selon la période de l'année aussi bien en termes de direction que d'intensité. Ainsi, l'ensemble des milieux pourraient être impactés. Il est possible de penser que la hauteur de crête du cratère du Dziani Dzaha puisse constituer un obstacle, même partiel, aux fumées. Il est cependant difficile de déterminer la hauteur d'émissions des fumées liées au brûlage des déchets ; cette dernière est probablement très variable et pourrait être influencée par la composition des fumées. Néanmoins, même si cela est le cas, cela n'impliquerait pas que l'exposition des populations soit nulle car la contamination des milieux entourant la décharge peut contribuer à une contamination des denrées alimentaires, et donc de l'Homme par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire.

Enfin, d'après Météo France, le phénomène de brise de terre-brise de mer<sup>6</sup> ne devrait pas être important à Mayotte puisque la différence de température entre la terre et la mer n'est pas réelle.

### **3.3.6 Synthèse**

Il est essentiel de faire la distinction entre danger et risque. Compte-tenu de la gestion passée et actuelle de la décharge, il est vraisemblablement possible d'affirmer que l'impact environnemental de l'exploitation de la décharge des Badamiers est important. Cependant, il paraît utile de rappeler qu'une pollution environnementale n'implique pas systématiquement l'existence de risques sanitaires pour l'Homme, encore faut-il que les populations soient exposées. Cependant, dans le cas de la décharge des Badamiers, la situation est singulière. En effet, en raison de la contamination possible de l'environnement par des polluants organiques persistants, des risques sanitaires pour les populations riveraines ne peuvent être complètement écartés. Il est alors nécessaire de savoir dans quelle mesure les populations sont exposées et de déterminer si cette exposition est à même d'impacter de façon majeure la santé des habitants de l'île.

L'analyse environnementale préalablement réalisée est à considérer pour la caractérisation du potentiel polluant du site. Les différents points suivants relèvent les

---

<sup>6</sup> Ecoulement d'air de la terre vers la mer ou de la mer vers la terre lié à un gradient de pression et de température

impacts potentiels de la décharge sur l'environnement et les sources d'exposition possibles pour l'Homme.

### ***Risque de production de lixiviats au sein de la décharge***

L'étude environnementale réalisée par le bureau d'étude CET en 2009, dans le cadre de la proposition de réhabilitation de la décharge des Badamiers indique une absence de suintements de lixiviats en période sèche. De plus, bien que la forte perméabilité du sol favorise l'infiltration de lixiviats, l'étude considère que « les lixiviats sont exempts de toxiques étant donné la faible présence de peintures, huiles minérales, etc. » mais qu'ils pourraient tout de même contenir des pesticides ou des métaux lourds. Cependant, les déchets admis sur la décharge sont très hétérogènes : ordures ménagères, déchets ménagers spéciaux, déchets de la construction, encombrants, DEEE, déchets dangereux (batteries notamment), etc. Ainsi, il paraît difficile de croire à la non-toxicité de lixiviats s'infiltrant dans une telle décharge.

La composition de ces lixiviats est cependant difficile à déterminer dans le détail. Øygaard *et al.* (2005) a étudié l'influence d'un incendie accidentel dans une décharge municipale en Norvège sur la composition chimique des lixiviats. Les mesures ont effectivement montré des niveaux particulièrement élevés en métaux lourds par rapport aux mesures effectuées en routine. Les métaux dans les lixiviats sont principalement présents sous forme particulaire et fixés dans les premières couches du sol. Cependant, des phénomènes d'oxydoréduction peuvent conduire à une augmentation de leur mobilité.

Choi & Lee (2006) ont mis en évidence la présence de dioxines dans des lixiviats émanant d'une décharge en Corée. La faible solubilité de ces substances dans l'eau est le facteur limitant principal à leur capacité à se retrouver dans les lixiviats (Choi & Lee, 2006). Cependant, leur capacité à la lixiviation est généralement accrue en présence de solvants lipophiles (PNUE, 1999a). En outre, les dioxines ou autres POP aux propriétés lipophiles ont tendance à se lier aux particules de carbone organique des sols ou encore aux matières organiques solubles. Ainsi, ils pourraient être entraînés par lixiviation dans les couches plus profondes du sol, voire dans la nappe phréatique (PNUE, 1999a). Ces composés pourraient également être transportés lors de l'érosion des terres et du ruissellement des eaux de pluie, bien que ces mécanismes de transfert soient plus marginaux pour les dioxines (PNUE, 1999a).

### ***Risque de pollution des sols***

Le risque de pollution des sols par les POP et les métaux lourds est hautement probable. Plusieurs études ont été réalisées dans le but d'estimer les concentrations en PCDD/Fs dans les sols collectés au voisinage de décharges municipales en Grèce et en Espagne

et ont montré une relation inverse entre les niveaux de contamination en dioxines et la distance du point de mesure par rapport au site de la décharge (Vassiliadou *et al.*, 2009). L'étude de Vassiliadou *et al.* (2009) a été menée à la suite d'un incendie accidentel en 2006 au sein d'une décharge municipale en Grèce. Les résultats de l'étude, concernant la contamination des sols par les dioxines, étaient en accord avec les études précédemment citées et ne montraient pas de signe de contamination au-delà d'une distance de 500 mètres de la décharge. Néanmoins, les analyses d'échantillons alimentaires prélevés dans la zone impactée ont mis une évidence des concentrations anormales en dioxines, dépassant parfois les limites européennes. Les aliments les plus contaminés provenaient de fermes situées à des distances allant de 500 m à 5 km. Il s'agissait de produits d'origine animale (viande, lait, œufs) et des produits d'origine végétale ayant une teneur en lipides moyenne (olives).

L'étude réalisée par Schuhmacher & Domingo (2006) au voisinage d'un incinérateur a également montré que la contamination sur le site était la plus importante mais a mis en évidence une présence de dioxines jusqu'à 3 km de distance, dans la direction des vents dominants. De plus, il semblerait que le phénomène de volatilisation des dioxines (congénères faiblement chlorés qui possèdent une pression de vapeur élevée) serait important dans le cas de sols très contaminés et pourrait alors impacter des zones plus éloignées (Schuhmacher & Domingo, 2006). Ainsi, le risque de pollutions des sols est probablement très élevé et ne concernerait pas seulement les zones à proximité immédiate de la décharge mais pourraient aussi impacter les zones plus densément peuplées (centre-ville de Dzaoudzi voire de Pamandzi).

Le rapport du CET (2009), fait seulement état d'une contamination possible des sols par les métaux lourds.

### ***Risque de production de biogaz***

Ce risque est limité puisque la majorité des déchets arrivant sur la décharge sont brûlés et deviennent inertes (CET, 2009).

### ***Risque d'émission de bioaérosols***

Le risque d'émission de bioaérosols, pouvant contenir des virus, des bactéries et des moisissures, est faible mais il n'est pas négligeable. Ce risque pourrait résulter du déversement des déchets et de la mise en suspension dans l'air de particules et de bioaérosols (CET, 2009). Cependant, les déchets d'activité de soins à risque infectieux (DASRI) provenant du centre hospitalier de Pamandzi ne sont pas admis sur la décharge et sont traités séparément.

### ***Facteurs majorant le risque d'émission de dioxines sur la décharge***

Plusieurs facteurs sont susceptibles de majorer le risque de formation de dioxines et autres POP au sein de la décharge. Parmi eux, le brûlage des déchets réalisé à ciel ouvert, en décharge, implique que les températures de combustion sont insuffisantes pour permettre la destruction des dioxines formées (Ettala *et al.*, 1996). La température doit atteindre 850°C au minimum pour permettre leur élimination (AFSSA/InVS, 2005). Cependant, il faut préciser que même si de telles températures sont atteintes, la synthèse des dioxines « *de novo* » peut conduire à une nouvelle formation. De plus, d'après la campagne récente de quantification et de caractérisation des déchets ménagers à Mayotte (TRIVALOR/Indiggo, 2007), il est possible d'affirmer que la majorité des déchets retrouvés sur la décharge de Petite-Terre sont constitués de déchets organiques, qui présentent une humidité importante. Cette dernière est alors susceptible d'influer sur la température de combustion qui sera ainsi moins importante. La saison pourrait également moduler, de façon défavorable, la production de dioxines, la température pouvant être réduite du fait de phénomènes pluvieux intenses. Les précipitations pourraient également favoriser la déposition de particules humides. A noter également que l'absence de tri des déchets à Mayotte conduit à la présence d'une part de plus en plus importante de plastiques (7,5% de la composition totale) et d'autres déchets contenant notamment du PVC constitué de chlore organique qui est capable d'initier la production de dioxines. De même, les restes alimentaires retrouvés dans les déchets organiques contiennent du chlore sous forme inorganique (sel de chlorure de sodium ou NaCl) qui est également un initiateur de la production de dioxines. Enfin, l'insularité de Petite-Terre et la proximité du littoral contribuent à la présence d'embruns marins chargés en sel dans l'air ambiant qui peuvent alors accroître les quantités de dioxines originellement produites (Durif & Mosqueron, 2006). Ainsi, pour l'ensemble de ces raisons, il semble justifié de penser que les conditions de réalisation du brûlage et les particularités du site concourent à d'importantes émissions de dioxines au sein de la décharge des Badamiers.

### ***Transfert des polluants à l'environnement***

Les feux de décharges entraînent la formation de panaches de fumée importants chargés en poussières et particules inhalables. Le potentiel de déposition de ce nuage de fumées peut être considérable mais la dispersion temporelle et spatiale de ces polluants est généralement complexe, en raison des propriétés physico-chimiques intrinsèques à chaque substance (Chrysikou *et al.*, 2008).

### **3.4 Recueil des données alimentaires**

#### **3.4.1 Consommation alimentaire de la population mahoraise**

L'île de Mayotte vit une phase de transition nutritionnelle conduisant à un changement important dans les habitudes alimentaires des habitants. Cette évolution a pour conséquence l'apparition de situations de surpoids et d'obésité mais également de pathologies chroniques caractéristiques des pays développés telles que les maladies cardiovasculaires, l'hypertension et le diabète de type II.

Une enquête alimentaire a été menée dans le cadre de l'étude NutriMay (InVS, 2006) et visait à caractériser l'alimentation, l'état nutritionnel et l'état de santé de la population mahoraise. L'alimentation de Mayotte reste encore traditionnelle, plus proche de ce qui est observé dans les pays en développement qu'en métropole ou dans les autres DOM. Le régime alimentaire de base rencontré à Mayotte est principalement constitué de riz, de tubercules (manioc, sorge, patate douce, *etc.*), de fruits (bananes, oranges, citrouille, *etc.*) et de légumes (courgettes, aubergines, brèdes, *etc.*). Cependant, il inclut de faibles quantités de fruits, de légumes et de produits laitiers, en raison de leur faible disponibilité et/ou accessibilité (coût élevé notamment) (InVS, 2006).

#### **3.4.2 Part de l'autoconsommation dans l'alimentation**

La part de l'autoconsommation dans l'alimentation est extrêmement importante à Mayotte avec près d'un tiers des foyers possédant un terrain dédié aux cultures vivrières (production des aliments de base et maraîchage). L'élevage à l'échelle des ménages est également très fréquent sur l'île où la population dispose le plus souvent de poules et autres animaux de basse-cour. Une contamination des sols par les dioxines ou autres POP pourrait entraîner la surexposition des populations consommant majoritairement des produits locaux. Ce facteur pourrait ainsi moduler de façon importante l'exposition humaine et les risques sanitaires encourus par la population.

## 4 Stratégies d'évaluation de l'impact sanitaire

L'impact sanitaire d'une situation pouvant présenter des risques pour l'environnement et la santé publique peut être apprécié au moyen de différentes stratégies d'évaluation. L'évaluation des risques sanitaires (ERS) est une démarche reconnue par de nombreuses instances internationales (dont l'Organisation Mondiale de la Santé) comme méthode visant à évaluer les risques pour la santé liés à une situation dangereuse. D'autres approches, telle que des études de « biomonitoring », sont également utilisées. Dans cette dernière méthode, le suivi de certains biomarqueurs d'exposition permet de relier l'exposition à des polluants et leurs effets sur la santé. Dans notre étude, la démarche d'ERS a été choisie afin d'évaluer les risques encourus par les habitants de Petite-Terre. En effet, il est apparu que cette stratégie était la plus adaptée, compte-tenu des différences possibles en termes de durée d'exposition des riverains (nombreux expatriés) et du contexte particulier de l'île de Mayotte.

### 4.1 Evaluation de risques sanitaires

L'évaluation de risque sanitaire a été définie par le National Research Council (Etats Unis) en 1983 comme « *l'utilisation de faits scientifiques pour définir les effets sur la santé d'une exposition d'individus ou de populations à des matériaux ou à des situations dangereuses* ». Elle constitue un outil d'aide à la gestion d'un risque sanitaire et à la prise de décision. Elle comprend quatre phases fondamentales (annexe 17): identification du danger, caractérisation de la relation dose-réponse, évaluation des expositions humaines, caractérisation du risque.

L'absence de mesures environnementales sur le site d'étude ne nous aura pas permis d'évaluer les expositions et de mener à bien cette ERS. Une première approche aurait consisté à trouver des valeurs dans la littérature scientifique et à réaliser un calcul de risque mais ce résultat aurait été empreint de fortes incertitudes et aucune conclusion fiable et/ou mesures de gestion du risque n'aurait pu en découler.

Des données préliminaires, relatives aux deux premières étapes de l'ERS et des éléments concernant le protocole à suivre seront donnés dans cette quatrième partie.

#### 4.1.1 Identification des dangers et choix des polluants

Les polluants à considérer pour une ERS future pourront concerner les substances choisies comme traceurs de risque sanitaire dans la sous-partie §2.2. Les ETM choisis correspondent aux substances classées comme prioritaires par l'Union Européenne, à savoir le mercure, le plomb, le cadmium et l'arsenic. Le choix de ces polluants résulte principalement des données de la littérature internationale sur les feux de décharge et le brûlage incontrôlé des déchets ménagers à ciel ouvert. De plus, il s'avère que la majorité

des polluants cités dans ces publications scientifiques sont constitués par des POP, qui sont des composés hautement toxiques capables de persister pendant des durées très longues dans l'environnement et d'impacter les générations actuelles et futures. Dans la mesure où les dioxines sont à l'origine des principales inquiétudes soulevées par la population et les associations environnementales de Mayotte, l'ERS pourra se concentrer principalement sur l'étude de toutes ces substances.

La fermeture de la décharge des Badamiers est probablement proche. Prévues pour l'année 2012, elle devrait être effective au plus tard en 2013. Bien que des risques sanitaires liés à l'exposition aiguë à certains polluants, tels que le CO ou le HCl, ne puissent être totalement écartés à l'heure actuelle pour les riverains à proximité immédiate de la décharge et les agents y travaillant, il semblerait qu'une telle exposition puisse être assez rare compte-tenu du phénomène de dilution des polluants dans l'air. De plus, si des mesures environnementales sur le site sont envisagées dans le futur, les concentrations de ces polluants dans l'air ambiant ne devraient pas être aussi élevées qu'elles pourraient l'être aujourd'hui. Aussi, en raison de la grande rémanence des POP dans l'environnement et des propriétés toxiques de ces substances, il est apparu pertinent de s'intéresser uniquement aux expositions chroniques par inhalation et/ou ingestion, selon les substances considérées. L'annexe 18 présente les voies d'exposition à considérer pour chaque polluant.

#### **4.1.2 Estimation des relations dose-réponse**

Cette deuxième étape de l'évaluation de risque consiste en la recherche de données ayant trait à la toxicité des polluants retenus. Elle vise également à identifier l'ensemble des valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour le type d'exposition, la voie d'exposition et le polluant considérés. L'annexe 19 présente les VTR et les effets toxiques associés de ces substances selon les voies d'exposition considérées.

#### **4.1.3 Evaluation des expositions**

L'exposition des populations à une substance toxique dépend de la concentration de cette substance dans les compartiments de l'environnement, des voies d'exposition et des modalités de contact des individus avec ces substances (INERIS, 2003a). Ainsi, l'évaluation des expositions des populations doit reposer sur une connaissance précise des émissions, des voies de transfert et des activités, comportements et habitudes alimentaires des populations étudiées (INERIS, 2003a ; Glorennec, 2001).

##### **A) Détermination de la zone d'étude**

La détermination de la zone d'influence du site peut être effectuée par modélisation de la dispersion des polluants, ce qui permettrait d'identifier la zone de retombées maximales

des polluants. Compte-tenu de la superficie relativement faible de Petite-Terre, la zone d'étude pourrait être représentée par l'ensemble de l'île (communes de Dzaoudzi-Labattoir et Pamandzi).

#### B) Identification et caractérisation des populations exposées

Les caractéristiques intrinsèques aux individus (variabilité interindividuelle), leurs modes de vie et habitudes, la distance de leur logement par rapport au site d'étude sont à même de moduler leur exposition. Plusieurs éléments relatifs à l'identification et la caractérisation des populations exposées ont été énoncés, lors de la caractérisation du site d'étude, dans la partie §3.2 notamment. Cependant, des précisions supplémentaires concernant les populations sensibles (enfants en bas âge, personnes âgées, personnes malades) et leur répartition à l'échelle du territoire de Petite-Terre sont à fournir. La population générale devrait être considérée comme population d'étude.

#### C) Sources, voies d'exposition et scénarios d'exposition

Les mesures environnementales futures pourront renseigner sur les sources principales d'exposition. La partie § 2.2.1 synthétise les propriétés toxicologiques des polluants traceurs et les voies d'exposition spécifiques. Ainsi, dans cette étude, les voies d'exposition qu'il faudrait considérer sont principalement constituées par l'inhalation d'air et de particules (poussières) et l'ingestion de particules du sol, d'eau et de produits locaux (viande, poissons, œufs, végétaux). L'exposition par contact cutané devrait être négligeable. D'autres ERS associées à l'exposition aux dioxines ont conduit aux mêmes choix concernant les voies d'exposition (Schuhmacher & Domingo, 2006). La définition de plusieurs scénarios d'exposition, présentant des budgets-espace-temps<sup>7</sup> (BET) spécifiques, permettrait de représenter la majorité des situations rencontrées.

#### D) Evaluation de la contamination des milieux d'exposition

La réalisation de mesures environnementales participerait à l'évaluation de la contamination des milieux d'exposition où ont été réalisés les prélèvements. Une modélisation de la dispersion et de l'accumulation des polluants dans les *media* de l'environnement pourra alors être effectuée au moyen de logiciels de dispersion atmosphériques appropriés à la source émettrice, tels qu'ARIA Impact ou Atmo. En cas d'absence de mesures dans les végétaux et les animaux, les teneurs en POP (notamment les dioxines) pourront éventuellement être estimées à l'aide de coefficients de transfert, à partir des données de mesures environnementales dans les sols.

---

<sup>7</sup> Description des activités d'une personne et du temps moyen passé pour chaque activité

#### E) Calcul des concentrations d'expositions

L'exposition humaine pourra alors être évaluée au moyen d'un modèle multimédia d'exposition tel que CalTOX qui relie la contamination des différents milieux d'exposition, tels que l'air, les sols et l'eau, aux concentrations en polluants dans les *media* au contact avec l'Homme. Le logiciel permet de calculer une dose d'exposition journalière moyenne pour un polluant donné en prenant en compte les voies d'expositions diverses et les multiples scénarios d'exposition considérés.

#### 4.1.4 Caractérisation des risques

La caractérisation des risques implique le calcul de quotients de danger (QD) pour les effets toxiques à seuil et d'excès de risques individuels (ERI) pour les effets toxiques sans seuil (effets cancérogènes génotoxiques). La mise en évidence de QD supérieurs à 1 signifiera que la survenue d'un effet toxique ne peut être exclue. L'ERI peut être défini comme la probabilité individuelle d'avoir un cancer au cours de sa vie associé à l'exposition étudiée. Cette valeur peut alors être comparée à la valeur repère de  $10^{-5}$  qui est considérée comme étant un ERI acceptable.

Un calcul de l'impact sanitaire pourra éventuellement être réalisé qui permettra de mettre en exergue le nombre de cancers étant susceptibles de se développer dans l'ensemble de la population considérée.

#### 4.1.5 Analyse des incertitudes

La dernière étape de l'ERS consiste à analyser les incertitudes de la démarche, notamment celles concernant la toxicité des substances et l'évaluation des populations exposées.

### 4.2 Biomonitoring

Une définition du « biomonitoring » a été donnée par le groupe de travail sur la surveillance des populations (CMWG), qui aide à la mise en œuvre de l'application de la convention de Stockholm sur les POP. Le « biomonitoring » est une « *évaluation de l'exposition humaine à des produits chimiques de l'environnement par la mesure de ces produits et de leurs métabolites dans le sang, l'urine, la salive ou dans les tissus* ». Malgré les nombreux avantages que présente cette méthode, son caractère intrusif, les incertitudes liant les mesures de biomarqueurs à l'exposition liée à la décharge et les moyens humains, techniques et financiers considérables rendent le biomonitoring difficilement applicable dans le contexte particulier de Mayotte. L'annexe 20 présente les principaux intérêts et limites des deux stratégies d'évaluation de l'impact sanitaire, à savoir l'ERS et le biomonitoring.

## 5 Campagne métrologique

Une campagne de mesures environnementales devra être réalisée ultérieurement afin d'informer quant à l'existence d'une pollution et situer le niveau de contamination dans la zone d'étude considérée. Cette campagne visera également à déterminer les concentrations en polluants traceurs dans les différentes matrices environnementales collectées et à identifier la ou les sources principale(s) de contamination. Les résultats de ces mesures *in situ* pourront alors être utilisés afin d'évaluer les expositions des populations dans la démarche ERS et de quantifier les risques encourus par les populations. Les teneurs déterminées dans les aliments pourront également être comparées aux limites imposées par la réglementation et aider ainsi à la prise de mesures de gestion (telles que des retraits de certains aliments du marché), si des dépassements importants étaient identifiés, dans le but de protéger les populations humaines exposées.

### 5.1 Choix des polluants

Dans cette future campagne métrologique, le choix des polluants à mesurer serait identique à celui des polluants traceurs. Compte-tenu du fait que les dioxines semblent être assez spécifiques de la pratique de brûlage des déchets à ciel ouvert et en raison de leur toxicité élevée, de leurs propriétés cancérigènes et d'une préoccupation sociale grandissante, des premières mesures environnementales pourraient les concerner en priorité.

Ces mesures devraient principalement prendre en compte les modes de transfert suivants des contaminants dans l'environnement : retombées atmosphériques issues de la combustion non contrôlée des déchets dans la décharge au niveau des sols (contamination des sols, des végétaux et des animaux terrestres) et sur l'eau (contamination du lagon et des organismes aquatiques), lixiviation des déchets (possible contamination de l'eau souterraine) et lessivage des sols par les fortes pluies.

### 5.2 Choix des matrices à échantillonner

Le choix des matrices à échantillonner doit tenir compte des propriétés physico-chimiques des substances et de leur comportement dans les différents *media* de l'environnement. En raison de leur nature hydrophobe et de leur tendance à se fixer aux particules dans l'air et aux matières organiques dans l'eau, les dioxines et furanes, les HAP et les PCB sont principalement retrouvés dans les sols et les sédiments marins. En effet, l'étude de Chryssikou *et al.* (2008) a mis en évidence la présence de fortes teneurs en HAPs dans les sols, à la suite d'un incendie accidentel dans une décharge en Grèce. De plus, la biodégradation des POP dans les sols peut être considérée comme un processus mineur

dans l'environnement (Roots *et al.*, 2004). En raison de leurs longues demi-vies, les POP (notamment les dioxines) sont capables de persister pendant des temps très longs dans ces matrices environnementales, de plusieurs années à plusieurs décades (INERIS, 2006b). Les teneurs les plus importantes en dioxines semblent être retrouvées dans les premières couches de sol (0-10 cm) (Nouwen *et al.*, 2001 ; Roots *et al.*, 2004 ; InVS/AFSSA, 2005). Cependant, en raison de l'entassement des déchets, il est possible que les dioxines soient en concentration élevée à des profondeurs plus importantes. Il faudrait alors envisager des mesures à différentes profondeurs afin d'approcher la contamination de manière plus précise. Ainsi, des premières mesures pourraient prioritairement concerner les sols et sédiments car ils pourraient constituer les compartiments environnementaux les plus contaminés et témoigneraient d'une éventuelle contamination à long terme (Schuhmacher & Domingo, 2006).

Tableau 4: Prélèvements à réaliser dans les matrices environnementales, selon polluants

Matrice Polluant	Air ambiant	Sols	Sédiments marins	Eau douce	Eau de mer	Végétaux	Produits animaux
Dioxines	•	•	•		•	•	•
Métaux lourds	•	•	•	• (Hg, Pb)	• (Hg, Pb)	•	•
PCBs	•	•	•		•	•	•
HAPs	•	•	•		•	•	•

Il serait néanmoins intéressant de prélever des échantillons sur plusieurs matrices différentes afin de mettre en évidence le compartiment environnemental le plus impacté. Des mesures dans les aliments (produits animaux et végétaux) permettraient de conclure quant à la contamination des chaînes alimentaires aquatique et terrestre. Les teneurs en dioxines qui seraient retrouvées au sein de cette matrice pourraient notamment être comparées avec les teneurs maximales imposées dans certaines denrées alimentaires (règlement européen 2006/1881/CE) ainsi qu'avec des échantillons similaires prélevés dans la zone témoin. De cette façon, il serait possible d'identifier les aliments les plus contaminés et prendre des mesures de gestion en conséquence. Sachant que les dioxines ne sont généralement pas rencontrées dans les végétaux, en raison de leur faible teneur lipidique (Vassiliadou *et al.*, 2009), il est possible de s'interroger sur l'utilité de telles mesures. Néanmoins, des mesures dans certains végétaux, tels que les cucurbitacées (courge, courgettes, concombre, melon ou pastèque), à priori capables d'internaliser les dioxines, pourraient s'avérer nécessaires. D'autres végétaux, qui

présentent une surface de contact importante avec l'air tels que la salade ou encore les brèdes, très consommés dans la population mahoraise, pourraient également être utiles. Les modes de cuisson des aliments seraient éventuellement susceptibles d'influencer la teneur en dioxines et en HAP finale (Santé Canada, 1994). Il faudrait alors peut-être envisager de tester plusieurs modes de cuisson pratiqués localement (friture notamment) sur certaines familles d'aliments comme les tubercules.

### **5.3 Choix des points de mesure**

Les points de mesures devront concerner en premier lieu le site de la décharge puis des zones situées à une distance allant de 500 m à environ 10 km, en prenant en considération les données météorologiques et les vents dominants. Sur les points de mesure choisis, plusieurs prélèvements de milieux différents pourraient être réalisés (eau si possible, air, sols, aliments). Il serait notamment intéressant de réaliser ces mesures au niveau de l'habitation en lisière de la décharge puisqu'il s'agit d'un ménage agricole disposant de plusieurs aliments pouvant être échantillonnées, d'animaux d'élevage et d'un puits privé. D'autres points de mesure pourront être positionnés à distance de la décharge (centre péri-urbain et centre urbain de Dzaoudzi) puis à Pamandzi, afin d'évaluer la distribution spatiale de la concentration en dioxines.

### **5.4 Choix des périodes de mesure**

Plusieurs campagnes de prélèvement sont à envisager pendant les saisons sèches et humides afin de bénéficier d'une bonne représentativité des mesures sur l'année. Des différences notables pourraient éventuellement être observées en raison des conditions météorologiques différentes suivant la période de l'année considérée (notamment en saison des pluies, au cours de laquelle la contamination pourrait être plus importante).

### **5.5 Analyse des résultats**

Pour une analyse adéquate des résultats de mesures de métaux lourds, il faudra veiller à caractériser le bruit de fond géochimique dans la mesure où certains métaux sont présents de façon naturelle dans l'environnement.

L'annexe 21 présente le devis proposé par Micropolluants Technologie S.A. présentant les quantités d'échantillons nécessaires aux analyses et les coûts inhérents à chaque mesure, suivant le polluant et la matrice environnementale considérée.

## Conclusion

La gestion inadaptée des déchets sur l'île de Mayotte et les méthodes d'élimination locales (notamment le brûlage des déchets à ciel ouvert) sont susceptibles de faire encourir des risques sanitaires aux populations humaines. En effet, l'étude de la littérature internationale sur les feux de décharge et le brûlage de déchets à ciel ouvert a mis en évidence l'émission possible de nombreuses substances toxiques tels que les polluants organiques persistants (dioxines, furanes, polychlorobiphényles), les hydrocarbures aromatiques polycycliques ou encore les métaux lourds. Ces polluants sont associés à une multitude d'effets toxiques, dont des effets cancérogènes. Leur rémanence dans l'environnement est particulièrement problématique dans le sens où elle pourrait affecter, non seulement la santé des populations actuelles, mais également celle des populations futures. Par ailleurs, l'autoconsommation de produits locaux est extrêmement forte et pourrait représenter un facteur de risque majeur dans la mesure où l'ingestion d'aliments contaminés constitue la voie d'exposition principale pour les dioxines.

L'analyse de la situation environnementale et la caractérisation de la décharge, du territoire, des populations et de leurs habitudes ont apporté de nombreuses informations qui rendent possible la réalisation future d'une évaluation de risques sanitaires. Des données complémentaires nécessiteraient cependant d'être collectées afin de pouvoir mener à bien une telle étude. Aussi, une connaissance plus fine de la consommation alimentaire des habitants serait utile afin d'approcher plus précisément l'exposition des populations. En outre, la réalisation de mesures environnementales sur le site d'étude et sur les communes de Petite-Terre s'avère indispensable. Elle renseignera sur la contamination de l'environnement et l'exposition réelle des populations. En cas de contamination avérée, des mesures de gestion devront être mises en place afin de réduire efficacement l'exposition des populations.

L'île de Mayotte doit aujourd'hui faire face à de nombreux challenges. Son entrée prochaine dans l'Union Européenne l'obligera à respecter strictement la réglementation en vigueur en matière de déchets. Quelques actions d'information et de prévention de la production de déchets sont visibles sur le territoire mahorais. Seul un changement radical des comportements et une appropriation entière du problème par la population permettront une amélioration notable de la salubrité publique.

---

## Bibliographie

---

Action contre la faim (2006). Eau – Assainissement – Hygiène pour les populations à risque. Hermann. 785 pages.

ADEME (2007). La collecte des déchets par le service public en France – Résultats Année 2007.

ADEME (2009). Campagne nationale de caractérisation des ordures ménagères – Résultats Année 2007.

AFSSA/InVS (2005). 65 questions-réponses sur les incinérateurs et les dioxines.

BRGM (2008). Synthèse hydrogéologique du Nord-Est de Mayotte. Caractérisation des masses d'eau souterraine des secteurs de Petite-Terre et de Tsoundzou-Koungou. 76 pages.

CET Mayotte (2009). Rapport - Phase 1 : Réhabilitation de la décharge des Badamiers (SIVOM Petite-Terre) – Diagnostic environnemental.

Choi, K.-I. & Lee, D.-H. (2006). PCDD/Fs in leachates from Korean MSW landfills. *Chemosphere*; **63**: 1353-1360.

Chrysikou, L. *et al.* (2008). Distribution of persistent organic pollutants, polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements in soil and vegetation following a large scale landfill fire in northern Greece. *Environment International*; **34**: 210-225.

CITEPA (2011). Emissions dans l'air en France (Métropole). Substances relatives à la contamination par les polluants organiques persistants.

Collectivité Départementale de Mayotte (2010a). PEDMA : Plan d'Élimination des Déchets Ménagers et Assimilés de Mayotte 2010-2020.

Collectivité Départementale de Mayotte (2010b). PEDMA 2010-2020 : Évaluation Environnementale du Plan d'Élimination des Déchets Ménagers et Assimilés de Mayotte.

Conseil Général de Mayotte (2010). Livret : Pour une gestion durable des déchets à Mayotte.

Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants (POPs).

DAAF Mayotte (2011a). L'essentiel du recensement agricole 2010.

DAAF Mayotte (2011b). Synthèse illustrée du recensement agricole 2010.

Durif & Mosqueron (2006). Mission mixte InVS-INERIS à Saint-Pierre-et-Miquelon – Descriptif de la situation environnementale et axes de stratégie en vue de la réalisation d'une campagne de mesures environnementales.

Estrellan, C.R. & Iino, F. (2010). Toxic emissions from open burning: a review. *Chemosphere*; **80**: 193-207.

Ettala, M., *et al.* (1996). Landfill fires in Finland. *Waste Management & Research*; **14**: 377-384.

Fiedler, H. (2007). National PCDD/PCDF release inventories under the Stockholm convention on persistent organic pollutants. *Chemosphere*; **67**: S96-S108.

GIRUS – Mugnier, C. et Oberlé, C. (2011). Rapport définitif : Elaboration du schéma de plan de prévention des déchets de Mayotte.

Glorennec, P., *et al.* (2001). Evaluation du risque sanitaire lié au fonctionnement de l'usine d'incinération d'ordures ménagères d'Angers. CIRE Ouest.

Gullett, B. K., *et al.* (2001). Emissions of PCDD/F from uncontrolled, domestic waste burning. *Chemosphere*; **43**: 721-725.

Guyot, D. et Soilihi, F. (2008). Etude socio-comportementale du processus de production, collecte et stockage des déchets ménagers au sein de la sphère domestique et de l'espace public à Mayotte. Conseil général de Mayotte – Assistance Technique Internationale à l'Unité Technique de Gestion à Mayotte.

IEDOM (2010). Rapport annuel 2010 – Mayotte. 209 pages.

INERIS (2003a). Evaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des ICPE – Substances chimiques. 152 pages.

INERIS (2003b). Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Plomb et ses dérivés. 90 pages.

INERIS (2005). Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Benzo[b]fluoranthène. 36 pages.

INERIS (2005b). Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Benzo[k]fluoranthène. 40 pages.

INERIS (2005c). Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Cadmium et ses dérivés. 60 pages.

INERIS (2005d). Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Indéno[1,2,3,c,d]pyrène. 35 pages.

INERIS (2005e). Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Polychlorobiphényles. 70 pages.

INERIS (2006a). Eléments traces métalliques. Guide méthodologique : recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines. 138 pages.

INERIS (2006b). Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Dioxines. 82 pages.

INERIS (2006c). Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – HAP. 50 pages.

INERIS (2006c). Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Benzo[a]pyrène. 44 pages.

INERIS (2006d). Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Benzo[g,h,i]pérylène. 38 pages.

INERIS (2008). Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Hexachlorobenzène. 99 pages.

INERIS (2010a). Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Arsenic et ses dérivés inorganiques. 124 pages.

INERIS (2010). Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Mercure et ses dérivés. 120 pages.

INSEE (2007). Recensement général de la population de Mayotte. *Insee Infos N°32*.

INSEE (2008). Enquête « Budget de famille ». *Mayotte Résultats N°8*.

INSEE (2010). Tableau économique de Mayotte.

InVS (2006). Alimentation, état nutritionnel et état de santé dans l'île de Mayotte : l'étude NutriMay.

Kim, K.-S. *et al.* (2004). Emission characteristics of PCDD/Fs, PCBs, chlorobenzenes, chlorophenols, and PAHs from polyvinylchloride combustion at various temperatures. *Air and Waste Management Association*; **54**: 555-562.

Lemieux, P. M. *et al.* (2001). Bench-scale studies on the simultaneous formation of PCBs and PCDD/Fs from combustion systems. *Waste Management*, **21**: 419-425.

Mari, M., *et al.* (2009). Exposure to heavy metals and PCDD/Fs by the population living in the vicinity of a hazardous waste landfill in Catalonia, Spain: Health risk assessment. *Environmental International*; **35**: 1034-1039.

OMS (2002). Safety evaluation of certain food additives and contaminants - Polychlorinated dibenzodioxines, polychlorinated dibenzofurans, and coplanar polychlorinated biphenyls. *WHO Food Additives Series*: **48**.

OMS – Centre des médias. Preventing disease through healthy environments - Exposure to dioxins and dioxin-like substances: a major public health concern.

Øygaard, J. K. *et al.* (2005). Effect of an uncontrolled fire and the subsequent fire fight on the chemical composition of landfill leachate. *Waste Management*, **25**: 712-718.

PNUE (1999a). Inventaires des dioxines et des furanes – Emissions nationales et régionales des PCDD et PCDF.

PNUE (1999b). Lignes directrices pour l'identification des PCB et du matériel contenant des PCB.

PNUE (2005). Outil spécialisé (Toolkit) pour l'identification et quantification des rejets de dioxines et des furanes – 2<sup>ème</sup> édition.

Santé Canada (1994). Liste des substances d'intérêt prioritaire – Rapport d'évaluation : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques. 76 pages.

Schuhmacher, M. & Domingo, J. L. (2006). Long-term study of environmental levels of dioxins and furans in the vicinity of a municipal solid waste incinerator. *Environment International*; **32**: 397-404.

SIEAM (2011). Commune de Dzaoudzi-Labattoir: Actualisation de l'étude de zonage d'assainissement.

TRIVALOR/Indiggo (2007). Evaluation et caractérisation du gisement des déchets ménagers et assimilés en vue de l'élaboration du plan départemental d'élimination des déchets ménagers et assimilés.

Van der Berg, M., *et al.* (2006). The 2005 World Health Organization reevaluation of human and mammalian Toxic Equivalency Factors for dioxins and dioxin-like compounds. *Toxicological Sciences*; **93(2)**: 223-241.

Vassiliadou, I. *et al.* (2009). Dioxin contamination after an accidental fire in the municipal landfill of Tagarades, Thessaloniki, Greece. *Chemosphere*; **74**: 879-884.

Zhang, T., *et al.* (2011). Emissions of unintentional persistent organic pollutants from open burning of municipal solid waste from developing countries. *Chemosphere*; **84**: 994-1001.

---

## Liste des annexes

---

<b>ANNEXE 1</b> : COMPARAISON DE LA COMPOSITION DES ORDURES MENAGERES A MAYOTTE ET EN METROPOLE .....	II
<b>ANNEXE 2</b> : PHOTOGRAPHIES ILLUSTRANT LES INSUFFISANCES DE LA GESTION DES DECHETS A MAYOTTE.....	III
<b>ANNEXE 3</b> : FACTEURS D'EQUIVALENCE TOXIQUE .....	IV
<b>ANNEXE 4</b> : SCHEMA DE CONTAMINATION SIMPLIFIE DE L'HOMME PAR LES DIOXINES SUR LA DECHARGE DES BADAMIERS .....	V
<b>ANNEXE 5</b> : METAUX LOURDS .....	VI
<b>ANNEXE 6</b> : PHOTOGRAPHIES ILLUSTRANT LA PRATIQUE DE BRULAGE DES DECHETS DANS LA DECHARGE DES BADAMIERS .....	VIII
<b>ANNEXE 7</b> : CARACTERISATION DES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES DE PETITE-TERRE .....	IX
<b>ANNEXE 8</b> : ORTHOPHOTOGRAPHIE DE PETITE-TERRE INDIQUANT LA DECHARGE, LES ZONES HABITEES ET LA ROSE DES VENTS MOYENNE POUR LA PERIODE 1981-2008.....	XVI
<b>ANNEXE 9</b> : EVOLUTION DE LA POPULATION A MAYOTTE, PAR COMMUNE .....	XVII
<b>ANNEXE 10</b> : OCCUPATION DU SOL EN CULTURES VIVRIERES, FOURRAGERES ET VERGERS. ....	XVIII
<b>ANNEXE 11</b> : LOCALISATION DE LA DECHARGE PAR RAPPORT AUX SITES INDUSTRIELS ET AUX HABITATIONS.....	XIX
<b>ANNEXE 12</b> : COUPE LONGITUDINALE NORD-SUD TRAVERSANT LA DECHARGE .....	XX
<b>ANNEXE 13</b> : TRACE DU BASSIN VERSANT INTEGRANT LA DECHARGE DES BADAMIERS .....	XXI
<b>ANNEXE 14</b> : CARTE GEOLOGIQUE DE PETITE-TERRE.....	XXII
<b>ANNEXE 15</b> : ROSE DES VENTS MOYENNEE POUR LA PERIODE 1981-2008 .....	XXIII
<b>ANNEXE 16</b> : ROSES DES VENTS SAISONNIERES POUR LA PERIODE 1999-2008 .....	XXIV
<b>ANNEXE 17</b> : LES QUATRE ETAPES DE L'EVALUATION DE RISQUES SANITAIRES.....	XXV
<b>ANNEXE 18</b> : VOIES D'EXPOSITION PRINCIPALE ET SECONDAIRE DES POLLUANTS TRACEURS CONSIDERES.....	XXVI
<b>ANNEXE 19</b> : TABLEAU RECAPITULATIF DES EFFETS TOXIQUES ET DES VTR DES SUBSTANCES, SELON LA VOIE D'EXPOSITION ET LE TYPE D'EFFET CONSIDERES.....	XXVII
<b>ANNEXE 20</b> : PRINCIPAUX INTERETS ET LIMITES DE DEUX STRATEGIES D'EVALUATION D'IMPACT SANITAIRE .....	XXXIII
<b>ANNEXE 21</b> : DEVIS POUR L'ANALYSE DES POLLUANTS CHOISIS .....	XXXIV

## ANNEXE 1 : COMPARAISON DE LA COMPOSITION DES ORDURES MENAGERES A MAYOTTE ET EN METROPOLE

Source : GIRUS, 2011

	Catégorie	Caractérisation OM Mayotte 2006		MODECOM 2007 National	
		Composition OM saison sèche	Composition OM saison humide	% national	% national
<b>DECHETS PUTRESCIBLES</b>	Déchets alimentaires	51,5%	61,1%	18,51%	25,15%
	Produits alimentaires non consommés			1,80%	
	Déchets de jardin			3,86%	
	Autres putrescibles			0,98%	
<b>PAPIERS</b>	Emballages papiers	2,3%	2,0%	1,04%	14,47%
	JRM			5,17%	
	Imprimés pub			5,03%	
	Papiers bureau			2,27%	
	Autres papiers			0,96%	
<b>CARTONS</b>	Emballages cartons plats	5,5%	6,0%	3,30%	6,83%
	Emballages cartons ondulés			3,35%	
	Autres cartons			0,18%	
<b>COMPOSITES</b>	Composites ELA	0,4%	0,4%	0,64%	1,65%
	PAM			0,26%	
	Autres emballages composites			0,75%	
<b>TEXTILES</b>	Textiles	3,2%	4,5%	1,91%	1,91%
<b>TEXTILES SANITAIRES</b>	Textiles sanitaires - fraction hygiénique	8,0%	6,3%	4,99%	8,54%
	Textiles sanitaires - fraction papiers souillés			3,55%	
<b>PLASTIQUES</b>	Plastiques souples	8,8%	6,3%	3,58%	10,99%
	Bouteilles / Flacons PET			1,45%	
	Bouteilles / Flacons PE et PP (polyoléfines)			0,91%	
	Autres emballages plastiques			3,11%	
	Autres plastiques			1,94%	
<b>VERRE</b>	Emballage verre incolore	2,0%	1,7%	3,68%	11,00%
	Emballage verre couleur			5,84%	
	Autres verres			1,48%	
<b>METAUX</b>	Emballages métaux ferreux	5,0%	3,8%	1,96%	2,94%
	Emballages alu			0,34%	
	Autres métaux ferreux			0,42%	
	Autres métaux ferreux			0,22%	
<b>DMS</b>	Produits chimiques	0,2%	0,1%	0,37%	0,70%
	Tubes fluo, néons, ampoules basse cons			0,01%	
	Piles et accumulateurs			0,03%	
	Autres déchets ménagers spéciaux			0,29%	
<b>INCOMBUSTIBLES NC</b>	Emballages incombustibles	0,3%	0,1%	0,09%	2,12%
	Autres incombustibles			2,03%	
<b>COMBUSTIBLES NC</b>	Emballages en bois	2,7%	2,1%	0,30%	2,02%
	Autres combustibles			1,72%	
<b>FINES</b>	Finés	10,1%	5,6%	11,66%	11,66%
<b>Total</b>		<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

## ANNEXE 2 : PHOTOGRAPHIES ILLUSTRANT LES INSUFFISANCES DE LA GESTION DES DECHETS A MAYOTTE



### ANNEXE 3: FACTEURS D'EQUIVALENCE TOXIQUE

Source : OMS, 2005

D'après Van der Berg, M., *et al.* (2006). The 2005 World Health Organization Reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-Like Compounds. *Toxicological Sciences*; **93(2)**: 223-241.

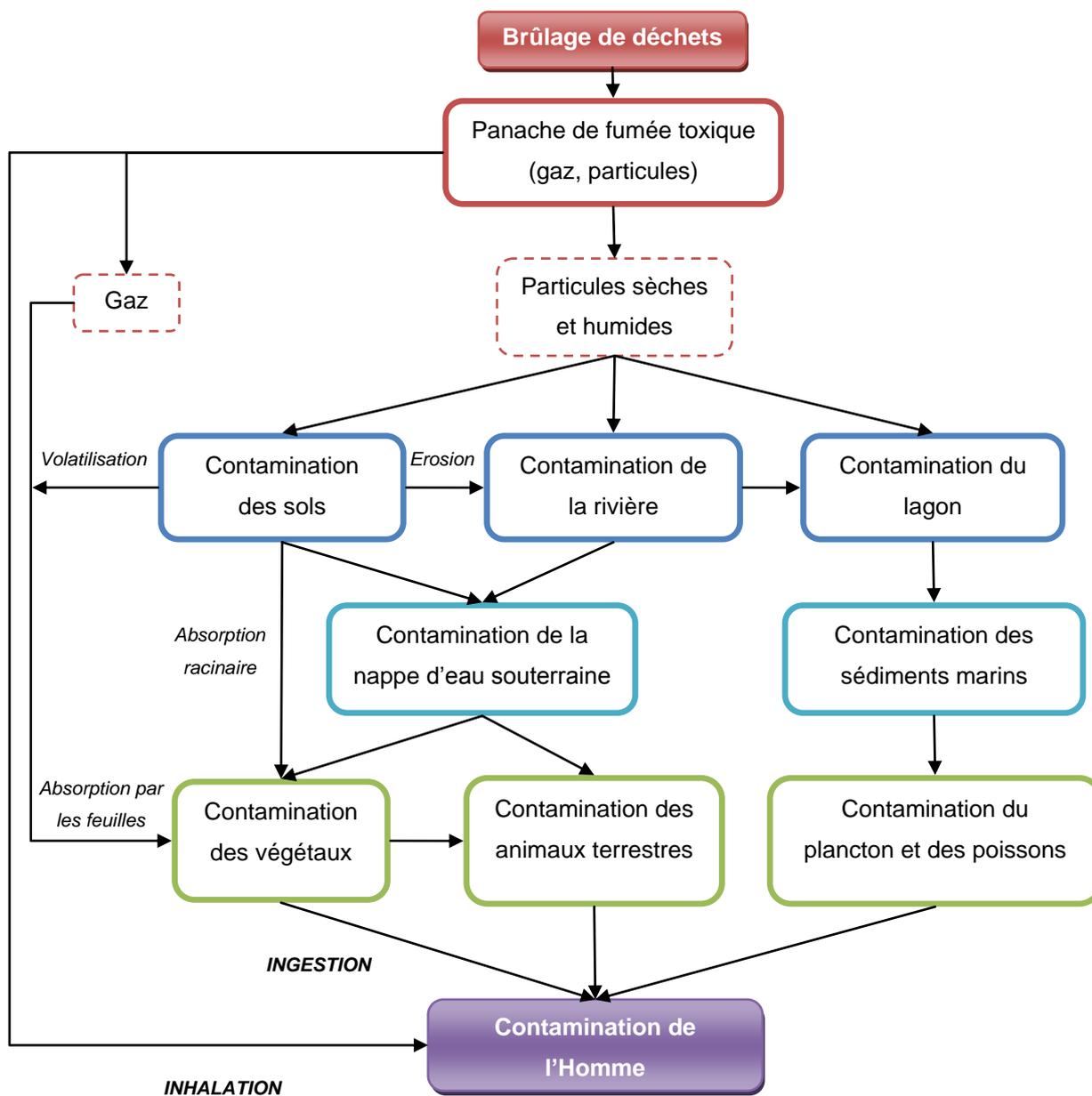
<i>Dibenzo-p-dioxines chlorées</i>	TEF OMS 2005
2,3,7,8 - TCDD	1
1,2,3,7,8 - PeCDD	1
1,2,3,4,7,8 - HxCDD	0,1
1,2,3,6,7,8 - HxCDD	0,1
1,2,3,7,8,9 - HxCDD	0,1
1,2,3,4,6,7,8 - HpCDD	0,01
OCDD	0,0003

<i>Dibenzofuranes chlorés</i>	TEF OMS 2005
2,3,7,8 - TCDF	0,1
1,2,3,7,8 - PeCDF	0,03
2,3,4,7,8 - PeCDF	0,3
1,2,3,4,7,8 - HxCDF	0,1
1,2,3,6,7,8 - HxCDF	0,1
1,2,3,7,8,9 - HxCDF	0,1
2,3,4,6,7,8 - HxCDF	0,1
1,2,3,4,6,7,8 - HpCDF	0,01
1,2,3,4,7,8,9 - HpCDF	0,01
OCDF	0,0003

<i>PCBs substitués en position non-orthogonale</i>	TEF OMS 2005
PCB 77	0,0001
PCB 81	0,0003
PCB 126	0,1
PCB 169	0,03

<i>PCBs substitués en position mono-orthogonale</i>	TEF OMS 2005
105	0,00003
114	0,00003
118	0,00003
123	0,00003
156	0,00003
157	0,00003
167	0,00003
189	0,00003

## ANNEXE 4: SCHEMA DE CONTAMINATION SIMPLIFIE DE L'HOMME PAR LES DIOXINES SUR LA DECHARGE DES BADAMIERS



## ANNEXE 5: METAUX LOURDS

### Mercuré (Hg)

Le mercure est principalement retrouvé dans le cinabre, minéral généralement associé à la pyrite. Plusieurs espèces, le mercure élémentaire ( $\text{Hg}^0$ ), les ions mercureux ( $\text{Hg}_2^{2+}$ ) et les ions mercuriques ( $\text{Hg}^{2+}$ ) sont présents dans les sols. Leur proportion dépend du pH du sol et du potentiel d'oxydoréduction. L'adsorption des mercures mercureux et mercurique est favorisée par des pH alcalins. L'ion mercurique se retrouve principalement en solution aqueuse. Dans des conditions légèrement réductrices, les composés de mercure liés à des molécules organiques et les composés de mercure inorganiques peuvent être transformés en mercure élémentaire qui peut alors subir des processus de biométhylation ou de bioéthylation (INERIS, 2006a). Le méthyl et l'éthylmercure sont volatiles, stables et très solubles dans l'eau et constituent les formes les plus toxiques qui peuvent se concentrer au sein des organismes aquatiques. Les deux voies d'exposition possibles sont représentées par l'inhalation et l'ingestion de poissons contaminés au méthylmercure. Les effets systémiques associés à cette exposition concernent principalement des atteintes du système nerveux central (SNC).

### Plomb (Pb)

Le plomb est rencontré naturellement dans la galène ou la cérusite (INERIS, 2006a). Le plomb soluble s'adsorbe sur la matière organique dans les sols, particulièrement pour des pH supérieurs à 6. Le plomb tend à s'adsorber à des particules dans l'atmosphère qui se déposent sur les sols. Les voies d'exposition les plus importantes sont représentées par l'inhalation de poussières et l'ingestion d'eau ou de sol contaminés. Les effets systémiques associés à cette contamination sont multiples : atteintes des systèmes nerveux périphériques, troubles gastro-intestinaux, immunitaires, rénaux, cardiovasculaires, etc. Le plomb est un cancérigène probable (classé 2 B).

### Cadmium (Cd)

Le cadmium constitue un composant des roches sédimentaires qui est habituellement associé au zinc. Il est capable de s'adsorber aux minéraux argileux, aux carbonates ou hydroxydes de fer (INERIS, 2006a) et serait ainsi retenu dans les sols. Le pH influence de manière importante la solubilité du métal ; cette dernière augmente pour des pH acides (INERIS, 2006a). Lorsque la teneur en chlorures est très importante, le Cd peut former des complexes et devenir alors plus mobile. La voie d'exposition principale est

représentée par la voie respiratoire. L'exposition au cadmium peut également avoir lieu par ingestion mais l'absorption semble être plus limitée dans ce cas. Les effets systémiques associés à l'exposition au cadmium incluent une protéinurie et une altération de la fonction rénale. Le cadmium est un cancérigène probable pour l'Homme, classé dans le groupe 2A (CIRC).

### Arsenic (As)

L'arsenic est un métalloïde qui peut exister sous plusieurs formes et degrés d'oxydation dans les sols et l'eau. Dans les sols, l'arsenic est principalement rencontré sous forme d'arsénite (As(III)), qui correspond à sa forme la plus toxique, ou d'arséniate (As(V)) (INERIS, 2006a).

**ANNEXE 6 : PHOTOGRAPHIES ILLUSTRANT LA PRATIQUE DE BRULAGE DES DECHETS DANS LA DECHARGE DES BADAMIERS**









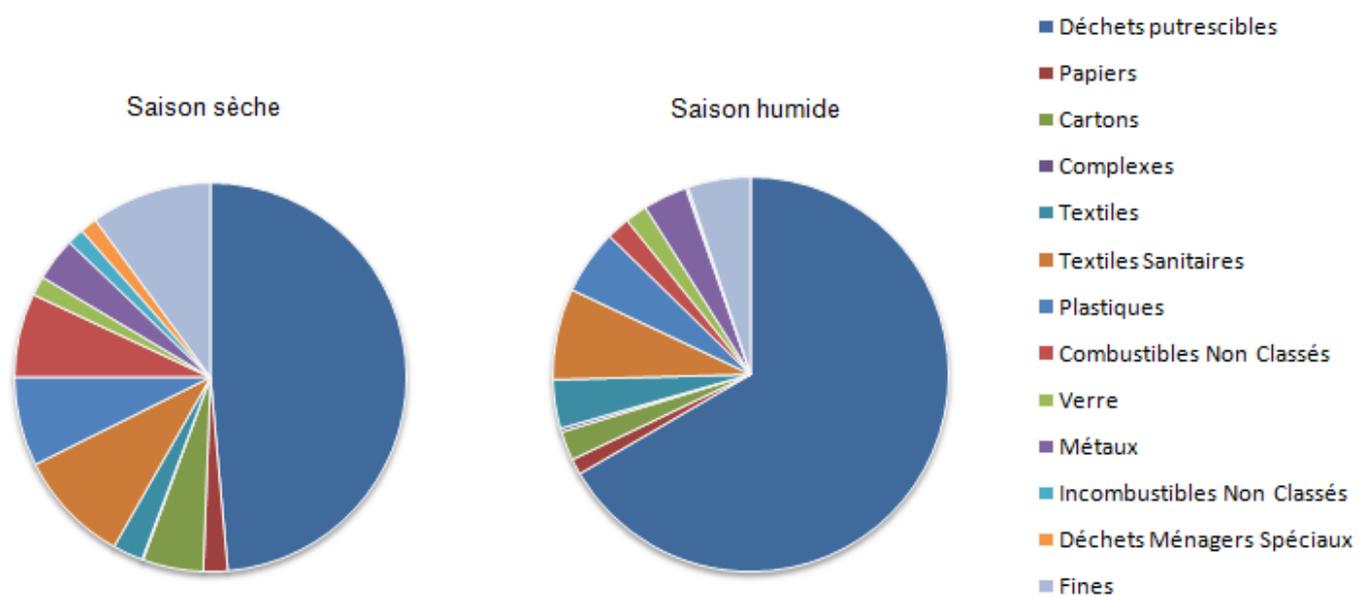




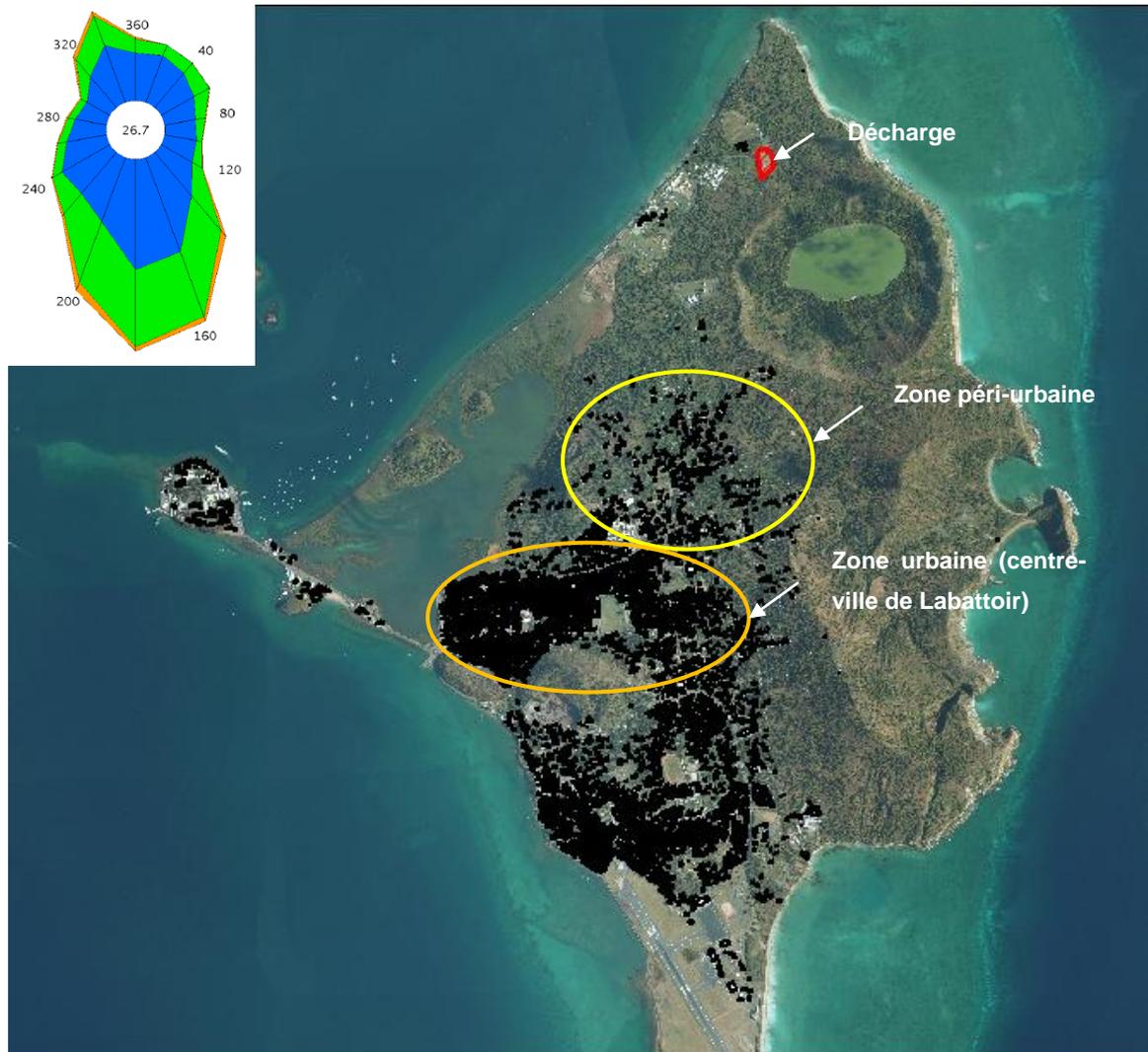


## ANNEXE 7: CARACTERISATION DES DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES DE PETITE-TERRE

Source : TRIVALOR/Indiggo, 2007

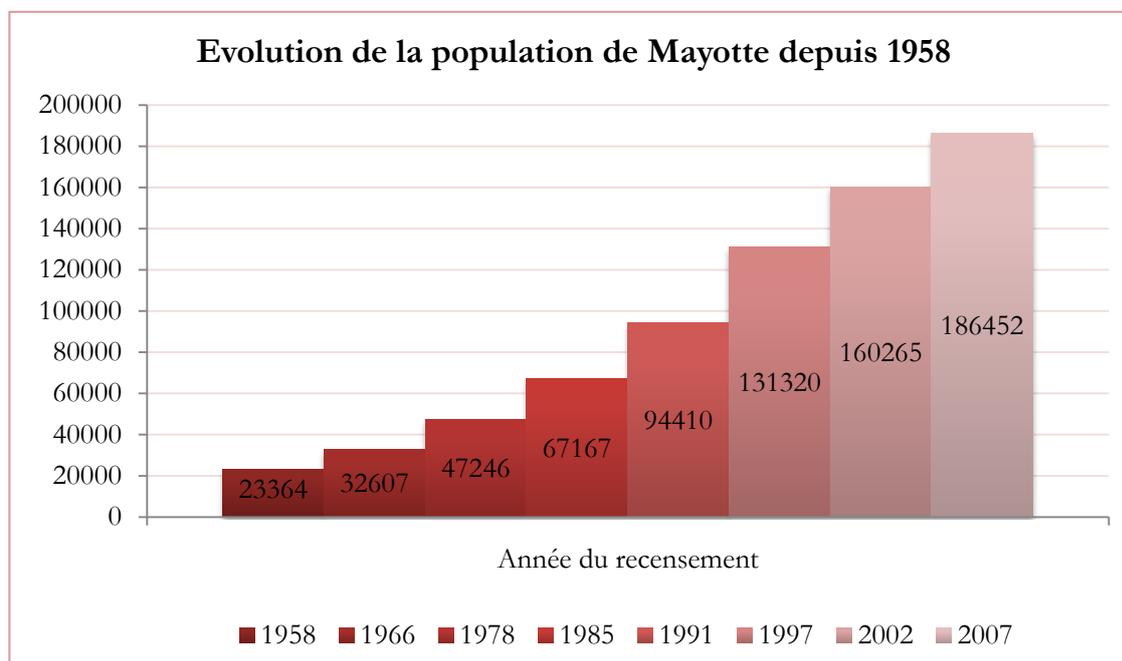


**ANNEXE 8: ORTHOPHOTOGRAPHIE DE PETITE-TERRE INDICANT LA DECHARGE, LES ZONES HABITEES ET LA ROSE DES VENTS MOYENNE POUR LA PERIODE 1981-2008**



## ANNEXE 9: EVOLUTION DE LA POPULATION A MAYOTTE, PAR COMMUNE

Source : INSEE, Tableau économique de Mayotte, 2010

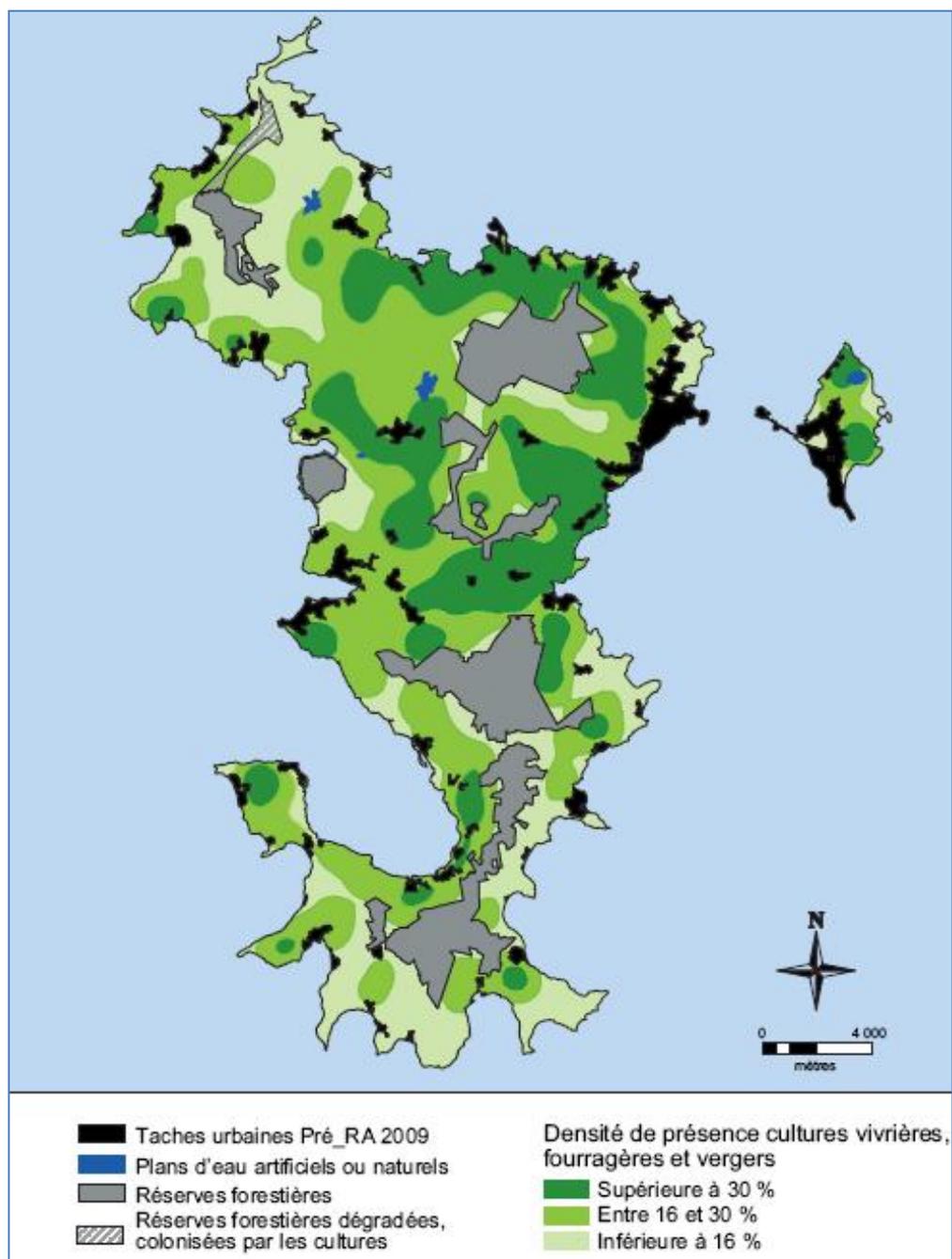


COMMUNES	Population sans double compte			Taux de variation annuel moyen (en %)		Densité 07 (hab. / km <sup>2</sup> )
	1997	2002	2007	97- 02	02 - 07	
01 - Acoua	4 447	4 605	4 622	0,7	0,1	356
02 - Bandraboua	6 400	7 501	9 013	3,2	3,7	289
03 - Bandrele	4 942	5 537	6 838	2,3	4,3	196
04 - Bouéni	4 661	5 151	5 296	2	0,6	376
05 - Chiconi	6 050	6 167	6 412	0,4	0,8	771
06 - Chirongui	5 152	5 696	6 605	2	3	252
07 - Dembeni	5 544	7 825	10 141	7,1	5,3	269
08 - Dzaoudzi	10 796	12 308	15 339	2,7	4,5	2 349
09 - Kani Kéli	4 156	4 336	4 527	0,9	0,9	223
10 - Koungou	10 160	15 383	19 831	8,6	5,2	714
11 - Mamoudzou	32 774	45 485	53 022	6,8	3,1	1 280
12 - Mitzamboro	6 333	7 068	6 917	2,2	-0,4	512
13 - M'Tsangamouji	5 092	5 382	5 028	1,1	-1,4	230
14 - Ouangani	4 836	5 569	6 577	2,9	3,4	359
15 - Pamandzi	7 057	7 510	9 077	1,3	3,9	2 182
16 - Sada	7 436	6 963	8 007	-1,3	2,8	726
17 - Tsingoni	5 532	7 779	9 200	7,1	3,4	266
<b>Collectivité</b>	<b>131 368</b>	<b>160 265</b>	<b>186 452</b>	<b>4,1</b>	<b>3,1</b>	<b>511</b>

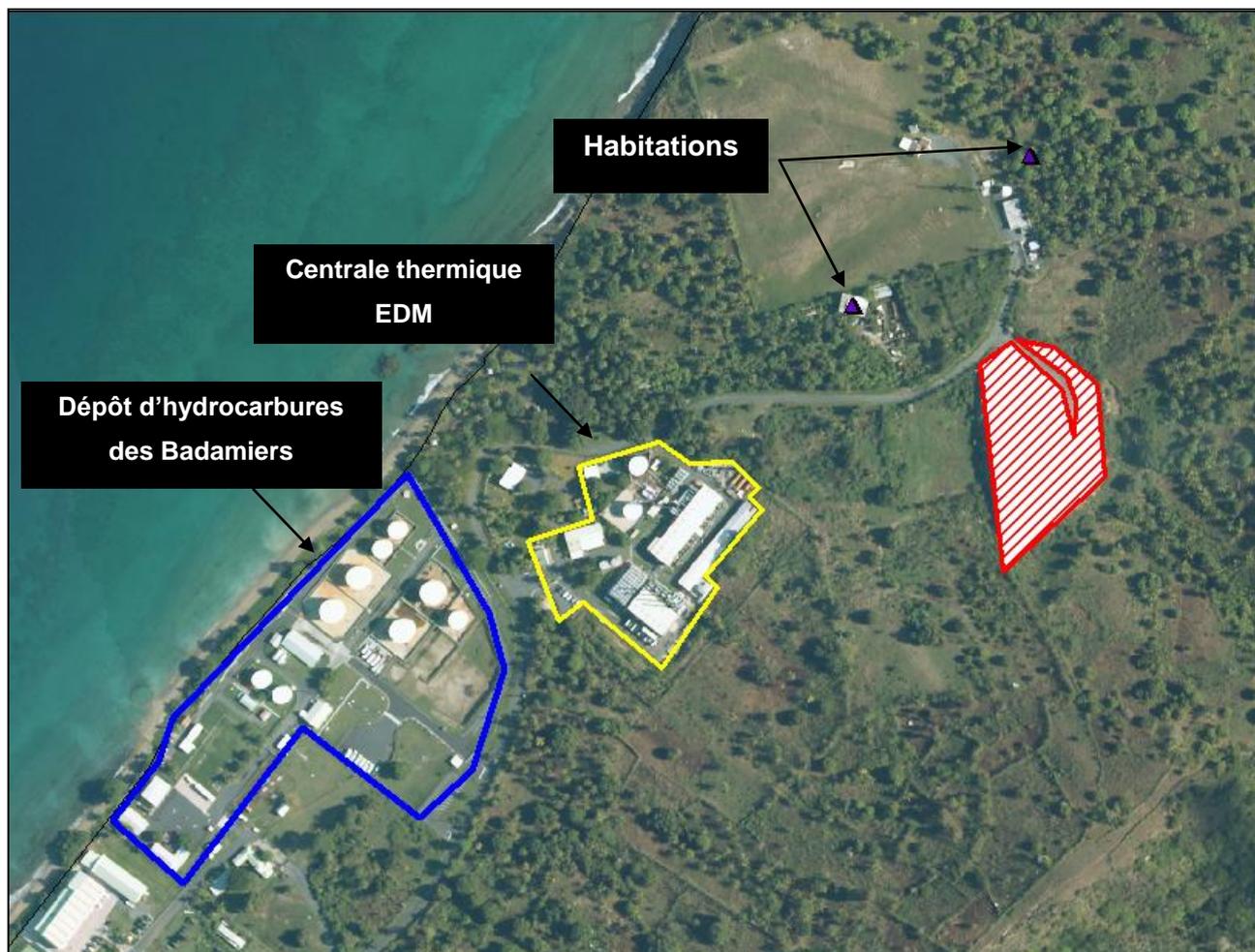
Tranches d'âges	2007				2002
	Hommes	Femmes	Total	en %	en %
0-14 ans	41 425	41 070	82 495	44,3%	42,1%
15-19 ans	9 144	9 580	18 724	10,0%	10,8%
20-24 ans	5 789	7 871	13 660	7,3%	9,4%
25-29 ans	6 262	8 725	14 987	8,0%	9,0%
30-39 ans	13 119	13 647	26 766	14,4%	13,4%
40-49 ans	7 646	6 862	14 508	7,8%	7,3%
50-59 ans	4 456	3 873	8 329	4,5%	4,3%
60-74 ans	2 833	2 576	5 409	2,9%	2,9%
75 ans ou +	731	778	1 509	0,8%	0,8%
<b>TOTAL</b>	<b>91 405</b>	<b>94 982</b>	<b>186 387</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

## ANNEXE 10: OCCUPATION DU SOL EN CULTURES VIVRIERES, FOURRAGERES ET VERGERS

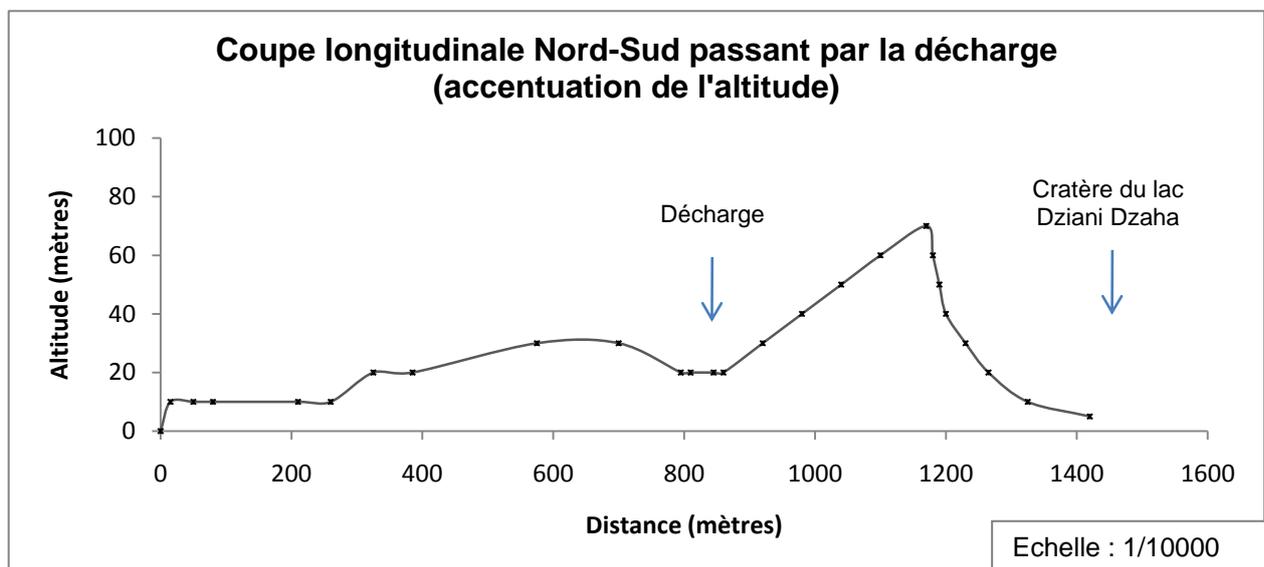
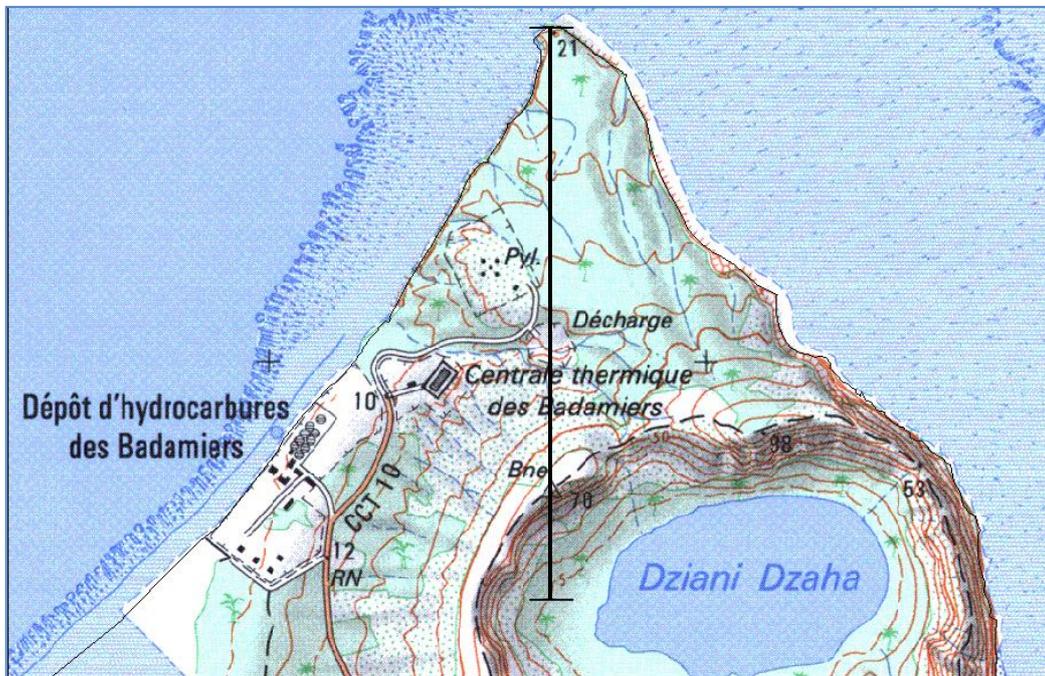
Source : DAAF, 2001b



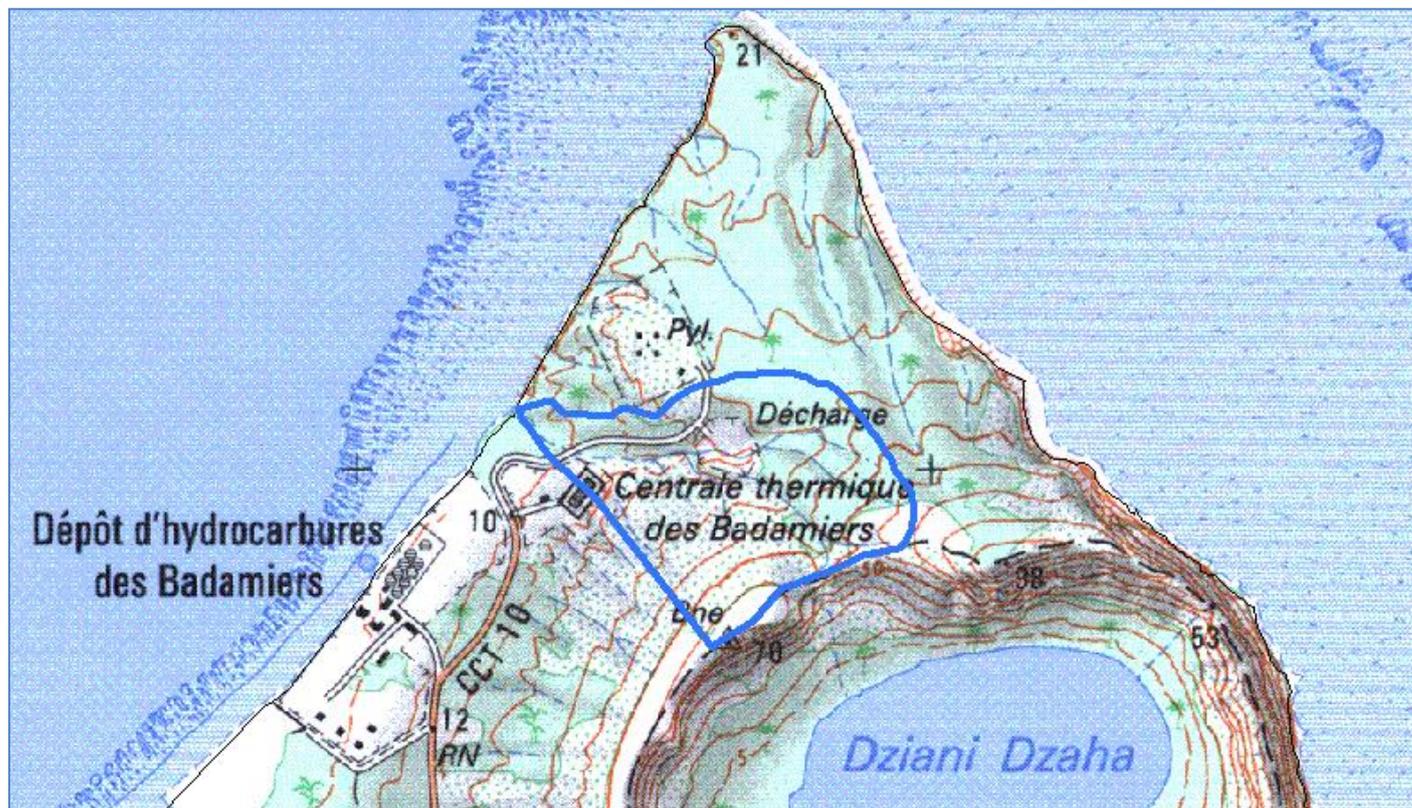
## ANNEXE 11: LOCALISATION DE LA DECHARGE PAR RAPPORT AUX SITES INDUSTRIELS ET AUX HABITATIONS



## ANNEXE 12: COUPE LONGITUDINALE NORD-SUD TRAVERSANT LA DECHARGE

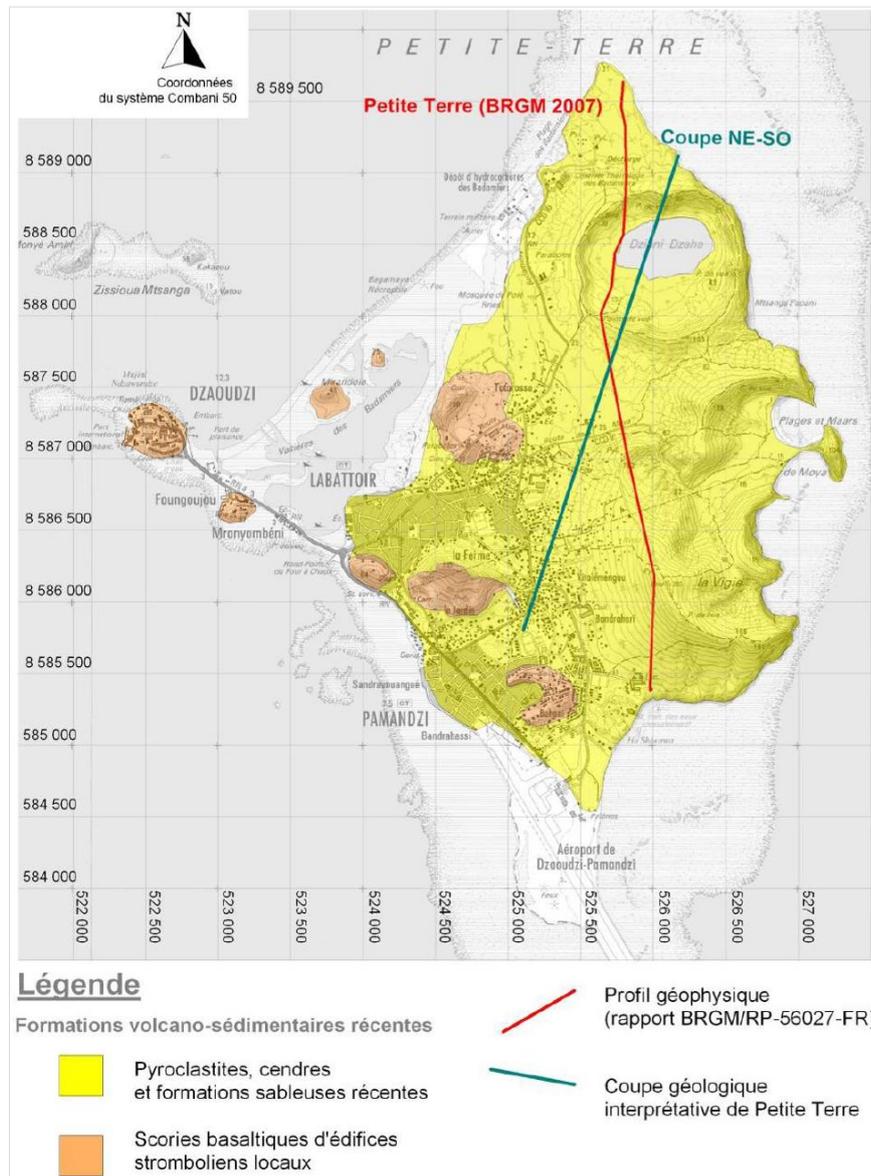


## ANNEXE 13: TRACE DU BASSIN VERSANT INTEGRANT LA DECHARGE DES BADAMIERS



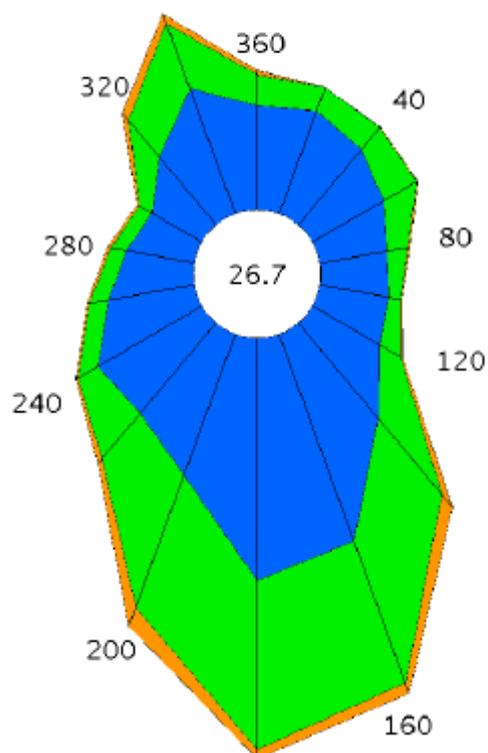
## ANNEXE 14: CARTE GEOLOGIQUE DE PETITE-TERRE

Source : BRGM, 2008



## ANNEXE 15: ROSE DES VENTS MOYENNEE POUR LA PERIODE 1981-2008

Source : Météo France



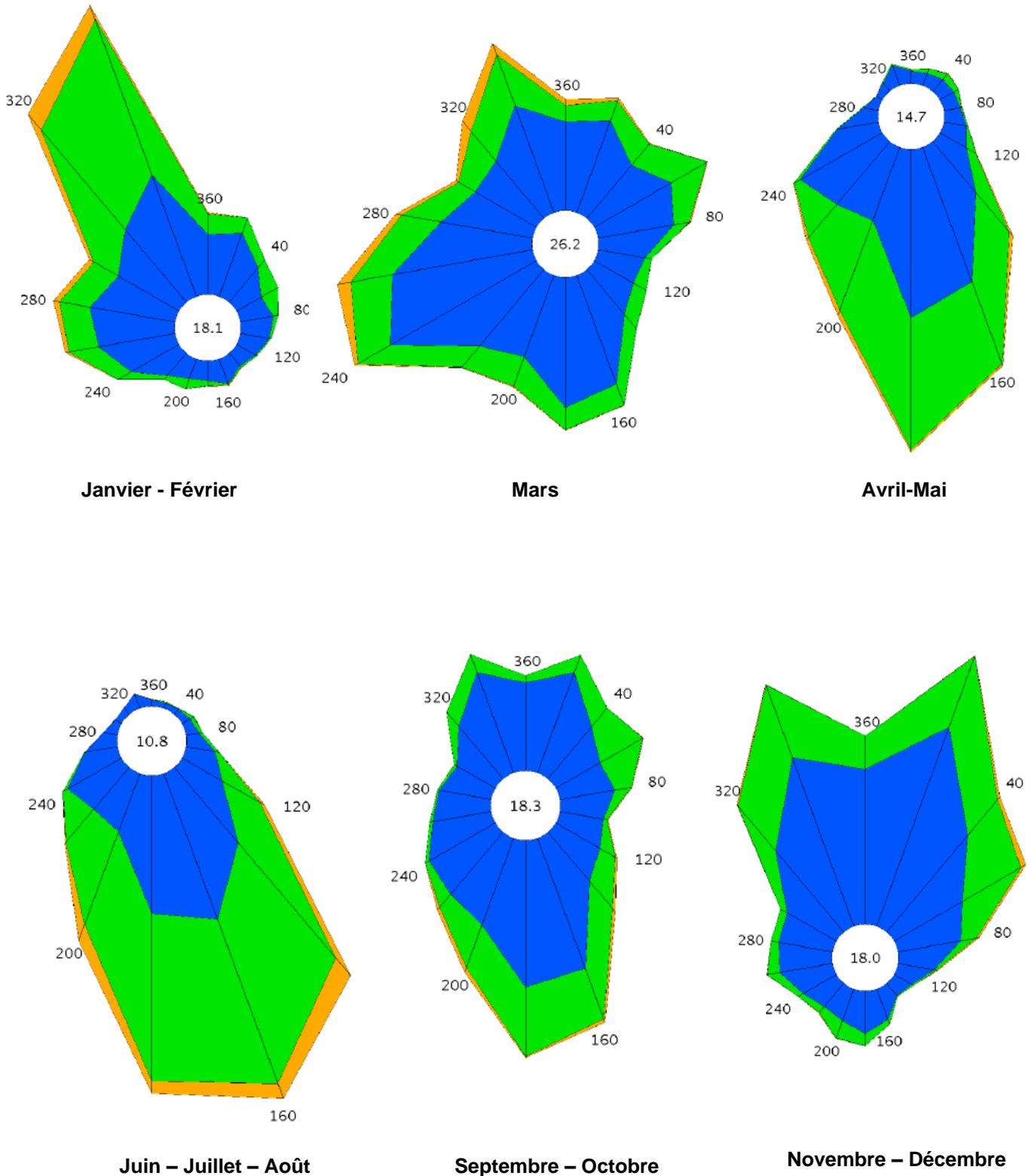
Dir.	[ 1.5;4.5 [	[ 4.5;8.0 ]	> 8.0 m/s	Total
20	2.6	0.6	+	3.2
40	2.3	0.7	+	3.0
60	1.9	0.9	+	2.9
80	1.6	0.5	+	2.1
100	1.6	0.3	+	2.0
120	1.8	0.6	+	2.4
140	2.9	2.3	0.4	5.6
160	5.2	3.5	0.3	9.0
180	5.7	4.0	0.2	9.9
200	3.5	3.3	0.5	7.3
220	2.8	1.4	0.2	4.3
240	2.8	0.6	+	3.4
260	2.1	0.4	+	2.6
280	1.6	0.4	+	2.1
300	1.4	0.4	+	1.8
320	2.1	1.1	0.2	3.4
340	3.1	1.6	0.2	5.0
360	2.5	0.7	0.1	3.3
Total	47.6	23.2	2.5	73.3
[ 0;1.5 [				26.7

### Groupes de vitesses (m/s)



## ANNEXE 16: ROSES DES VENTS SAISONNIERES POUR LA PERIODE 1999-2008

Source : Météo France



Groupes de vitesses (m/s)



## ANNEXE 17: LES QUATRE ETAPES DE L'EVALUATION DE RISQUES SANITAIRES



## ANNEXE 18: VOIES D'EXPOSITION PRINCIPALE ET SECONDAIRE DES POLLUANTS TRACEURS CONSIDERES

Polluant	Voies d'exposition		Milieux environnementaux retrouvés préférentiellement
	Principale	Secondaire	
<b>Dioxines</b>	Ingestion	Inhalation probable	<i>Sols, sédiments marins, particules organiques</i>
<b>PCB</b>	Ingestion	-	<i>Sols, sédiments marins, particules organiques</i>
<b>HAP</b>	Inhalation	Ingestion possible	<i>Sols, sédiments marins, particules organiques</i>
<b>HCB</b>	Ingestion	Inhalation possible	<i>Sols, sédiments marins, particules organiques</i>
<b>Métaux lourds</b>	Mercure	Ingestion/Inhalation	<i>Air (particules), sols, eau</i>
	Plomb	Ingestion/Inhalation	<i>Air (particules), sols, eau</i>
	Cadmium	Inhalation	<i>Air (particules)</i>
	Arsenic	-	<i>Sols</i>

## **ANNEXE 19: TABLEAU RECAPITULATIF DES EFFETS TOXIQUES ET DES VTR DES SUBSTANCES, SELON LA VOIE D'EXPOSITION ET LE TYPE D'EFFET CONSIDERES**

Les données relatives à la toxicité des polluants sont principalement issues des fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) et d'autres documents émis par des instances internationales reconnues telles que l'Organisation Mondiale de la Santé ou encore le PNUE.

Les VTR retenues proviennent de bases de données de différents organismes tels que l'OMS, l'United States Environmental Protection Agency (US-EPA), l'Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Santé Canada, l'institut national de la santé publique et de l'environnement des Pays-Bas (RIVM) et de l'Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA). Seules les expositions chroniques ont été considérées. Les voies d'exposition et le type d'effet (à seuil ou sans seuil) à considérer étaient variables selon les polluants. Les données de carcinogénicité ont été relevées à l'aide du moteur de recherche d'informations toxicologiques, Furêtox, qui a également permis de vérifier que les VTR relevées sur les fiches INERIS étaient à jour. Lorsque plusieurs VTR étaient disponibles pour le même polluant, le même type d'effet et la même voie d'exposition, le choix de VTR consistait à favoriser les VTR établies à partir d'études réalisées chez l'Homme, celles pour lesquelles la date d'élaboration ou de révision étaient la plus récente et également celles qui procédaient des trois principaux organismes (OMS, US-EPA, ATSDR).

**INGESTION : Effets systémiques à seuil**

		Effets systémiques à seuil				
	Substances	N° CAS	VTR	Source	Année de révision	Type d'effet
Dioxines	2,3,7,8-TCDD	1 746-01-6	MRL = $1.10^{-6}$ µg/kg/j	ATSDR	1998	-
	Autres dioxines		DJA = $1, 4.10^{-6}$ µg TEQ/kg/jour	OMS	2000	-
	<b>PCB</b>	1336-36-3	DJT = 0,02 µg/kg/j	OMS	2003	Toxicité neurocomportementale (rat)
HAP	Benzo[a]pyrène	50-32-8	-	-	-	-
	Benzo[b]fluoranthène	205-99-2	-	-	-	-
	Benzo[g,h,i]pérylène	191-24-2	TDI = 30 µg/kg/j	RIVM	2001	-
	Benzo[k]fluoranthène	207-08-9	-	-	-	-
	Indéno[1,2,3,c,d]pyrène	193-39-5	-	-	-	-
	<b>Hexachlorobenzène</b>	118-74-1	MRL = $5.10^{-5}$ mg/kg/j	ATSDR	2002	Fibrose hépatique (rat)
Métaux	Mercure	Mercure élémentaire	7439-97-6	-	-	-
		Méthylmercure	22967-92-6	RfD= 0,1 µg.kg <sup>-1</sup> .j <sup>-1</sup>	US EPA	2001
	Plomb inorganique	7439-92-1	DHT : 25 µg/kg	OMS	1993	-
	Arsenic inorganique	7440-38-2	MRL = $3.10^{-4}$ mg.kg <sup>-1</sup> .j <sup>-1</sup>	ATSDR	2007	-
	Cadmium	7440-43-9	DHTP = $7.10^{-3}$ mg/kg	OMS	2004	-

## INGESTION : Effets cancérigènes

		Effets cancérigènes sans seuil					
	Substances	N° CAS	VTR	Source	Année de révision	Type d'effet	
<b>Dioxines</b>	2,3,7,8-TCDD	1 746-01-6	ERUo = 1,3.105 (mg/kg/j)-1	OEHHA	2003	Cancer hépatique (souris)	
	Autres dioxines	-	-	-	-	-	
	<b>PCB</b>	1336-36-3	ERUo = 2,0 (mg/kg/j) -1	US EPA	1997	-	
<b>HAP</b>	Benzo[a]pyrène	50-32-8	ERUo = 7,3 (mg/kg/j)-1	US EPA	1994	Cancers estomac, trachée, œsophage (rat)	
	Benzo[b]fluoranthène	205-99-2	ERUo = 1,2 (mg/kg/j)-1	OEHHA	2002	-	
	Benzo[g,h,i]pérylène	191-24-2	ERUo = 1,2 (mg/kg/j)-1	OEHHA	2002	-	
	Benzo[k]fluoranthène	207-08-9	ERUo = 1,2 (mg/kg/j)-1	OEHHA	2002	-	
	Indéno[1,2,3,c,d]pyrène	193-39-5	ERUo = 1,2 (mg/kg/j)-1	OEHHA	2002	-	
	<b>Hexachlorobenzène</b>	118-74-1	ERUo = 1,6 (Cg/kg/j)-1	US EPA	1996	Carcinomes hépatocellulaires (rat)	
<b>Métaux</b>	Mercure	Mercure élémentaire	7439-97-6	-	-	-	-
		Méthylmercure	22967-92-6	-	-	-	-
		Plomb inorganique	7439-92-1	ERUo = 8,5.10 <sup>-3</sup> (mg/kg/j)-1	OEHHA	2002	Tumeurs rénales (rat)
		Arsenic inorganique	7440-38-2	ERUo = 1,5 (mg.kg-1.j-1)-1	OEHHA/US EPA	1994	-
		Cadmium	7440-43-9	-	-	-	-

**INHALATION : Effets systémiques à seuil**

Effets systémiques à seuil							
	Substances	N° CAS	VTR	Source	Année de révision	Type d'effet	
Dioxines	2,3,7,8-TCDD	1 746-01-6	REL = 10-5 TEQ µg/kg/j	OEHHA	2003	-	
	Autres dioxines		REL = 4.10-5 TEQ µg/m3	OEHHA	2003	Augmentation de la mortalité, effets histopathologiques, amaigrissement	
	<b>PCB</b>	-	-	-	-	-	
HAP	Benzo[a]pyrène	50-32-8	-	-	-	-	
	Benzo[b]fluoranthène	205-99-2	-	-	-	-	
	Benzo[g,h,i]pérylène	191-24-2	-	-	-	-	
	Benzo[k]fluoranthène	207-08-9	-	-	-	-	
	Indéno[1,2,3,c,d]pyrène	193-39-5	-	-	-	-	
	<b>Hexachlorobenzène</b>	118-74-1	CR = 0,75 (CEg/m3)-1	RIVM	2001	Nodules néoplasiques (rat)	
Métaux	Mercure	Mercure élémentaire	7439-97-6	REL = 3.10-5 mg.m-3	OEHHA	2008	Effets néphrotoxiques
		Méthylmercure	22967-92-6	-	-	-	-
	Plomb inorganique	7439-92-1	-	-	-	-	
	Arsenic inorganique	7440-38-2	REL = 1,5.10-5 mg.m-3	OEHHA	2008	-	
	Cadmium	7440-43-9	REL = 2.10-2 µg/m3	OEHHA	2003	-	

*Inhalation : Effets cancérigènes sans seuil*

Effets cancérigènes sans seuil							
	Substances	N° CAS	VTR	Source	Année de révision	Type d'effet	
<b>Dioxines</b>	2,3,7,8-TCDD	1 746-01-6	ERUi = 38 (pg/m3)-1	OEHHA	2003	Cancer hépatique (souris)	
	Autres dioxines	-	-	-	-	-	
	<b>PCB</b>		ERUi = 5,7.10-4 (pg/m3) -1	OEHHA	2002	-	
<b>HAP</b>	Benzo[a]pyrène	50-32-8	ERUi = 8,7.10-5 (ng/m3)-1	OMS	2000	-	
	Benzo[b]fluoranthène	205-99-2	ERUi = 1,1.10-4 (µg/m3)-1	OEHHA	2002	-	
	Benzo[g,h,i]pérylène	191-24-2	ERUi = 1,1.10-4 (µg/m3)-1	OEHHA	2002	-	
	Benzo[k]fluoranthène	207-08-9	ERUi = 1,1.10-4 (µg/m3)-1	OEHHA	2002	-	
	Indéno[1,2,3,c,d]pyrène	193-39-5	ERUi = 1,1.10-4 (pg/m3)-1	OEHHA	2002	-	
	<b>Hexachlorobenzène</b>	118-74-1	ERUi = 4,6.10-4 (Cg/m3)-1	US EPA	1996	-	
<b>Métaux</b>	Mercure	Mercure élémentaire	7439-97-6	-	-	-	
		Méthylmercure	22967-92-6	-	-	-	
		Plomb inorganique	7439-92-1	ERUi = 1,2.10-5 (µg/m3)-1	OEHHA	2002	-
		Arsenic inorganique	7440-38-2	ERUi = 4,3.10-3 (Vg.m-3)-1	US EPA	1994	-
		Cadmium	7440-43-9	ERUi = 1,8.10-3 (µg/m3)-1	US EPA	1999	-

**Cancérogénicité, génotoxicité et reprotoxicité des substances étudiées**

Substances		Cancérogénicité (CIRC)	Génotoxicité (UE)	Reprotoxicité (UE)	
Dioxines	2,3,7,8-TCDD	1	Non génotoxique	-	
	Autres dioxines	3	-	-	
<b>PCB</b>		2A	-	-	
HAP	Benzo[a]pyrène	2A	2	2	
	Benzo[b]fluoranthène	2B	-	-	
	Benzo[g,h,i]pérylène	3	-	-	
	Benzo[k]fluoranthène	2B	-	-	
	Indéno[1,2,3,c,d]pyrène	2B	-	-	
<b>Hexachlorobenzène</b>		2B	Non génotoxique	Non reprotoxique	
Métaux	Mercure	Mercure élémentaire	-	3	2
		Méthylmercure	-	-	-
	Plomb inorganique	2B	Non génotoxique	-	
	Arsenic inorganique	1	-	-	
	Cadmium	1	3	-	

## ANNEXE 20: PRINCIPAUX INTERETS ET LIMITES DE DEUX STRATEGIES D'EVALUATION D'IMPACT SANITAIRE

	Etude type « biomonitoring »	ERS + Mesures environnementales
<b>Intérêts</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fournit une image précise de l'impact sanitaire passé et actuel d'une activité</li> <li>• Permet de connaître les concentrations réelles de polluants au sein de l'organisme humain</li> <li>• Permet de conclure à l'existence d'une surexposition de la population (comparaison avec les valeurs de la population générale)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet de connaître les concentrations en polluants dans les différents médias de l'environnement et dans les organismes animaux et aquatiques et d'identifier les sources de contamination</li> <li>• Mesures faciles à mettre en œuvre</li> <li>• Fournit un résultat grâce à l'étape de calcul de risque</li> <li>• Permet la prise de mesures de gestion</li> </ul>
<b>Limites</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Méthode invasive</li> <li>• Coûts inhérents à l'étude importants</li> <li>• Moyens humains importants</li> <li>• Méthode longue à mettre en œuvre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne fournit pas d'image réelle de l'imprégnation des populations mais seulement de la contamination de l'environnement</li> <li>• Coûts relatifs à certaines mesures importants</li> <li>• Méthode longue à mettre en œuvre</li> <li>• Importantes incertitudes liées à la modélisation de la dispersion des polluants dans l'environnement</li> <li>• Incertitudes relatives à l'exposition réelle des populations considérées</li> </ul>

## ANNEXE 21 : DEVIS POUR L'ANALYSE DES POLLUANTS CHOISIS

N°	*	Prestation	Matrice	Méthode	Technique	LQ**	Quantité	Prix unitaire (EUR HT)	Montant (EUR HT)
1		Analyses sur sols :							
2		Préparation échantillon	Sol	Séchage, broyage, tamisage			1,00	15,00	15,00
3	C	PCDD/Fs (17 éléments)	Sol	Méthode interne MOp C-4/56 V0 et In C-4/15 V6	HRGC_HRMS	0.6 I-TEQ WHO pg/g MS	1,00	350,00	350,00
4	C	PCB de type dioxine (15 éléments)	Sol	EPA 1668 (Mop C-04/56 V0 et In C-4/15 V6)	HRGC_HRMS	0,5 TE pg/g MS	1,00	280,00	280,00
5	C	PCB indicateurs (7 éléments)	Sol	XP X 33-012	GC_MSD	0.01 mg/kg de MS	1,00	45,00	45,00
6		PCDD/FS + PCB Type dioxine + PCB Indicateurs	Sol	Méthode interne selon EPA 1613 + EPA 1668	HRGC_HRMS		1,00	490,00	490,00
7	C	HAP par GC/MS (15 éléments)	Sol	XP X 33-012	GC_MSD	0.01 mg/kg de MS	1,00	45,00	45,00
8		Pesticides par GC/MS (Hexachlorobenzène) (1 élément)	Sol	Méthode interne selon XP X33-012	GC_MSD	0.01 mg/kg de MS	1,00	75,00	75,00
9		Préparation métaux	Sol	Interne			1,00	10,00	10,00
10	C	Mercure par AFS	Sol	Méthode interne Mop C-4/47 V0 et NF ISO 16772	AFS	0.2 mg/kg	1,00	7,00	7,00
11		Métaux (As, Cd, Pb) (3 éléments)	Sol	Méthode interne	ICP_MS	Annexe données techniques mg/Kg de MS	1,00	21,00	21,00

N°	*	Prestation	Matrice	Méthode	Technique	LQ**	Quantité	Prix unitaire (EUR HT)	Montant (EUR HT)
12									
13		Analyses sur sédiments :							
14		Préparation échantillon	Sédiment				1,00	15,00	15,00
15	C	PCDD/Fs (17 éléments)	Sédiment	Méthode interne MOp C-4/56 V0 et In C-4/15 V6	HRGC_HRMS	0.6 I-TEQ WHO pg/g	1,00	350,00	350,00
16	C	PCB de type dioxine (15 éléments)	Sédiment	EPA 1668 (Mop C-04/56 V0 et In C-4/15 V6)	HRGC_HRMS	0,5 TE pg/g MS	1,00	280,00	280,00
17	C	PCB indicateurs (7 éléments)	Sédiment	XP X 33-012	GC_MSD	0.01 mg/kg de MS	1,00	45,00	45,00
18	C	PCDD/FS + PCB Type dioxine + PCB Indicateurs	Sédiment		HRGC_HRMS		1,00	490,00	490,00
19	C	HAP par GC/MS (15 éléments)	Sédiment	XP X 33-012	GC_MSD	0.01 mg/kg de MS	1,00	45,00	45,00
20	C	Pesticides par GC/MS (Hexachlorobenzène) (1 élément)	Sédiment	Méthode interne MOp C-4/21 V3 selon XP X33-012	GC_MSD	0.01 mg/kg de MS	1,00	75,00	75,00
21		Préparation métaux	Sédiment				1,00	10,00	10,00
22		Mercure par AFS	Sédiment	Méthode interne	AFS	0.2 mg/kg	1,00	7,00	7,00
23		Métaux	Sédiment	Méthode interne	ICP_MS	Annexe données techniques mg/Kg	1,00	21,00	21,00
24									
25		Analyses sur eaux :							
26	C	PCDD/Fs (17 éléments)	Eaux douces	Méthode interne selon MOp C-4/46 V2 et In C-4/15 V6	HRGC_HRMS	5 I-TEQ WHO pg/l	1,00	350,00	350,00
27	C	PCB de type dioxine (15 éléments)	Eaux douces	ISO 17858 (Mop C-04/46 V2 et In C-04/15 V6)	HRGC_HRMS	1 TE pg/l	1,00	280,00	280,00
28	C	PCB (7 éléments)	Eaux douces	Méthode interne selon MOp C-4/52 V0	GC_MSD	10 ng/l	1,00	45,00	45,00
29	C	PCDD/FS + PCB Type dioxine + PCB Indicateurs	Eaux douces		HRGC_HRMS		1,00	490,00	490,00
30	C	HAP par GC/MS (15 éléments)	Eaux douces	Méthode interne MOp C-4/52 V0	GC_MSD	10 ng/l	1,00	45,00	45,00
31	C	Pesticides par GC/MS (Hexachlorobenzène) (1 élément)	Eaux douces	Méthode interne MOp C-4/16 V7 selon NF EN ISO 6468, NF EN 12918, NF EN ISO 10695	GC_MSD	10 ng/l	1,00	75,00	75,00

N°	*	Prestation	Matrice	Méthode	Technique	LQ**	Quantité	Prix unitaire (EUR HT)	Montant (EUR HT)
32		Préparation métaux	Eaux douces				1,00	10,00	10,00
33		Mercure par AFS	Eaux douces	NF EN ISO 17852	AFS	0,1 µg/L	1,00	7,00	7,00
34	C	Métaux	Eaux douces	Suivant NF EN ISO 17294-2	ICP_MS	Annexe données techniques µg/l	1,00	21,00	21,00
35									
36		Analyses sur aliments gras : lait, oeuf, poisson, viande, ...							
37		Préparation échantillon	Aliments gras				1,00	15,00	15,00
38	C	PCDD/Fs (17 éléments)	Aliments gras	Méthode interne MOp C-4/57 V1 et In C-4/15 V6	HRGC_HRMS	0,55 pg/g MG I-TEQ	1,00	350,00	350,00
39	C	PCB de type dioxine (15 éléments)	Aliments gras	EPA 1668 (Mop C-04/57 V0)	HRGC_HRMS	0,22 TE pg/g MG	1,00	280,00	280,00
40		PCB (7 éléments)	Aliments gras	Selon NF EN 1528	GC_MSD	0,01 mg/Kg MG	1,00	60,00	60,00
41		PCDD/FS + PCB Type dioxine + PCB Indicateurs	Aliments gras	Méthode interne selon EPA 1613 + EPA 1668	HRGC_HRMS	pg/ g MG I TEQ	1,00	490,00	490,00
42	C	HAP par GC/MS (15 éléments)	Aliments gras	Méthode interne Mop C-04/51 V1	GC_MSD	2 µg/kg de MG	1,00	60,00	60,00
43		Pesticides par GC/MS (Hexachlorobenzène) (1 élément)	Aliments gras	NF EN 1528 (Méthode D)	GC_MSD	0,01 mg/Kg de MG	1,00	90,00	90,00
44		Préparation métaux	Aliments gras	Interne	digestion acide		1,00	10,00	10,00
45	C	Mercure par AFS	Aliments gras	Méthode interne Mop C-4/47 V0 et NF EN ISO 17852	AFS		1,00	7,00	7,00
46	C	Métaux (As, Cd, Pb) (3 éléments)	Aliments gras	Méthode interne MOp C-4/18 V5	ICP_MS	Annexe données techniques	1,00	21,00	21,00
47									
48		Analyses sur aliments non gras : végétaux, légumes, ...							
49		Préparation échantillon	Aliments non gras / végétaux				1,00	15,00	15,00
50	C	PCDD/Fs (17 éléments)	Aliments non gras / végétaux	EPA 1613 (MOp C-4/57 V1)	HRGC_HRMS	0,6 pg/g I-TEQ	1,00	350,00	350,00
51	C	PCB de type dioxine (15 éléments)	Aliments non gras / végétaux	EPA 1668 (Mop C-04/57 V1)	HRGC_HRMS	0,22 TE pg/g MS	1,00	280,00	280,00
52		PCB (7 éléments)	Aliments non gras / végétaux	Selon XP X 33-012	GC_MSD	0,01 mg/Kg MS	1,00	60,00	60,00

N°	*	Prestation	Matrice	Méthode	Technique	LQ**	Quantité	Prix unitaire (EUR HT)	Montant (EUR HT)
53		PCDD/FS + PCB Type dioxine + PCB Indicateurs	Aliments non gras / végétaux	Méthode interne selon EPA 1613 + EPA 1668	HRGC_HRMS	pg/g I TEQ	1,00	490,00	490,00
54		HAP par GC/MS (15 éléments)	Aliments non gras / végétaux	Méthode interne selon XP X33-012	GC_MSD	0,01 mg/Kg MS	1,00	60,00	60,00
55		Pesticides par GC/MS (Hexachlorobenzène) (1 élément)	Aliments non gras / végétaux	NF EN 12393 (Méthode O)	GC_MSD	0,01 mg/Kg de PF	1,00	90,00	90,00
56		Préparation métaux	Aliments non gras / végétaux	Interne	digestion acide		1,00	10,00	10,00
57	C	Mercure par AFS	Aliments non gras / végétaux	Méthode interne Mop C-4/47 V0 et NF EN ISO 17852	AFS	0.025 mg/kg MS	1,00	7,00	7,00
58	C	Métaux (As, Cd, Pb) (3 éléments)	Aliments non gras / végétaux	Méthode interne MOp C-4/18 V5	ICP_MS	Annexe données techniques	1,00	21,00	21,00
59									
60		Analyses sur air (Système par préleveur séquentiel Partisol) :							
61	C	Préparation métaux (NF EN 14902)	Air ambiant - filtre	NF EN 14902			1,00	15,00	15,00
62	C	Métaux (NF EN 14902) : As, Cd, Pb (3 éléments)	Air ambiant - filtre	Suivant NF EN 14902	ICP_MS	Annexe données techniques ng/Filtre	1,00	21,00	21,00
63		Mercure par AFS	Air ambiant - filtre	Méthode interne	AFS	25 ng	1,00	7,00	7,00
64		Conditionnement filtres (par lot de 50)					1,00	15,00	15,00
65		Conditionnement porte-filtre + filtre					1,00	10,00	10,00
66	C	HAP par GC/MS (15 éléments)	Air ambiant - PUF + filtre	Méthode interne MOp C-4/50 V0 selon NF X 43-025	GC_MSD	10 ng/éch	1,00	100,00	100,00
67		Conditionnement PUF + filtre					1,00	40,00	40,00
68	C	Pesticides par GC/MS (1 élément)	Air ambiant	X43-059	GC_MSD	20 à 400 ng/éch	1,00	150,00	150,00
69		Nettoyage Cartouche					1,00	40,00	40,00
70		Conditionnement PUF + filtre					1,00		
71		PCDD/Fs (17 éléments)	Air ambiant	Selon NF EN 1948-2 et 3	HRGC_HRMS	5 I-TEQ pg/éch	1,00	350,00	350,00
72		PCB de type dioxine (15 éléments)	Air ambiant	Méthode interne selon EPA 1668	HRGC_HRMS	2 TE pg/éch	1,00	280,00	280,00
73		PCB (7 éléments)	Air ambiant	Méthode interne selon NF X 43-025	GC_MSD	10 ng/éch	1,00	100,00	100,00

N°	*	Prestation	Matrice	Méthode	Technique	LQ**	Quantité	Prix unitaire (EUR HT)	Montant (EUR HT)
74		PCDD/FS + PCB type dioxine	Air ambiant	Méthode interne selon EPA 1613 + EPA 1668	HRGC_HRMS		1,00	490,00	490,00
75		Nettoyage Cartouche					1,00	40,00	40,00
76		Conditionnement PUF + filtre + marqueur					1,00		
77		Marqueurs Dioxines SS					1,00		
78									
79		Analyses sur air (Système par jauges de retombées atmosphériques) :							
80		Préparation - filtration	Retombées atmosphériques phases séparées				1,00	15,00	15,00
81		Pesée des poussières solubles et insolubles	Retombées atmosphériques phases séparées	Méthode interne	GRAVIMETRIE	1 mg	1,00	10,00	10,00
82		Préparation métaux	Retombées atmosphériques phases séparées				1,00	15,00	15,00
83		Mercure par AFS soluble et insoluble	Retombées atmosphériques phases séparées	Méthode interne	AFS	25ng, 0.05µg/L	1,00	14,00	14,00
84		Métaux soluble + insoluble (1 élément)	Retombées atmosphériques phases séparées	Méthode interne	ICP_MS	Annexe données techniques	1,00	42,00	42,00
85		PCDD/FS + PCB Type dioxine + PCB Indicateurs	Retombées atmosphériques totales	Méthode interne selon EPA 1613 + EPA 1668	HRGC_HRMS		1,00	490,00	490,00
86	C	PCDD/Fs (17 éléments)	Retombées atmosphériques totales	Méthode interne MOp C-4/58 V0 et In C-4/15 V6	HRGC_HRMS	5 I-TEQ WHO pg/éch	1,00	350,00	350,00
87		PCB de type dioxine (15 éléments)	Retombées atmosphériques totales	Méthode interne selon EPA 1668	HRGC_HRMS	2 TE pg/éch	1,00	280,00	280,00
88		PCB (7 éléments)	Retombées atmosphériques totales	Méthode interne - selon NF X 43-014 pour préparation - selon NF EN ISO 6468 pour soluble - selon XP X 33-012 pour insolubles	GC_MSD	0.02 µg/éch	1,00	100,00	100,00
89		marqueur Dioxines SS					1,00		

N°	*	Prestation	Matrice	Méthode	Technique	LQ**	Quantité	Prix unitaire (EUR HT)	Montant (EUR HT)
90		HAP par GC/MS (15 éléments)	Retombées atmosphériques totales	Méthode interne - selon NF X 43-014 pour préparation - selon NF T 90-115 pour soluble - selon XP X 33-012 pour insolubles	GC_MSD	20 ng/éch	1,00	100,00	100,00
91		Pesticides par GC/MS : Hexachlorobenzène (1 élément)	Retombées atmosphériques totales	Méthode interne	GC_MSD et LC_MS_MS	0.05 à 2 µg/éch	1,00	150,00	150,00
92		Nettoyage Jauges					1,00		
							Total H.T. (EUR)		9 989,00

MEKHOUS

Sabrina

11/10/2011

## INGENIEUR DU GENIE SANITAIRE

Promotion 2010-2011

### **Feasibility study of a health risk assessment of open burning of waste at the unauthorized Badamiers' landfill site, Petite-Terre, Mayotte, France**

PARTENARIAT UNIVERSITAIRE : Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique (E.H.E.S.P.)

#### **Résumé :**

This paper discusses the open burning of waste, which is widely practiced in the unauthorised landfill site of Badamiers, Petite-Terre, Mayotte. Poor waste management on the island is a major public health concern. Indeed, the collection of unsorted waste leads to the presence of many hazardous pollutants in the environment. The burning of waste can, in turn, cause significant environmental pollution and impact on the inhabitants of the island. This thesis aims to provide a context analysis and studies the feasibility of a health risk assessment associated with the uncontrolled burning of waste in Petite-Terre. Initially, this work identifies the pollutants emitted by the open burning of waste and characterises the associated health risks through a scientific literature review. The environmental analysis of the study site, mapping of local demographics and identification of local human activities bring together valuable information needed to conduct a future health risk assessment. The key steps of this risk assessment are outlined and missing data is identified. The latter relates mainly to measures of the environmental media (soil, air, water) potentially affected by pollution. Considerations related to the sampling methodology were also discussed. Given the situation and the potential health risks, it is essential to carry out a study to determine the health risks and to establish management measures if necessary.

#### **Mots clés :**

*Landfill, waste, open burning, health risk assessment, Mayotte*

*L'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les mémoires : ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.*

MEKHOUS

Sabrina

11/10/2011

## INGENIEUR DU GENIE SANITAIRE

Promotion 2010-2011

### **Etude de faisabilité d'une Evaluation de Risque Sanitaire (ERS) associée à la pratique de brûlage des déchets dans la décharge brute des Badamiers (Petite-Terre), à Mayotte**

PARTENARIAT UNIVERSITAIRE : Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique (E.H.E.S.P.)

#### **Résumé :**

Le présent mémoire traite de la problématique de brûlage des déchets à ciel ouvert qui est largement pratiqué dans de la décharge des Badamiers (Petite-Terre) à Mayotte. La gestion inadéquate des déchets sur l'île représente un problème de santé publique majeur. En effet, la collecte des déchets est encore imparfaite et conduit à la présence de nombreux déchets dangereux dans l'environnement. Le traitement réservé aux déchets peut, quant à lui, entraîner une pollution environnementale importante et impacter les habitants de l'île. Ce mémoire vise à dresser un état des lieux général et à étudier la faisabilité d'une évaluation de risques sanitaires associée au brûlage incontrôlé des déchets à Petite-Terre. Dans un premier temps, ce travail visera à identifier les polluants émis par la combustion incontrôlée des déchets à ciel ouvert et à caractériser les risques sanitaires associés grâce à une analyse de la littérature scientifique récente. Le diagnostic environnemental réalisé sur le site d'étude, la description de la situation actuelle, du territoire de Petite-Terre, des populations humaines et de leurs activités aura permis de rassembler de nombreuses informations nécessaires à la réalisation d'une évaluation de risques sanitaires future. Les étapes-clés de cette évaluation de risques ont été rappelées et les données manquantes précisées. Ces dernières concernent principalement les mesures dans les compartiments de l'environnement potentiellement impactés par la pollution. Des éléments relatifs à la campagne météorologique à mettre en œuvre ont également été discutés. Compte-tenu de la situation et des risques sanitaires auxquels s'expose potentiellement la population de Petite-Terre, il apparaît indispensable de mener à bien une telle étude afin de conclure quant à l'existence d'un risque avéré ou non et de mettre en place des mesures de gestion si nécessaire.

#### **Mots clés :**

*Décharge brute, déchets, brûlage à ciel ouvert, évaluation de risque sanitaire, Mayotte*

*L'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les mémoires : ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.*