

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



LAVALEF

Département de Génie Chimique

Laboratoire de Valorisation des Energies Fossiles

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie Chimique

Thème

**Gestion des déchets hospitaliers en Algérie, incinération et
nouvelles alternatives technologiques**

Présenté par :
MEDJAHED Marya et MOKHDAR Hind

Sous la direction de : Mr R. BOUARAB Professeur (ENP)

Présenté et soutenu publiquement le (30/06/2022)

Composition du jury :

Président	Mr A. SELATNIA	Professeur	ENP
Promoteur	Mr R. BOUARAB	Professeur	ENP
Examinatrices	Mme S. HADDOUM	MCA	ENP
	Mme S. SAHI	MCA	ENP

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



LAVALEF

Département de Génie Chimique

Laboratoire de Valorisation des Energies Fossiles

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie Chimique

Thème

**Gestion des déchets hospitaliers en Algérie, incinération et
nouvelles alternatives technologiques**

Présenté par :
MEDJAHED Marya et MOKHDAR Hind

Sous la direction de : Mr R. BOUARAB Professeur (ENP)

Présenté et soutenu publiquement le (30/06/2022)

Composition du jury :

Président	Mr A. SELATNIA	Professeur	ENP
Promoteur	Mr R. BOUARAB	Professeur	ENP
Examinatrices	Mme S. HADDOUM	MCA	ENP
	Mme S. SAHI	MCA	ENP

Dédicaces

Je dédie mon travail à mes chers parents que j'aime obstinément et à qui je dois tout.

À la mémoire de mes tantes Nassima et Lynda qui ne m'ont jamais quitté malgré leurs absences.

À ma chère Ayi qui m'a accompagné et soutenu tout au long de ces cinq années avec ses prières et à mes grands-parents.

À mes sœurs Melissa et Kenza et mes frères Malik et Mehdi et ma chère cousine Sarah.

À mes tantes Fadila, Kenza, Farida, Ghania et Naima et toute ma famille.

À mes cher enseignants madame ZEMOURI et monsieur HAMROUR.

À mon binôme Hind et mes chers amis Khadidja, Ines, Anis, Rayane et Imene qui malgré la distance m'ont toujours épaulé.

À Abdallah qui a été présent dans les bons comme dans les mauvais moments.

Et enfin à la courageuse Marya, qui malgré toutes les épreuves elle n'a pas cédé et s'est toujours accrochée, je tiens à te dire que je suis tellement fier de toi et de ton parcours.

Marya MEDJAHED.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A celle qui s'est toujours dévouée et sacrifiée pour moi, celle qui m'a aidée du mieux qu'elle pouvait pour réussir, celle qui m'a accompagnée durant toutes les années d'étude, et surtout qui m'a fait confiance et qui a cru en mes compétences, Ma très chère mère.

A celui qui m'a toujours encouragée et soutenue moralement et matériellement, celui qui m'a donnée de la force pour persévérer et pour prospérer dans la vie, mon très cher père.

Que dieu les gardes et les protèges.

A ma sœur Manel,

Qui n'a jamais cessé de me soutenir et de croire en moi durant toute sa vie,

A mes sœurs Sihem et Walaa qui m'avez toujours soutenu et encouragé, durant ces années d'études,

A ma petite sœur Farah,

Qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille,

A tous les membres de ma famille,

A mes amis,

A tous les enseignants qui ont la grâce de me former,

Sans oublier mon binôme Marya pour son soutien moral, ses qualités, et pour son aide et support dans les moments difficiles.

Hind MOKHDAR.

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Dieu tout puissant pour nous avoir donné le courage, la volonté, la santé et la patience de mener à terme ce travail.

Nous adressons nos vifs remerciements à notre encadrant Monsieur Rabah BOUARAB, pour son soutien constant, ses précieux conseils et sa disponibilité tout au long de cette recherche. Grâce à son accompagnement et son souci du détail, la préparation de ce mémoire a été pour nous une véritable ouverture vers le monde professionnel.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent particulièrement à Monsieur le Directeur de l'hôpital de Kouba et au Dr AMRANI, la cheffe de service d'Epidémiologie et de Médecine Préventive pour sa disposition à nous fournir toutes les données et les documents dont nous avons besoin pour réaliser ce mémoire et le temps qu'elle nous a accordé pour faire la visite de tous les services de l'hôpital et à madame F.GUENANE qui nous a accompagné dans notre visite à la station d'incinération d'ECFERAL.

Nos remerciements s'adressent enfin aux membres du jury qui nous font l'honneur de participer à notre soutenance. Nous remercions sincèrement le Président Monsieur A. SELATNIA qui nous fait l'honneur de présider le jury, Madame S. HADDOUM et Madame S. SAHI, d'avoir accepté d'évaluer nos travaux en qualité d'examinatrices.

Nous tenons également à exprimer notre reconnaissance à l'ensemble des membres du corps professoral du département de génie chimique pour tout le savoir qu'ils nous ont transmis ainsi que pour leur disponibilité et leur dévouement au cours de ces trois dernières années.

Que toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et qui ont su nous soutenir durant sa préparation, trouvent ici l'expression de nos plus chaleureux remerciements. Une mention particulière à nos professeurs de l'ESS d'Alger et de Tlemcen qui ont grandement contribué à notre formation en classe préparatoire en particulier à madame MIMOUNE, monsieur ZAAIM, monsieur ZEBDI, monsieur KHERFI, monsieur HABCHI et madame BELKHOUCHE.

ملخص:

لقد رافق إنتاج النفايات الإنسان منذ ظهوره على الأرض. أدى التوسع الديموغرافي، وزيادة المنتجات الاستهلاكية، وتنوع السكنات، وكذلك الأمراض إلى تفاقم الوضع، وبالتالي يجب القضاء عليها بشكل صحيح.

إدارة نفايات الرعاية الصحية هي نظام يدعم الفرز والجمع والتخزين والتخلص من النفايات المعدية الخطرة الناتجة عن المستشفيات. تعتبر الإدارة الفعالة للنفايات ضرورية لمرافق الرعاية الصحية لأن النفايات الطبية يمكن أن تكون مُمرضة وخطرة على البيئة والصحة العامة.

في البداية، كنا مهتمين بمستشفى القبة من أجل تقييم الوضع الحالي فيما يتعلق بإدارة النفايات وتقييم استراتيجيتهم وتقديم حلول لهم في هذا النحو. من أجل التخلص من النفايات، تعاوننا للمرة الثانية مع إكفرال من أجل دراسة عملية الحرق بهدف اقتراح حلول لاستعادة وتوليد الطاقة.

الكلمات المفتاحية: النفايات، المستشفيات، التخلص من النفايات، الحرق والاستعادة.

Abstract:

The production of waste has accompanied man since his appearance on earth. The demographic expansion, the increase of consumer products, the type of habitat as well as the diseases have worsened the situation and therefore their elimination must be done properly.

Health care waste management is a system that handles the sorting, collection, storage and disposal of infectious hazardous waste generated by hospitals. Effective management of this waste is essential for health care facilities because medical waste can be pathogenic and dangerous to the environment and to public health.

Initially, we were interested in the EPH of Kouba in order to assess the existing situation in terms of waste management, to evaluate their strategy and to propose solutions in this direction. For the elimination of waste, we collaborated in a second time with ECFERAL in order to study the process of incineration with the aim of proposing one or more dies of valorization and energy cogeneration.

Key words: waste, hospitals, waste disposal, incineration and recovery.

Résumé :

La production des déchets a accompagné l'homme depuis son apparition sur terre. L'expansion démographique, l'augmentation des produits de consommation, le type d'habitat ainsi que les maladies ont aggravé la situation et donc leur élimination se doit de se faire correctement.

La gestion des déchets d'activités de soins est un système qui prend en charge le tri, la collecte, le stockage et l'élimination des déchets infectieux dangereux générés par les hôpitaux. Une gestion efficace de ces derniers est essentielle pour les établissements de santé car les déchets médicaux peuvent être pathogènes et dangereux pour l'environnement et pour la santé publique.

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressées à l'EPH de Kouba afin de mettre le point sur la situation existante en matière de gestion des déchets, d'évaluer leur stratégie et de leur proposer des solutions dans ce sens. Pour l'élimination des déchets, nous avons collaboré dans un second temps avec ECFERAL afin d'étudier le processus d'incinération dans le but de proposer une ou plusieurs filières de valorisation et cogénération énergétique.

Mot clés : déchets, hôpitaux, élimination des déchets, incinération et valorisation

Table de matière

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Partie 1 : Gestion des déchets hospitaliers	18
Introduction	19
Chapitre 1 : Aperçu bibliographique sur les déchets hospitaliers	20
1.1. Généralités	21
1.1.1. Définition des déchets	21
1.1.1.1. Définition économique	21
1.1.1.2. Définition juridique	21
1.1.2. Classifications des déchets (ou les typologies de déchets).....	21
1.1.2.1. La classification selon l'origine du déchet	22
1.1.2.2. La classification selon les propriétés de danger du déchet	22
1.2. Les déchets hospitaliers	24
1.2.1. Définition.....	24
1.2.2. Classification des déchets hospitaliers	24
1.2.2.1. Les déchets non dangereux.....	24
1.2.2.2. Les déchets dangereux.....	25
1.3. Caractéristiques des déchets	27
1.3.1. La densité.....	27
1.3.2. Le degré d'humidité	27
1.3.3. Le pouvoir calorifique	27
1.3.4. Rapport C/N.....	27
1.4. Quantification des déchets hospitaliers	27
1.4.1. En Algérie.....	27
1.4.2. A l'échelle internationale	29
1.5. Textes et réglementations	30
1.5.1. Réglementations nationales	30

1.5.1.1.	Les décrets exécutifs	31
1.5.2.	Réglementations internationales.....	32
1.5.2.1.	Convention de Bâle	32
1.5.2.2.	Convention de Bamako	32
1.5.2.3.	Convention de Stockholm	32
1.5.2.4.	Principe du pollueur payeur	32
1.5.2.5.	Principe de précaution	33
1.5.2.6.	Principe de proximité	33
1.5.2.7.	Agenda 21, plan d'action pour le 21e siècle.....	33
1.5.2.8.	Initiatives OMS et PNUE sur le mercure	33
1.5.2.9.	L'International Solid Waste Association.....	33
1.6.	Les risques et impacts des déchets hospitaliers sur la santé et sur l'environnement	33
1.6.1.	Personnes potentiellement exposées.....	33
1.6.2.	Risques liés aux déchets médicaux dangereux	34
1.6.2.1.	Risques traumatiques et infectieux.....	34
1.6.2.2.	Survie des micro-organismes dans l'environnement.....	35
1.6.2.3.	Risques biologiques associés à l'exposition aux déchets solides domestiques .	36
1.6.2.4.	Risques chimiques.....	36
1.7.	Risques liés au traitement et au dépôt inadéquats des déchets médicaux dangereux	38
1.7.1.	Risques liés à l'incinération.....	38
1.7.2.	Risques liés au dépôt ou à la mise en décharge non contrôlés	39
1.7.3.	Risques liés au déversement des eaux usées non traitées	39
Chapitre 2 : Etude de la gestion des déchets		40
2.1.	Gestion des DAS	41
2.1.1.	Le tri et conditionnement.....	41
2.1.1.1.	Principes du tri.....	41
2.1.2.	Comment trier ?.....	41
2.1.3.	Collecte et stockage des déchets.....	44
2.1.3.1.	Collecte primaire	44

2.1.3.2.	Caractéristiques des locaux d'entreposage	44
2.1.4.	Transport des déchets	44
2.1.4.1.	Transport interne	45
2.1.4.2.	Transport externe.....	45
2.1.4.3.	Transport transfrontalier.....	45
2.1.5.	Traitement et élimination	46
2.1.5.1.	Choix des méthodes de traitement et d'élimination	46
2.1.5.2.	Types de traitement	46
2.2.	Gestion par types de déchets	64
2.2.1.	Gestion des <i>DASRI</i>	64
2.2.1.1.	Tri à la source	64
2.2.1.2.	Collecte.....	65
2.2.1.3.	Entreposage centralisé.....	65
2.2.1.4.	Transport	65
2.2.1.5.	Traitement des <i>DASRI</i>	65
2.2.2.	Gestion des déchets à risques chimiques et/ou toxiques (<i>DRCT</i>).....	66
2.2.2.1.	Tri et conditionnement	66
2.2.2.2.	Stockage	67
2.2.2.3.	Traitement et élimination	67
2.2.3.	Gestion des déchets de mercure.....	68
2.2.4.	Gestion des déchets pharmaceutiques	68
2.2.5.	Gestion des déchets radioactifs.....	70
2.2.6.	Gestion des déchets anatomiques humains.....	70
2.2.7.	Déchets piquants et tranchants	71
	Conclusion.....	73
	Partie 2 : Plan d'action pour la gestion des déchets hospitaliers	74
	Introduction	75
	Chapitre 3 : Cas d'étude : Hôpital de Kouba & ECFERAL.....	76
3.1.	Cas d'étude 1 - Hôpital de Kouba	77

3.1.1.	Choix de l'établissement hospitalier.....	77
3.1.2.	Historique de l'établissement public hospitalier de Kouba.....	77
3.1.3.	Présentation de l'hôpital.....	77
3.1.4.	Démarche de l'étude.....	78
3.2.	Cas d'étude 2 - Entreprise ECTERAL	79
3.2.1.	Présentation d'ECFERAL	79
3.2.2.	Démarche de l'étude au niveau de l'entreprise <i>ECFERAL</i>	81
	Chapitre 4 : Incinération et nouvelles alternatives technologiques	82
4.1.	L'incinération	83
4.2.	Les nouvelles alternatives technologiques	86
4.2.1.	Incinérateur doté d'une colonne à charbon actif.....	86
4.2.2.	Broyage- stérilisation. Autoclaves à vapeur avec broyage intégré.....	87
4.2.3.	Traitement thermique par frottement.....	89
4.2.4.	Technologie à base d'hypochlorite de sodium	91
	Chapitre 5 : Résultats et interprétations	94
5.1.	Partie 01 - La gestion des DAS au niveau de l'hôpital.....	95
5.1.1.	Méthode d'étude de la gestion des déchets hospitaliers à l'hôpital de kouba	95
5.1.1.1.	Le tri	95
5.1.2.	Evaluation des quantités de déchets produits	98
5.2.	Partie 2 - Elimination des DAS au niveau de la station d'incinération d'ECFERAL ...	99
5.2.1.	Campagne relative à l'analyse des rejets gazeux.....	99
5.2.1.1.	Résultats des analyses effectuées	99
5.2.2.	Campagne relative aux métaux lourds.....	102
5.2.2.1.	Interprétation des résultats.....	104
	Conclusion.....	108
	Conclusion générale	109
	Références bibliographiques.....	112
	ANNEXE I Gestion des déchets issus des activités sanitaires lies au Covid-19	120
	ANNEXE II Les polluants émis par l'incinération	126

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Production nationale de déchets d'activité de soin (Département algérien de santé, 2007).</i>	28
<i>Tableau 2 : Exemples d'infections pouvant être causées par des déchets médicaux dangereux (CICR, 2011).</i>	34
<i>Tableau 3 : Temps de survie de certains pathogènes (CICR, 2011).</i>	36
<i>Tableau 4 : Recommandations pour le codage (OMS – PNUE/SCB 2005).</i>	42
<i>Tableau 5 : Paramètres nécessaires à une bonne combustion (CHAABANE, 2010).</i>	50
<i>Tableau 6 : Avantages et inconvénients de l'incinération (GUENANE, 2020).</i>	57
<i>Tableau 7 : Avantages et inconvénients de la désinfection chimique (AIT AHSENE, 2015).</i>	59
<i>Tableau 8 : Avantages et inconvénients de l'élimination par enfouissement (CICR, 2011).</i>	62
<i>Tableau 9: Types de déchets générés par chaque service (EPH_Kouba, 2019).</i>	79
<i>Tableau 10 : Capacités maximales de destruction de l'incinérateur NAR 5000 (GUENANE, 2020).</i>	84
<i>Tableau 11: Avantages et inconvénients du traitement par autoclave (OMS, 2019).</i>	88
<i>Tableau 12: Capacités et consommations du traitement par autoclave (OMS, 2019).</i>	89
<i>Tableau 13: Avantages et inconvénients du traitement thermique par frottement (OMS, 2019).</i>	90
<i>Tableau 14: Capacités et consommations du traitement thermique par frottement (OMS, 2019).</i>	91
<i>Tableau 15: Avantages et inconvénients du traitement à l'hypochlorite de sodium (OMS, 2019).</i>	91
<i>Tableau 16: Capacités et consommations du traitement à l'hypochlorite de sodium (OMS, 2019).</i>	93
<i>Tableau 17 : Quantités de déchets produites (AND, 2022).</i>	98
<i>Tableau 18 : Quantités de déchets produites dans les services de l'Hôpital (AND, 2022).</i>	98
<i>Tableau 19: Concentrations des polluants issus de la combustion des DAS</i>	100
<i>Tableau 20: Masses des particules piégées dans les rejets atmosphériques.</i>	101
<i>Tableau 21: Concentrations des particules piégées dans les rejets atmosphériques.</i>	102
<i>Tableau 22: Concentration moyenne de l'oxygène.</i>	102
<i>Tableau 23: Teneurs en métaux mesurées dans les cendres après incinération des DAS.</i>	103
<i>Tableau 24: Valeurs limites réglementées des rejets atmosphériques (GUENANE, 2020).</i>	105

Liste des figures

Figure 1 : Procédé du tri des déchets hospitaliers (ABERKANE & ABERBOUR, 2017).....	26
Figure 2 : Exemple d'étiquetage de produits chimiques. Système européen valable jusqu'en 2015 (CICR, 2011).	37
Figure 3 : Exemple d'étiquetage de produits chimiques selon le nouveau système SGH (international) (CICR, 2011).	38
Figure 4 : Les différents procédés de gestion des déchets d'activités de soins (AND, 2019).	42
Figure 5: Un sac noir (CICR, 2011).	43
Figure 6: Support à roulettes pour sacs Figure 7: Conteneur à piquant/tranchants (CICR, 2011). plastique (CICR, 2011).....	43
Figure 8 : Schéma d'un incinérateur (ABAD et al., 2002).....	47
Figure 9: Schéma global des polluants générés (AIT AHSENE ,2015).	50
Figure 10: Laveur Venturi convergent (GUENANE, 2020).....	52
Figure 11 : Procédé humide de traitement des fumées (double filtration) (GUENANE, 2020).....	52
Figure 12 : Schéma d'un d'incinérateur à four rotatif (GUENANE, 2020).	54
Figure 13: Principaux composants d'un bain fluidisé (GUENANE, 2020).	55
Figure 14 : Incinérateur à grille (BAKHA, 2021).....	55
Figure 15: Schéma du principe de fonctionnement d'un four statique à sol fixe (GUENANE, 2020). .	56
Figure 16 : Exemple de fosse d'enfouissement (CICR, 2011).....	60
Figure 17 : Fosse d'enfouissement pour déchets anatomiques (CICR, 2011).	60
Figure 18 : Fosse pour déchets piquants (Modèle MSF) (CICR, 2011).	61
Figure 19 : Système de séparation à trois bacs (AND, 2019).	64
Figure 20 : Exemple de chariot de soins conforme pour le tri des déchets à la source (AND, 2019)..	64
Figure 21 : Processus de gestion des déchets à risques infectieux (AND, 2019).	66
Figure 22 : Incompatibilité des déchets chimiques et toxiques (AND, 2019).	67
Figure 23 : Processus de gestion des déchets chimiques et toxiques (AND, 2019).	68
Figure 24 : Processus de gestion des déchets des médicaments cytotoxiques (AND, 2019).	69
Figure 25 : Processus de gestion des déchets anatomiques (AND, 2019).	71
Figure 26 : Processus de la gestion des déchets piquants/tranchants (AND, 2019).	72
Figure 27 : Services de l'hôpital de Kouba (EPH_Kouba,2019).....	78
Figure 28 : (a) Incinérateur NAR 1500 et (b) Incinérateur à four rotatif (GUENANE, 2020).....	80

<i>Figure 29 : Schéma de l'incinérateur de modèle « NAR 5000 » équipé d'un laveur (AIT AHSENE, 2016).</i>	85
<i>Figure 30 : Schéma d'incinérateur NAR 3000 équipé d'un laveur et d'une colonne de charbon actif (AIT AHSENE, 2016).</i>	87
<i>Figure 31 : Schéma d'un autoclave à vapeur doté de broyeur intégré (OMS, 2019).</i>	88
<i>Figure 32 : Procédé de traitement thermique par frottement (OMS, 2019).</i>	90
<i>Figure 33 : Système de traitement à l'hypochlorite de sodium (OMS, 2019).</i>	92
<i>Figure 34 : Chariot de soin.</i>	95
<i>Figure 35 : Image explicative du principe de tri des déchets et support fixe avec les différents sacs.</i>	96
<i>Figure 36 : Conteneur des piquants/tranchants.</i>	96
<i>Figure 37 : Conteneur pour les déchets ménagers.</i>	97
<i>Figure 38 : Montes de charge au niveau de l'hôpital de Kouba.</i>	97
<i>Figure 39 : Concentrations des différents gaz issus de la combustion des DAS au cours de l'incinération.</i>	100
<i>Figure 40 : Schéma d'écoulement typique d'un incinérateur avec une unité de cogénération (MA_MUNICIPALIT_EFFICACE, 2022).</i>	106

Liste des abréviations

°C	Degré Celsius
AES	Accidents avec Exposition au Sang.
AIM	Arrêté Interministériel.
AND	Agence Nationale des Déchets.
ANEM	Agence Nationale de l'Emploi.
APS	Algérie Presse Service.
BTEX	Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes
CICR	Comité International de la Croix-Rouge.
COMENA	Commissariat à l'Energie Atomique.
COV	Composé Organique Volatil.
CPT	Conteneur des Piquants/Tranchants.
DAE	Déchets d'Activités Economiques.
DAS	Déchets d'Activité de Soins.
DASRI	Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieux.
DMA	Déchets Ménagers et Assimilés.
DMS	Déchets Municipaux Solides
DRCT	Déchets à Risques Chimiques et Toxiques.
ECFERAL	Entreprise de Chaudronnerie et de Ferblanterie d'Alger
EPCI	Etablissements Publics de Coopération Intercommunale.
EPH	Établissement Public Hospitalier.
FDS	Fiche de Données de Sécurité.
g	gramme
GAVI	Global Alliance for Vaccines and Immunization.
GEBA	Groupement d'Entreprises Belges en Algérie.
GES	Gaz à Effet de Serre.
GRV	Grands Récipients pour Vrac.
h	Heure
HEPA	High Efficiency Particulate Air
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.
ISDI	Installations de Stockage de Déchets Inertes.
ISWA	International Solid Waste Association.
J	Joule
kCal	Kilocalorie
kg	Kilogramme
kJ	kilo-Joule
KWh	KiloWattHeure
L	Litre
LOD	Limit Of Detection

m	mètre
m²	mètre carrée
mg	milligramme
min	minute
MIOM	Mâchefers d'Incinération d'Ordures Ménagères.
MO	Matière Organique
MS	Matière Sèche
Mth	Millithermie
MWh	MégaWatt-Heure
Nm³	Normo Mètre Cube
O.R.L	Oto-Rhino-Laryngologiste.
ODD	Objectifs de Développement Durable.
OMA	Ordures Ménagères et Assimilées.
OMS	l'Organisation Mondiale de la Santé.
OPCT	Objets Piquants ou Coupants Tranchants.
PCB	PolyChloroBiphényle
PCDD	Polychlorodibenzo-p-Dioxine
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur
PCS	Pouvoir Calorifique Supérieur
PNAE-DD	Plan National d'Actions Environnementales et du Développement Durable.
PNAGDES	Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux.
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement.
POP	Polluants Organiques Persistants.
PPM	Parties Par Million
PVC	PolyChlorure de Vinyle.
REP	Responsabilité Elargie du Producteur.
s	Seconde
SARM	Staphylococcus Aureus Résistant à la Méthicilline
SCB	Secrétariat de la Convention de Bâle
SCR	Réduction Sélective Catalytique
SGH	Système Général Harmonisé
SNCR	Réduction Non-catalytique Sélective
SNGID	Stratégie Nationale de la Gestion Intégrée des Déchets
T	température
t	Tonne
UV	Ultra-Violet
V	Volt
VIH	Virus De l'Immunodéficience Humaine.
ISO	Organisation internationale de normalisation
Novo	Nouvellement Synthétisé

Introduction générale

À l'heure actuelle, la protection de l'environnement est l'une des questions d'intérêt commun dans le monde entier. A l'échelle internationale, les progrès dans ce domaine ne cessent de se multiplier face à toute action individuelle ou industrielle qui pourrait affecter notre planète.

La production de diverses formes de déchets constitue un élément essentiel de mise en péril du bien-être de l'environnement. Pour maintenir cet environnement sain pour les générations futures une bonne gestion des déchets générés par les différents secteurs est requise.

Plusieurs organismes internationaux et nationaux s'intéressent à la question tel que l'Agence Nationale de Déchets qui est très engagée dans la bonne gestion des déchets médicaux dangereux. En collaboration avec le Ministère de la santé et le Ministère de l'environnement, elle publie le guide sur « La gestion des déchets d'activités de soins » apportant notamment des informations sur les différents types de DAS à savoir les DMA, DASRI (avec ses deux types de déchets mous et solides et les OPCT), DRCT ainsi que les déchets anatomiques, pharmaceutiques et radioactifs, les dangers qu'ils peuvent représenter et les pratiques pour les traiter de manière écologique et sûre.

L'objectif de notre projet de fin d'étude qui s'intéresse, à *la gestion des déchets hospitaliers en Algérie, à l'incinération et aux nouvelles alternatives technologiques*, est de faire le suivi du déchet depuis sa création au niveau des salles de soins ou depuis les chambres des patients à l'hôpital de Kouba passant par les étapes intermédiaires de tri et conditionnement, de collecte et stockage, de transport et enfin de traitement et élimination par incinération.

Dans le premier chapitre nous nous sommes intéressées à la définition des déchets en général et les DAS en particulier, à leurs types, leurs caractéristiques qui sont **le degré d'humidité, le pouvoir calorifique et le rapport de teneur en C/N**. Les quantités de DAS en Algérie et dans le monde ainsi que la réglementation qui les encadre et l'impact de ce type de déchet sur la santé et l'environnement sont des points sur lesquels nous nous sommes basées.

Le second chapitre a été consacré aux différentes méthodes de traitement qui servent à réduire le volume des déchets soit l'enfouissement, la méthanisation, le compostage, le broyage avec stérilisation autrement dit l'autoclave et les désinfections chimique et thermique ou dite encore incinération qui consiste à brûler ces déchets tout en assurant la protection de l'environnement.

Nous avons développé lors de notre étude le fonctionnement d'un incinérateur type en introduisant le principe combustion, les différents types de fours à savoir, le four rotatif, à grille, à bain fluidisé et à four statique. Dans le chapitre quatre nous avons, approfondi ces notions en s'étalant sur le fonctionnement du four NAR 5000 de la station d'incinération de l'entreprise de Chaudronnerie et de Ferblanterie d'Alger « ECFERAL », avec ses deux chambres de combustion et de post-combustion, ses caractéristiques, son débit, sa température et sa teneur en poussière. Pour clôturer

notre travail, dans le dernier chapitre nous avons d'abord analysé, discuté, interprété et commenté nos résultats sur la qualité du processus de gestion des déchets au niveau de l'EPH de kouba mais aussi sur les quantités de déchets brûlés ainsi que leurs rejets en termes de gaz, de solides et de métaux lourds dans une seconde étape nous les avons comparés aux normes d'émission afin d'avoir une idée sur leur impact vis-à-vis de l'environnement et la santé publique.

Partie 1 :
Gestion des déchets
hospitaliers

Introduction

Compte tenu du volume généré et du manque de moyens spécialisés et de filières spécialisées pour la collecte et le traitement des déchets, le problème de la gestion des déchets médicaux (DAS) est aujourd'hui très sérieux. Cette situation peut avoir un impact négatif sur la santé publique et l'environnement. La quantité de DAS produite en Algérie en 2018 était d'environ 35 000 tonnes/an. Une bonne gestion de ces déchets aura un triple impact sur le pays :

- Social, en raison du stress que la présence de ces déchets induit sur les personnels médicaux, paramédicaux et sur les populations ;
- Économique, leur collecte et traitement sont créateurs d'emploi et de richesse ;
- Environnemental, avec tous les risques de pollution qu'ils présentent.

Dans cette partie, nous nous intéressons à l'identification des déchets médicaux, leurs types et les risques associés à une mauvaise gestion, sur la base des réglementations et recommandations en vigueur de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ; les contextes national et international en matière de réglementation et de gestion de ces déchets.

Cette collecte de données, traite de la gestion et du ramassage des déchets générés, de leurs caractéristiques, leurs modes de traitement et de valorisation. Elle se divise en deux chapitres :

- Aperçu bibliographique sur les déchets hospitaliers ;
- Etude de la gestion des déchets.

Chapitre 1 :
Aperçu bibliographique sur
les déchets hospitaliers

1.1. Généralités

1.1.1. Définition des déchets

1.1.1.1. Définition économique

Un déchet est une matière ou un objet dont la valeur économique est nulle ou négative, pour son détenteur, à un moment et dans un lieu donné. Donc pour s'en débarrasser, le détenteur devra payer quelqu'un ou faire lui-même le travail.

Selon cette définition la valeur nulle d'un bien peut redevenir positive : un objet débarrassé d'un vieux grenier peut devenir objet de brocante, puis une antiquité.

Outre le temps et le lieu, la quantité est aussi un critère : quelques vieux papiers dans une poubelle sont un déchet, le ballot de vieux papiers imprimés dans un conteneur est matière première secondaire (BERGEY, 1992).

1.1.1.2. Définition juridique

Un déchet est un bien dont la gestion doit être contrôlée au profit de la protection de la santé publique et de l'environnement, indépendamment de la volonté du propriétaire. Cette conception exige que les déchets soient, nommés dans une liste et classés en fonction de leur, nature et caractéristique (BARBIER, 1997).

Selon BERGEY (1992), il existe deux catégories de producteurs de déchets : les producteurs du secteur primaire de production (agriculture, élevage, pêche et foresterie) et les producteurs du secteur industriel (grandes industries de production et de transformation des matières, industrie nucléaire, industrie minière).

En ce qui concerne les déchets de ces deux secteurs, on entend des déchets tout à fait typés, propre à l'activité en question, et non pas les déchets communs, tels que les déchets ménagers de la ferme, ou les déchets de restaurant d'entreprise (SEID & TOUTAH, 2017).

1.1.2. Classifications des déchets (ou les typologies de déchets)

Les déchets sont classés en fonction de critères multiples. Ces critères déterminent des typologies de déchets qui sont utilisées par les différents acteurs pour conduire, surveiller et rendre compte de leurs activités. Un même acteur, par exemple une collectivité territoriale, pourra dans le cadre de ses activités suivre les indicateurs de plusieurs typologies de déchets.

La classification peut être déterminée en fonction de l'origine du déchet, de ses propriétés de danger, ou encore, en fonction d'une filière de traitement dédiée.

1.1.2.1. La classification selon l'origine du déchet

La classification selon l'origine du déchet, (parfois appelé statut du déchet) distingue les déchets municipaux, des déchets de chantiers et des déchets d'activités économiques (DAE). L'origine du déchet détermine le responsable de sa gestion. Par exemple : les collectivités territoriales pour les déchets municipaux ou le producteur initial (s'il n'est pas un ménage) pour les DAE et les déchets de chantiers.

1.1.2.1.1. Les déchets municipaux

Les déchets municipaux sont constitués des déchets de la collectivité et des déchets ménagers et assimilés (*DMA*). Ces derniers regroupent les ordures ménagères et assimilées (*OMA*) et les déchets occasionnels. La gestion des déchets municipaux relève des compétences des collectivités territoriales (*NOTE 9 : Code des collectivités territoriales, art. L 2224-13. Détermine les compétences en matière de gestion des déchets des ménages*). La responsabilité de la collecte et du traitement des déchets ménagers est, à ce titre, assurée par les communes ou les établissements publics de coopération intercommunale (*EPCI*).

1.1.2.1.2. Les déchets d'activité économique

Les déchets d'activités économiques (*DAE*) sont constitués de tout déchet, dangereux ou non dangereux, dont le producteur initial n'est pas un ménage (*Note 10 : Code de l'environnement, art. R 541-8. Identifier les déchets d'activités économiques (DAE)*). Ils proviennent de l'ensemble des secteurs de production : agriculture, pêche, construction, artisanat, secteur tertiaire, commerce.

1.1.2.1.3. Les déchets de chantier

Les déchets de chantier sont issus du secteur du bâtiment qui regroupe une multitude d'entreprises de taille et de fréquence d'intervention très différentes. Ce sont majoritairement des déchets inertes, parfois associés à la source avec des déchets non dangereux dans le cas des chantiers de réhabilitation de bâtiments par exemple.

1.1.2.2. La classification selon les propriétés de danger du déchet

Les déchets peuvent également être classés en fonction de leur propriété de danger. On distingue alors: les déchets dangereux, les déchets non dangereux non inertes, les déchets inertes et les déchets d'activité de soins à risques.

1.1.2.2.1. Les déchets dangereux

Les déchets dangereux contiennent en quantité variable, des éléments dangereux présentant un risque pour la santé humaine ou pour l'environnement. Ces déchets présentent une ou plusieurs des

propriétés de danger (*NOTE 14 : Code de l'environnement, annexe I de l'art. R 541-8. Identifie quinze propriétés de danger des déchets*), qui peuvent être de nature : physico-chimique (par exemple propriété inflammable des solvants ou des hydrocarbures), sanitaire (par exemple risque infectieux des déchets d'activités de soins), ou encore, environnementale (par exemple risque de pollution des eaux). Les déchets dangereux sont signalés dans la nomenclature des déchets par un astérisque.

1.1.2.2.2. Les déchets non dangereux non inertes

Un déchet est présumé dangereux tant que la preuve de sa non-dangereusité n'a pas été apportée. Et donc un déchet non dangereux peut être défini comme, « tout déchet qui ne présente aucune des propriétés qui rendent un déchet dangereux ». Les déchets non dangereux figurent sans astérisque dans la nomenclature des déchets. Ils sont soumis à une obligation de traçabilité et doivent être inscrits dans le registre de suivi des déchets. De même, la déclaration annuelle est obligatoire et les entreprises assurant le transport, la collecte, le négoce ou le courtage de déchets doivent être déclarés ou agréés par l'administration compétente

1.1.2.2.3. Les déchets non dangereux inertes

Tout déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable et ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine est un déchet inerte. Les installations de stockage de déchets inertes (*ISDI*) font l'objet d'un régime spécifique qui diffère du régime réglementaire relatif aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (*ICPE*). Il tend aujourd'hui à s'en rapprocher avec par exemple le renforcement du contenu du dossier de demande d'autorisation des ISDI. Une procédure de changement d'exploitant a également été instaurée.

1.1.2.2.4. Les déchets d'activités de soins à risques

Les déchets d'activité de soin (*DAS*) se définissent comme étant les déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, curatif ou palliatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire. Ils regroupent : les déchets d'activités de soins à risques, les déchets d'activités de soins non dangereux assimilés aux déchets ménagers et les pièces anatomiques (incinérées dans un crématorium spécifique).

Dans le champ des déchets d'activités de soins à risques, il y a : les déchets d'activités de soins à risques infectieux (*DASRI*), les déchets à risques chimiques et toxiques (*DRCT*) et les déchets radioactifs. Ces déchets sont générés par trois grandes catégories de producteurs : les établissements de santé, le secteur diffus et les ménages. Leur caractère infectieux et les risques qui en découlent, tant pour les personnes (professionnels de santé, patients, personnels de collecte et de traitement des déchets) que pour l'environnement, entraînent une politique de gestion particulière centrée sur la

sécurité et la prévention. A ce titre, certains déchets d'activité de soins à risques entrent dans le champ de la responsabilité élargie du producteur (*REP*). C'est le cas des DASRI perforants (seringues, aiguilles, cathéters).

1.2. Les déchets hospitaliers

1.2.1. Définition

Il s'agit de l'ensemble des déchets issus du fonctionnement des établissements de santé, tant au niveau des services hospitaliers et infirmiers, que des services médico-techniques et administratifs et de leurs bâtiments annexes (BOUHTOURI, 2013).

Le terme « *déchets d'activité de soin* » comprend tous les déchets associés aux procédures médicales qui sont générés dans les établissements médicaux, les centres de recherche et les laboratoires. En outre, il comprend les mêmes types de déchets provenant de sources secondaires et discrètes, y compris ceux générés lors des soins à domicile (dialyse à domicile, insuline auto-administrée, soins de récupération) (CHARTIER, 2014).

Les déchets hospitaliers sont tous les déchets qui proviennent d'activités de la médecine humaine (BERGHICHE & SAYAH, 2019).

Les déchets d'hôpitaux ou déchets biomédicaux sont tous les autres déchets produits au niveau des unités des services de soins et du plateau technique. Le terme déchet du secteur sanitaire désigne l'ensemble des déchets produits par les établissements de soins de santé. Les producteurs regroupent non seulement les hôpitaux, mais aussi les cliniques, les cabinets médicaux et dentaires, les établissements pour handicapés et pour les personnes âgées, etc. (LOUAI, 2009).

1.2.2. Classification des déchets hospitaliers

La typologie des DAS est basée sur l'absence ou la présence de risques, et sur la nature de ces risques. Il est estimé que 80 à 85 % des déchets produits par les établissements de santé sont des déchets non dangereux. Les 15 à 20% restants sont considérés comme étant à risque pour la santé et l'environnement (AND, 2019). On distingue deux grandes catégories de déchets d'activités de soins :

1.2.2.1. Les déchets non dangereux

Ils ne sont pas considérés comme des déchets dangereux car ils présentent un niveau de risque comparable aux ordures ménagères et peuvent être éliminés via la filière des ordures ménagères. Il s'agit principalement d'emballages, de cartons, de documents administratifs, de mouchoirs, de papiers d'examen ou de rideaux non souillés, ainsi que de restes alimentaires et de déchets d'activités de jardinage. Les couches et les serviettes hygiéniques de patients non infectés s'assimilent également à la DMA.

Il faut relever que les déchets inertes issus de travaux de démolition, de construction ou de rénovation au niveau des établissements médicaux ne sont pas classés comme DAS (AND, 2019).

1.2.2.2. Les déchets dangereux

Ils sont classés en quatre catégories :

1.2.2.2.1. Les déchets d'activités de soins à risque infectieux (DASRI)

Ils présentent un risque infectieux car ils contiennent ou peuvent contenir des micro-organismes vivants ou leurs toxines pouvant affecter la santé humaine. On distingue :

- *Les Objets piquants ou coupants tranchants (OPCT)* qui sont classés comme des déchets spéciaux dangereux, tels que rasoirs, lames, scalpels, aiguilles, pipettes, verrerie cassée, bandelettes à jeter, etc.
- *Les déchets mous ou solides*, tels que : coton, compresses, bandages, etc.

On assimile aux DASRI les déchets anatomiques humains non reconnaissables par un non-initié : fragments de biopsies, placentas issus des maternités et les produits sanguins à usage thérapeutique incomplètement utilisés ou arrivés à péremption.

Indépendamment du risque infectieux, on assimile également aux DASRI les déchets à impact psycho-émotionnel, car suscitant les craintes du public, des professionnels de santé ou des agents chargés de la gestion des DAS lorsqu'ils reconnaissent des objets associés aux soins, même non contaminés (AND, 2019).

1.2.2.2.2. Les déchets de soins à risques chimiques et/ou toxiques (DRCT)

Ce sont notamment les réactifs de laboratoire, les désinfectants et détergents, les solvants, les révélateurs photographiques, les déchets d'équipements électriques et électroniques, les piles et accumulateurs, ainsi que tout objet contenant des métaux lourds (mercure contenu dans les amalgames dentaires, thermomètres, tensiomètres, etc). Dans la plupart des cas, ces produits se présentent sous forme liquide et ont des propriétés explosives, toxiques, inflammables ou corrosives, d'où leur caractère dangereux (AND, 2019).

1.2.2.2.3. Les déchets pharmaceutiques

Ce sont ceux issus de résidus de médicaments (avec ou sans ordonnance), les produits utilisés pour la préparation et l'administration de médicaments, les médicaments toxiques ou cytotoxiques et quelques types de produits dangereux. De même, les récipients qui ont contenu un produit pharmaceutique font aussi partie de cette catégorie. Les déchets géno-toxiques : des produits cytotoxiques utilisés dans le traitement du cancer et leurs métabolites, des substances mutagènes, tératogènes ou cancérigènes (TIMIZAR, 2009).

1.2.2.2.4. Les déchets anatomiques

Ces déchets sont définis comme étant les déchets anatomiques et biopsiques humains issus des blocs opératoires et des salles d'accouchement. Il s'agit d'organes, de membres, de fragments d'organes, etc

(AND, 2019). Les liquides biologiques et le sang n'en font pas partie et peuvent être évacués dans les égouts.

1.2.2.2.5. Les déchets radioactifs

Les services de médecine nucléaire manipulent les radioéléments générant des déchets radioactifs qui sont éliminés suivant la filière blanche telle que définie par la réglementation nationale.

Une unité de médecine nucléaire peut également rejeter des effluents radioactifs provenant des laboratoires de préparation et de manipulation, des sanitaires de l'unité de scintigraphie ou des chambres protégées réservées à l'hospitalisation des patients faisant l'objet d'une thérapie par isotope.

Les déchets radioactifs sont représentés par tous les déchets générés par le traitement des patients dans le service de médecine nucléaire et qui possèdent une activité radioactive supérieure au bruit de fond naturel des rayonnements (flocons de radionucléides, gants, seringues, aiguilles, robinets à trois voies contaminés).

Les déchets, de patients traités dans le service de médecine nucléaire, telles que les couches, les poches d'urine, les compresses, etc. sont aussi considérés comme déchets radioactifs. La figure 1 présente des exemples de chaque type de déchet généré.

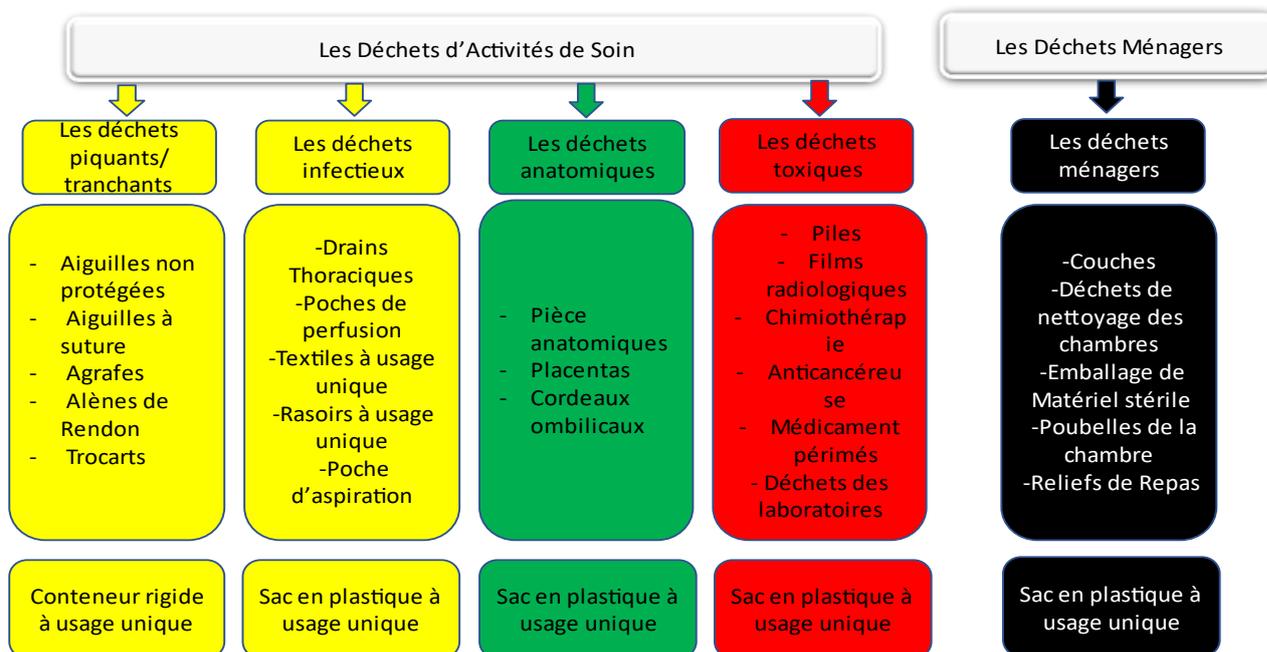


Figure 1 : Procédé du tri des déchets hospitaliers (ABERKANE & ABERBOUR, 2017)

1.3. Caractéristiques des déchets

1.3.1. La densité

La connaissance de la densité est très importante pour le choix des moyens de collecte et de stockage. C'est pourquoi on peut avoir une densité en poubelle, une densité en benne, une densité en décharge, une densité en fosse, etc (BOURANANE, DAOUD & ROUMAIR, 2019).

1.3.2. Le degré d'humidité

Les ordures renferment une quantité suffisante d'eau variant en fonction des saisons et du milieu environnemental. Cette eau a une grande influence sur la rapidité de la décomposition des matières qu'elles renferment et sur le pouvoir calorifique des déchets (BOURANANE, DAOUD & ROUMAIR, 2019).

Le taux d'humidité varie selon la nature des déchets (putrescibles, papiers, cartons, etc.), le lieu de production (zone urbaine ou rurale) et les saisons pluvieuse ou sèche (BOUACIDA & NEHAL, 2021).

1.3.3. Le pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique est défini comme la chaleur dégagée par la combustion d'une unité de poids de déchets bruts. Il s'exprime en millithermie par kilogramme d'ordures (mth/kg) (OUAHRANI, 2021).

Sa valeur augmente avec la diminution de la teneur en eau dans les déchets. Cette mesure est effectuée à l'aide d'une bombe calorimétrique. Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) est un paramètre essentiel pour définir l'habilitation des déchets au traitement. Il est calculé à partir du PCS en ne prenant pas en compte la chaleur de vaporisation de cette eau lors de la combustion et perdue sous forme de vapeur dans les fumées. En règle générale, plus la teneur en eau est élevée, plus le PCI est faible.

D'autre part, la valeur de ce paramètre dépend de la composition des déchets. C'est la somme des PCI des constituants. Il tend à augmenter en même temps que la teneur en papier, carton, emballages et en matières plastiques (MENGHOUR et ALLOU, 2020).

1.3.4. Rapport C/N

Le rapport carbone sur azote est un indicateur de la capacité d'un produit organique à se décomposer. Ce dernier a été choisi comme critère de qualité des produits obtenus par le compostage des déchets. Il est d'une grande importance pour le traitement biologique des déchets (BOURANANE, DAOUD & ROUMAIR, 2019).

1.4. Quantification des déchets hospitaliers

1.4.1. En Algérie

Le ministère en charge de l'Environnement a procédé en 2002 à un inventaire exhaustif, notamment sur les déchets d'activités de soins et a estimé la production nationale, aux alentours de 22000 - 35 000 t/an (AND, 2019).

L'Agence Nationale des Déchets (AND) a lancé une enquête nationale d'évaluation des déchets hospitaliers en vue d'adopter une gestion permettant de réduire au maximum leur impact écologique. L'étude en cours est menée auprès des établissements sanitaires, des cabinets dentaires et médicaux ainsi que des laboratoires d'analyses afin de récolter des données quantifiées sur les DAS et leur mode de gestion.

Une étude portant sur 277 établissements de santé publics, réalisée par le ministère algérien de la Santé en 2007, a donné un poids total annuel 41 728 tonnes de déchets d'activités de soins, dont 6 653 tonnes de déchets infectieux (16 %). Le tableau 1 présente en détail la production nationale algérienne de déchets de soins de santé en Algérie (ADDU, 2008). Les hôpitaux produisent 74 % des déchets médicaux infectieux et le reste des déchets sont produits par d'autres établissements de santé.

Tableau 1 : Production nationale de déchets d'activité de soin (Département algérien de santé, 2007).

Type d'hôpital	Nombre	Déchets hospitaliers (tonne/an)	DASRI (tonne/an)	DMS * (tonne/an)	DASRI/DAS (%)
CHU	13	8255	2477	5780	30
Cliniques	32	4151	1245	2906	30
HSPV **	232	29320	2931	26389	10
Total	277	41728	6653	35075	16

** Déchets municipaux solides, ** Hôpitaux de services et des petites villes.*

- Cas de la wilaya de Chlef

A titre d'exemple, la wilaya de Chlef qui compte 882 structures sanitaires publiques et privées a produit 281 t/an, dont 21 tonnes de déchets anatomiques, 75 tonnes de déchets à risque infectieux et 30 tonnes de déchets toxiques, alors que le reste, le plus grand en quantité et en volume, constitue la fraction assimilable aux déchets ménagers.

Par ailleurs, l'enquête menée au niveau de cette wilaya a permis de constater que les prestataires de collecte des DAS couvrent plus de 80% des flux générés par les structures sanitaires des secteurs diffus et non diffus de la wilaya. C'est d'un indicateur de taille qui a permis à l'AND de confirmer que ces déchets, du moins au niveau des wilayas jusque-là enquêtées, ne sont en aucun cas évacués vers les décharges brutes (APS, 2019).

- Cas de la wilaya d'Alger

La quantité de déchets hospitaliers produits au niveau de la wilaya d'Alger s'élève à près de 4700 tonnes en 2012, selon les statistiques avancées par les établissements hospitaliers et présentées par le directeur de la wilaya d'Alger.

- Cas de la wilaya de Mostaganem

La production annuelle de déchets d'activités de soins à risques infectieux dans le département de Mostaganem (BENDJOUDI et al., 2009) est estimée à 92 tonnes, soit 1,38% de la production nationale de déchets. Cela représente une moyenne de 0,15 kg/lit/jour, ce qui est inférieur à la valeur nationale de 0,72 kg/lit/jour. Le total des déchets de soins de santé par secteur varie de 0,7 à 1,22 kg/lit/jour, et les déchets de soins de santé représentent 16 % du total des déchets, ce qui est égal au pourcentage national.

- Cas de la wilaya d'Oran

Les déchets de soins, estimés à 7.000 tonnes par an dans la wilaya d'Oran, représentent une priorité à prendre en charge dans le cadre du plan d'urgence pour la gestion des déchets spéciaux (DS) et déchets spéciaux dangereux (DSD)(APS, 2017).

1.4.2. A l'échelle internationale

85% des déchets liés aux soins de santé sont comparables aux ordures ménagères et ne sont pas dangereux. Les 15% restants sont considérés comme dangereux et peuvent être infectieux, toxiques ou radioactifs.

La quantité moyenne de déchets dangereux par lit d'hospitalisation et par jour est de 0,5 kg dans les pays à revenu élevé et de 0,2 kg dans les pays à revenu faible. Toutefois, dans les pays à revenu faible, les déchets dangereux et non dangereux sont rarement séparés et, en réalité, la quantité de déchets dangereux est beaucoup plus élevée (OMS, 2018).

- Cas de la ville de Tétouan (Maroc)

Une étude a montré la part des déchets sans risque et des DASRI au niveau de 18 unités de soins du centre hospitalier régional de Tétouan sur une période de quatre semaines. Les résultats ont montré une production totale mensuelle de DASRI de 5985 kg avec une production journalière par lit occupé de l'ordre de 0,94 kg/lit/jour. La typologie des DASRI a révélé une dominance des objets infectieux dont le poids a varié de 130,50 à 276,70 kg. La quantité des placentas a été de 71,80 à 87,50 kg et les piquants et coupants ont varié de 0,60 à 16,80 kg.

La production moyenne des DASRI au niveau des différentes unités de soins de l'hôpital a été variable. Les fortes quantités ont été enregistrées aux services d'hémodialyse (50,33 kg/jour), les urgences (36 kg/jour) et l'obstétrique (30,77 kg/jour). Les faibles productions ont été observées au niveau des services d'ophtalmologie et chirurgie homme et femme (Importance quantitative des DASRI au niveau de l'hôpital régional de Tétouan, (RAOUI, 2018).

- Cas de la France

En France, il s'agit d'une production de 700 000 tonnes par an de déchets hospitaliers de toutes sortes, soit 3,5 % de la production nationale, pour un coût de traitement représentant de 2 à 5 euros par jour et par patient.

C'est pour cette raison que les établissements de soins ont pris conscience de leur rôle et ont mis en place une organisation de la collecte au traitement dont les services techniques et logistiques assurent le plus souvent la mise en œuvre et le contrôle.

- Cas de la ville de Nanjing (Chine)

Une enquête d'inspection complète a été menée auprès de 15 hôpitaux, 3 entreprises d'élimination et 200 patients. Des visites sur le terrain et une méthode d'enquête par questionnaire ont été mises en œuvre pour recueillir des informations concernant différents aspects de la gestion des déchets médicaux, notamment la production de déchets médicaux, la séparation, la collecte, le stockage, la formation, l'éducation, le transport, l'élimination et la sensibilisation du public.

Les résultats indiquent que le taux de production de déchets médicaux varie de 0,5 à 0,8 kg/jour/lit, avec une moyenne pondérée de 0,68 kg/jour/lit. La collecte sélective des différents types de déchets médicaux a été effectuée dans 73% des hôpitaux, mais 20% des hôpitaux utilisent encore du personnel non qualifié pour la collecte des déchets médicaux, et 93,3% des hôpitaux disposent de zones de stockage temporaire.

En outre, 93,3 % des hôpitaux ont assuré la formation du personnel, mais seuls 20 % des hôpitaux ont mis en place une formation et un enseignement continus. Il a été constaté que le système d'élimination centralisé a été construit sur la base de la technologie d'incinération, et que le coût d'élimination des déchets médicaux est d'environ 580 US\$/tonne soit 84910,84 DA/tonne.

Les zones problématiques de la gestion des déchets médicaux à Nanjing sont abordées en proposant quelques recommandations qui garantiront que les risques des déchets médicaux pour la santé et l'environnement sont minimisés (ZHANG,2009).

1.5. Textes et réglementations

1.5.1. Réglementations nationales

La législation nationale constitue une base sur laquelle on doit s'en référer pour améliorer les pratiques de traitement des déchets dans un pays. Des plans nationaux de gestion des déchets médicaux sont en cours d'élaboration dans de nombreux pays. À ce propos, un projet est financé depuis 2006 par l'Alliance mondiale pour les vaccins et la vaccination (GAVI) en collaboration avec l'OMS. Le but de ce projet est d'aider 72 pays à adopter une politique, une stratégie et un plan de gestion des déchets d'activités de soins (CICR, 2011).

La politique nationale de gestion des déchets s'inscrit dans le *Plan National d'Actions Environnementales et du Développement Durable* (PNAE-DD) qui s'est concrétisée par la promulgation de la loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, et consolidée dans la loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

La loi 01-19 qui a fixé les principes devant régir la gestion des déchets à travers le pays a défini les déchets d'activités de soins (DAS) comme faisant partie de la classe des déchets dits spéciaux.

Le décret exécutif n° 06-104 du 28 février 2006 a fixé la nomenclature des déchets spéciaux, comprenant les déchets spéciaux dangereux, lesquels incluent les déchets d'activités de soins à risque infectieux (DASRI). Cette nomenclature permet d'assurer une traçabilité des produits entrant dans leur composition.

La loi 01-19 a également institué un outil de gestion, de planification et d'aide à la décision, le *Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux* (PNAGDES) qui, en se basant sur l'état de la situation en matière de la gestion des déchets spéciaux, dégage des solutions adaptées pour le traitement de ce type de déchets. Ce plan se décline sous forme de schémas directeurs pour chaque wilaya. Pour permettre l'élaboration du PNAGDES, le ministère en charge de l'Environnement a procédé en 2002 à un inventaire exhaustif, notamment sur les déchets d'activités de soins. La production nationale en matière de déchets d'activités de soins était estimée à cette période à 22 000 tonnes par an. Ce plan initialement établi pour une période de (10) dix années, est actuellement, en cours d'actualisation pour la période 2014-2023. Pour une approche plus qualitative et dans le cadre de la nouvelle Stratégie Nationale de la Gestion Intégrée des Déchets (SNGID) à l'horizon 2035, l'Algérie s'est fixé des objectifs prenant en considération les principes de prévention et de gestion écologiquement rationnelle des déchets d'activités de soins. Les objectifs nationaux en la matière sont la maîtrise des quantités des déchets produites (gisements de déchets) et l'atténuation de leur impact sur la santé publique et sur l'environnement.

L'activité des établissements de soins génère des déchets de natures diverses faisant courir des risques sanitaires potentiels (infectieux, toxiques et/ou chimiques, radioactifs) au personnel de santé, aux patients et à la population. Ces déchets sont également porteurs de risques pour l'environnement (AND, 2019).

1.5.1.1. Les décrets exécutifs

1.5.1.1.1. Décret exécutif n° 2006-138 du 16 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 15 avril 2006

En vue des quantités élevées de déchets hospitaliers destinées au traitement par incinération, ce décret consiste à réglementer l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle.

1.5.1.1.2. Décret exécutif n° 03-477 du 15 Chaoual 1424 correspondant au 9 décembre 2003

En application des dispositions de l'article 14 de la loi n° 01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 susvisée, ce décret a pour objet de définir les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision du plan national de gestion des déchets spéciaux (Article 1^{er}).

Le plan national de gestion des déchets spéciaux est élaboré par une commission présidée par le ministre chargé de l'environnement (Article 2^{ème}).

Le plan national de gestion des déchets spéciaux est établi pour une période de dix (10) années. Il est révisé chaque fois que les circonstances l'exigent, sur proposition du ministre chargé de l'environnement ou à la demande de la majorité des membres de la commission chargée de l'élaboration du plan national de gestion des déchets spéciaux (Article 5^{ème}).

La commission chargée de l'élaboration du plan national de gestion des déchets spéciaux établit chaque année un rapport relatif à la mise en œuvre du plan national de gestion des déchets spéciaux (Article 6^{ème}).

1.5.2. Réglementations internationales

Plusieurs accords internationaux énonçant les principes fondamentaux relatifs à la santé publique, à la protection de l'environnement et à la gestion sécurisée des déchets dangereux ont été signés. Ces principes et conventions sont présentés ci-dessous et doivent être pris en considération lors de la planification de la gestion des déchets médicaux dangereux.

1.5.2.1. Convention de Bâle

Sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination (PNUE, 1992). La Convention de Bâle a pour objectifs principaux de réduire au minimum la production de déchets dangereux, de traiter ces déchets aussi près que possible du lieu de production et de réduire les mouvements de déchets dangereux. Elle stipule que le seul passage transfrontalier de déchets dangereux qui soit légitime est l'exportation de déchets depuis un pays qui manque d'infrastructure d'élimination sûre et d'expertise vers un pays qui en dispose.

1.5.2.2. Convention de Bamako

C'est un traité, signé en 1991 par 12 nations africaines, qui interdit l'importation en Afrique de tout déchet dangereux.

1.5.2.3. Convention de Stockholm

Cette convention s'intéresse aux polluants organiques persistants (PNUE, 2004). Elle vise à réduire la production et l'utilisation des polluants organiques persistants (POP), ainsi qu'à l'élimination des émissions involontaires de POP comme les dioxines et les furanes.

1.5.2.4. Principe du pollueur payeur

Tout producteur de déchets est responsable légalement et financièrement de l'élimination de ses déchets en toute sécurité pour les personnes et l'environnement, même dans le cas où certaines tâches sont sous-traitées.

1.5.2.5. Principe de précaution

Quand le risque est incertain, il doit être considéré comme significatif, et des mesures de protection doivent être prises en conséquence.

1.5.2.6. Principe de proximité

Le traitement et l'élimination des déchets dangereux doivent se faire le plus près possibles de leur production.

1.5.2.7. Agenda 21, plan d'action pour le 21e siècle

Ce plan a été adopté par 173 chefs d'État lors du sommet de la Terre qui s'est tenu à Rio en 1992. Il vise à réduire au minimum la production de déchets, réutiliser et recycler, traiter et éliminer par des méthodes sûres et respectueuses de l'environnement, déposer les résidus dans des décharges contrôlées.

1.5.2.8. Initiatives OMS et PNUE sur le mercure

Ces deux initiatives sur le mercure viennent appuyer la décision VIII/33 de la Conférence des Parties à la Convention de Bâle sur les déchets de mercure. Des mesures devaient être prises le plus rapidement possible pour identifier les populations à risque d'exposition au mercure et réduire les rejets d'origine humaine. L'OMS propose d'accompagner les pays dans la mise en œuvre de la stratégie qui prévoit, sur le long terme, l'interdiction des dispositifs contenant du mercure.

1.5.2.9. L'International Solid Waste Association

C'est un réseau international de spécialistes du traitement et de la gestion des déchets. Cette association a pour but l'échange d'informations et la promotion des stratégies modernes de gestion des déchets ainsi que des technologies d'élimination respectueuses de l'environnement. L'ISWA est actuellement présente dans plus de vingt pays et compte environ mille deux cents membres dans le monde (CICR, 2011).

1.6. Les risques et impacts des déchets hospitaliers sur la santé et sur l'environnement

1.6.1. Personnes potentiellement exposées

Toutes les personnes en contact avec des déchets médicaux dangereux sont potentiellement exposées aux différents risques qu'ils représentent, en l'occurrence le personnel de l'établissement, les visiteurs (malades, accompagnateurs, etc.) de l'hôpital ainsi que ceux qui manipulent ces déchets.

Les groupes de personnes potentiellement exposées sont donc : ceux à l'intérieur de l'hôpital tel le personnel de soins (médecins, pharmaciens, laborantins, infirmiers, auxiliaires de santé, etc.), le personnel scientifique, les brancardiers, les nettoyeurs, le personnel de la buanderie, les transporteurs, le personnel de la maintenance, les patients et les visiteurs, et ceux extérieurs à l'hôpital tel le personnel du transport externe, le personnel des infrastructures de traitement ou d'élimination, la

population générale entre autres les adultes ou les enfants qui récupèrent des objets trouvés autour de l'hôpital ou dans les décharges non contrôlées (CICR, 2011).

1.6.2. Risques liés aux déchets médicaux dangereux

On peut répartir les risques, pour la santé, liés aux déchets médicaux dangereux en cinq catégories : traumatique, infectieux, chimique, radioactif et d'incendie ou d'explosion. À ces catégories doit encore être ajouté le risque de pollution et de contamination de l'environnement.

1.6.2.1. Risques traumatiques et infectieux

Les déchets liés aux soins de santé constituent un réservoir de micro-organismes potentiellement dangereux, susceptibles d'infecter les malades hospitalisés, le personnel et le grand public. Les voies d'exposition sont multiples : par blessure (coupure, piqûre), par contact cutané ou contact avec les muqueuses, par inhalation ou par ingestion (CICR, 2011).

Les exemples d'infections pouvant être causées par les déchets médicaux dangereux sont donnés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Exemples d'infections pouvant être causées par des déchets médicaux dangereux (CICR, 2011).

Type d'infection	Agent causal	Vecteur de transmission
Infections gastro-entériques	Entérobactéries (Salmonella, Vibrio cholerae, Shigella, etc.)	Fèces, vomissures
Infections respiratoires	Mycobacterium tuberculoses, Streptococcus pneumonie, SRAS (syndrome respiratoire aigu sévère), virus de la rougeole	Sécrétions inhalées, salive
Infections oculaires	Virus de l'herpès	Sécrétions des yeux
Infections cutanées	Streptococcus	Pus
Charbon bactérien (anthrax en anglais)	Bacillus anthracis	Sécrétions cutanées
Méningite	Neisseria meningitidis	Liquide céphalo-rachidien
Sida	Virus de l'immunodéficience humaine	Sang, sécrétions sexuelles, autres liquides biologiques
Fièvres hémorragiques	Virus Lassa, Ebola, Marburg, Junin	Sang et sécrétions
Hépatite virale A	Virus de l'hépatite A Hépatites virales B et C	Virus de l'hépatite B et C Sang et autres liquides biologiques
Grippe aviaire	Virus H5N1	Sang, fèces

Certains accidents avec exposition au sang (AES) ou à d'autres liquides biologiques sont des exemples d'exposition accidentelle à des déchets médicaux dangereux.

En ce qui concerne les infections virales comme le sida et les hépatites B et C, c'est le personnel infirmier qui risque le plus d'être infecté par l'intermédiaire d'aiguilles contaminées. Avec les cultures de pathogènes, les déchets piquants et tranchants sont considérés comme les déchets médicaux les plus dangereux.

En 2000, l'Organisation Mondiale de la Santé estimait que, dans le monde, les accidents avec déchets piquants/tranchants ont causé 66000 cas d'infection par le virus de l'hépatite B, 16 000 cas d'infection par celui de l'hépatite C et 200 à 5000 cas d'infection par le VIH chez le personnel des structures de soins.

Certains déchets, comme les déchets anatomiques, ne représentent pas forcément un risque pour la santé ou l'environnement, mais doivent être traités comme déchets spéciaux pour des raisons éthiques ou culturelles.

Un autre risque infectieux potentiel est la propagation, à l'extérieur des établissements de soins, de microorganismes, parfois résistants, présents dans ces établissements. Ce phénomène est encore mal étudié à ce jour.

1.6.2.2. Survie des micro-organismes dans l'environnement

Les micro-organismes pathogènes ont une capacité limitée à survivre dans l'environnement. La survie dépend de chaque micro-organisme et des conditions environnementales (température, humidité, rayonnement solaire, disponibilité de substrat organique, présence de désinfectant, etc.). Les bactéries sont moins résistantes que les virus. On sait encore très peu de chose sur la survie des prions et des agents de maladies neurologiques dégénératives (Creutzfeldt-Jakob, Kuru, etc.) qui semblent être plus résistants que les virus (CICR, 2011). Le tableau 3 résume ce que l'on sait de la survie de différents pathogènes.

À l'exception des cultures de pathogènes en laboratoire et des excréta de patients infectieux, la concentration de micro-organismes dans les déchets médicaux n'est généralement pas plus élevée que dans les déchets ménagers. En revanche, la variété de micro-organismes est plus importante dans les déchets médicaux.

D'autre part, le temps de survie des micro-organismes dans les déchets médicaux est court, probablement à cause de la présence de désinfectants.

Dans l'évaluation du temps de survie des micro-organismes dans l'environnement, il faut aussi tenir compte du rôle de vecteurs comme les rats et les insectes. Ce sont des transporteurs passifs de pathogènes, et leur prolifération doit être contrôlée (CICR, 2011).

Tableau 3 : Temps de survie de certains pathogènes (CICR, 2011).

Micro-organisme pathogène	Temps de survie observé
Virus de l'hépatite B	Plusieurs semaines sur une surface dans de l'air sec. Une semaine sur une surface à 25°C. Plusieurs semaines dans du sang séché. 10 heures à 60°C. Survit à l'éthanol 70%.
Dose infectieuse des virus des hépatites B et C	1 semaine dans une goutte de sang dans une aiguille hypodermique.
Hépatite C	7 jours dans du sang à 4°C.
Virus VIH	3-7 jours à l'air ambiant. Inactivé à 56°C. 15 minutes dans l'éthanol 70%. 21 jours à température ambiante dans 2 µl de sang. Le séchage réduit de 90-99% la concentration de virus dans les heures qui suivent.

1.6.2.3. Risques biologiques associés à l'exposition aux déchets solides domestiques

Les conditions d'exposition étant souvent les mêmes pour les employés s'occupant des déchets domestiques ou médicaux, l'impact sur la santé des employés s'occupant des déchets domestiques peut être utilisé comme indicateur pour ceux qui sont chargés des déchets médicaux.

Différentes études dans des pays à haut revenu ont montré que les employés s'occupant des déchets domestiques ont, par comparaison avec la population générale, un risque d'infection 6 fois plus élevé, un risque de contracter une maladie pulmonaire allergique 2,6 fois plus élevé, un risque de contracter une bronchite chronique 2,5 fois plus élevé et un risque de contracter une hépatite 1,2 fois plus élevé.

Les maladies pulmonaires et les bronchites sont dues à l'exposition aux bioaérosols contenus dans l'air des décharges ou des lieux de stockage ou de traitement des déchets (CICR, 2011).

1.6.2.4. Risques chimiques

De nombreux produits chimiques et pharmaceutiques sont utilisés dans les structures de soins. La plupart représentent un risque pour la santé par leurs caractéristiques (toxiques, cancérigènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction, irritantes, corrosives, sensibilisantes, explosives, inflammables, etc.). Le contact avec ces produits peut se faire par différentes voies d'exposition : par inhalation de gaz, vapeurs ou gouttelettes, par contact cutané ou sur les muqueuses et par ingestion. Certains produits présentent des incompatibilités et peuvent générer des gaz toxiques lorsqu'ils sont mélangés (exemple : chlore et acides).

L'identification des dangers représentés par les substances ou préparations chimiques peut se faire sommairement grâce à l'étiquetage : pictogrammes, avertissements sur les risques ou mentions de danger. Des informations plus détaillées sont fournies dans la fiche de données de sécurité (FDS). Les figures 2 et 3 présentent des exemples d'étiquetage européen et international (Système général harmonisé, SGH).

Les produits de nettoyage et en particulier les désinfectants sont des exemples de produits chimiques dangereux présents en quantité dans les hôpitaux. La plupart sont irritants, voire corrosifs, et certains désinfectants peuvent être sensibilisants et toxiques à l'exemple du formaldéhyde.

Acétone

F - Facilement inflammable

R11 Facilement inflammable.

R36 Irritant pour les yeux.

R66 L'exposition répétée peut provoquer dessèchement ou gerçures de la peau.

R67 L'inhalation de vapeurs peut provoquer somnolences et vertiges.

Phrases de risque (phrases R)

Xi - Irritant

S9 Conserver le récipient dans un endroit bien ventilé

S16 Conserver à l'écart de toute flamme ou source d'étincelles. Ne pas fumer.

S26 En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste.

S46 En cas d'ingestion, consulter immédiatement un médecin et lui montrer l'emballage ou l'étiquette.

Conseils de prudence (phrases S)

Nom, adresse et numéro de téléphone de la société responsable en Suisse.

Figure 2 : Exemple d'étiquetage de produits chimiques. Système européen valable jusqu'en 2015 (CICR, 2011).

Cas du mercure

Le mercure est un métal lourd, très dense 13,5 kg/L, sous forme liquide à température et pression ambiantes. Il s'évapore très facilement et peut subsister jusqu'à une année dans l'atmosphère. Il s'accumule dans les sédiments, où il se transforme en un dérivé organique plus toxique qui est le méthylmercure. Le mercure est principalement présent dans les thermomètres, les tensiomètres, les amalgames dentaires, certaines piles, dans des composantes électroniques et dans des lampes fluorescentes ou fluocompactes. Les établissements de soins constituent l'une des principales sources de mercure dans l'atmosphère, due à l'incinération de déchets médicaux. Ils sont responsables de la pollution mercurielle des eaux de surface (CICR, 2011).

Le mercure est très toxique. Il n'existe pas de seuil en dessous duquel il ne se produirait aucun effet indésirable. Le mercure peut provoquer des intoxications mortelles en cas d'inhalation (La maladie

causée par une exposition au mercure s'appelle l'hydrargyrisme). Il est également nocif en cas d'absorption transcutanée et a des effets néfastes sur la grossesse.

Cas de l'argent

L'argent est un autre élément toxique présent dans les hôpitaux (bains photographiques). Il est bactéricide. Les bactéries qui développent des résistances à l'argent seraient également résistantes aux antibiotiques.

Acétone	
H225	Liquide et vapeurs très inflammables.
H319	Provoque une sévère irritation des yeux.
H335	Peut provoquer somnolence ou vertige
EUHD55	L'exposition répétée peut provoquer dessèchement ou gerçures de la peau.
P210	Tenir à l'écart de sources d'inflammation. Ne pas fumer.
P361	Eviter de respirer les vapeurs.
P403/333	Stocker dans un endroit bien ventilé. Maintenir le récipient fermé de manière étanche.
P305/351/338	En cas de contact avec les yeux: rincer avec précaution à l'eau pendant plusieurs minutes. Enlever les lentilles de contact si la victime en porte et si elles peuvent être facilement enlevées. Continuer à rincer.
Nom, adresse et numéro de téléphone de la société responsable en Suisse.	

Mentions de danger (phrases R)

Conseils de prudence (phrases S)

Figure 3 : Exemple d'étiquetage de produits chimiques selon le nouveau système SGH (international) (CICR, 2011).

Il existe aussi un risque pour la santé publique lié au commerce et à l'utilisation de médicaments périmés lorsque ce type de déchets n'est pas contrôlé.

1.7. Risques liés au traitement et au dépôt inadéquats des déchets médicaux dangereux

1.7.1. Risques liés à l'incinération

Dans certains cas, notamment lorsque les déchets sont incinérés à basse température, moins de 800°C, ou que des matières plastiques contenant du polychlorure de vinyle (PVC) sont incinérées, il se forme de l'acide chlorhydrique (responsable des pluies acides), des dioxines, des furanes et divers autres polluants aériens toxiques. On les retrouve dans les émissions mais aussi dans les cendres résiduelles

et les cendres volantes (transportées par l'air et les gaz effluents qui sortent de la cheminée de l'incinérateur). L'exposition aux dioxines, aux furanes et aux PCB (polychlorobiphényles) coplanaires peut avoir des effets dommageables pour la santé.

Ces substances sont persistantes, c'est-à-dire que ces molécules ne sont pas dégradées dans l'environnement, et qu'elles s'accumulent dans la chaîne alimentaire. La plus grande partie de l'exposition humaine aux dioxines, aux furanes et aux PCB coplanaires est due à l'alimentation.

Même dans les incinérateurs à température élevée (plus de 800°C), il se trouve, au début ou à la fin de l'incinération, des poches moins chaudes dans lesquelles peuvent se former des dioxines et des furanes. L'optimisation du processus peut diminuer la formation de ces substances si, par exemple, on fait en sorte que l'incinération n'ait lieu qu'à des températures supérieures à 800°C, et si l'on évite la formation de gaz de combustion à 200-450°C.

Enfin, l'incinération de métaux ou de matériels à forte teneur en métaux (en particulier plomb, mercure et cadmium) peut conduire au rejet de métaux dans l'environnement (CICR, 2011).

1.7.2. Risques liés au dépôt ou à la mise en décharge non contrôlés

L'enfouissement et la mise en décharge sauvage dans des sites non contrôlés peuvent avoir, en plus des risques cités précédemment, des effets environnementaux directs en termes de pollution du sol et des eaux.

1.7.3. Risques liés au déversement des eaux usées non traitées

Une mauvaise gestion des eaux usées et des boues d'épuration peut entraîner une contamination des eaux et des sols par des pathogènes ou des produits chimiques toxiques. La mise à l'égout de résidus chimiques ou pharmaceutiques peut entraîner des conséquences sur le bon fonctionnement des stations d'épuration biologique ou des fosses septiques. Ces rejets peuvent être à l'origine d'une pollution de l'écosystème et des eaux. Les antibiotiques et leurs métabolites sont excrétés dans l'urine et les fèces des patients traités et finissent dans les eaux usées. Les eaux usées des hôpitaux contiennent deux à dix fois plus de bactéries résistantes aux antibiotiques que les eaux domestiques.

Ce phénomène contribue à l'émergence et à la propagation de pathogènes comme le SARM (staphylocoque doré résistant à la méthicilline) (CICR, 2011).

Chapitre 2 :
Etude de la gestion des
déchets

2.1. Gestion des DAS

La gestion des DAS comprend une succession d'étapes standardisées depuis la production du déchet jusqu'à son élimination finale (Figure 4). Elles se résument comme suit :

- Tri et conditionnement des déchets ;
- Collecte et stockage ;
- Transport ;
- Traitement et élimination.

2.1.1. Le tri et conditionnement

2.1.1.1. Principes du tri

Le tri consiste en une identification claire des différentes catégories de déchets et des moyens de séparation. La séparation des déchets s'opère en fonction de la nature du risque (infectieux, chimiques et /ou toxiques, radioactifs, etc.) dans un conditionnement adapté aux propriétés physiques du déchet (OPCT, solide, mou, liquide). Ce dernier reçoit un code couleur correspondant à la typologie du déchet et le respecter tout au long de la procédure de gestion du déchet :

- ✓ Déchets ménagers et assimilés (couleur noire) ;
- ✓ Déchets d'activités de soins à risque infectieux (couleur jaune) ;
- ✓ Déchet à risque chimique et toxique (couleur rouge) ;
- ✓ Déchet anatomique humain identifiable (couleur verte) ;
- ✓ Déchet à risque radioactif (couleur blanche) (AND, 2019).

Le tri à la source consiste à mettre en place un système de séparation des déchets en fonction de leur typologie, sur le lieu-même de leur production, au moment de la réalisation d'un soin (Manuel de gestion des déchets médicaux, 2011). Il permet d'orienter chaque type de déchet vers la filière d'élimination appropriée, dans un conditionnement adapté. Il permet d'assurer la sécurité des personnes et de maîtriser les risques, dans le respect des règles d'hygiène. Il aide également à réduire les coûts de l'élimination des DAS (AND, 2019).

2.1.2. Comment trier ?

La figure 4 illustre la manière dont les déchets d'activités de soins sont gérés jusqu'au traitement final, néanmoins la façon la plus simple d'identifier les différentes catégories de déchets et d'encourager le tri est de séparer les déchets dans des conteneurs ou des sacs en plastique de différentes couleurs et/ou marqués d'un symbole. Les recommandations internationales sont indiquées dans le tableau 4.

Un système de tri à trois conteneurs, contenant respectivement les piquants/tranchants, les déchets potentiellement infectieux et les déchets ménagers ou dit aussi domestique, est un premier pas efficace, facile à mettre en œuvre, et qui permet de réduire drastiquement les risques les plus importants.

LES PROCÉDURES DE GESTION DES DÉCHETS D'ACTIVITÉS DE SOINS (DAS)

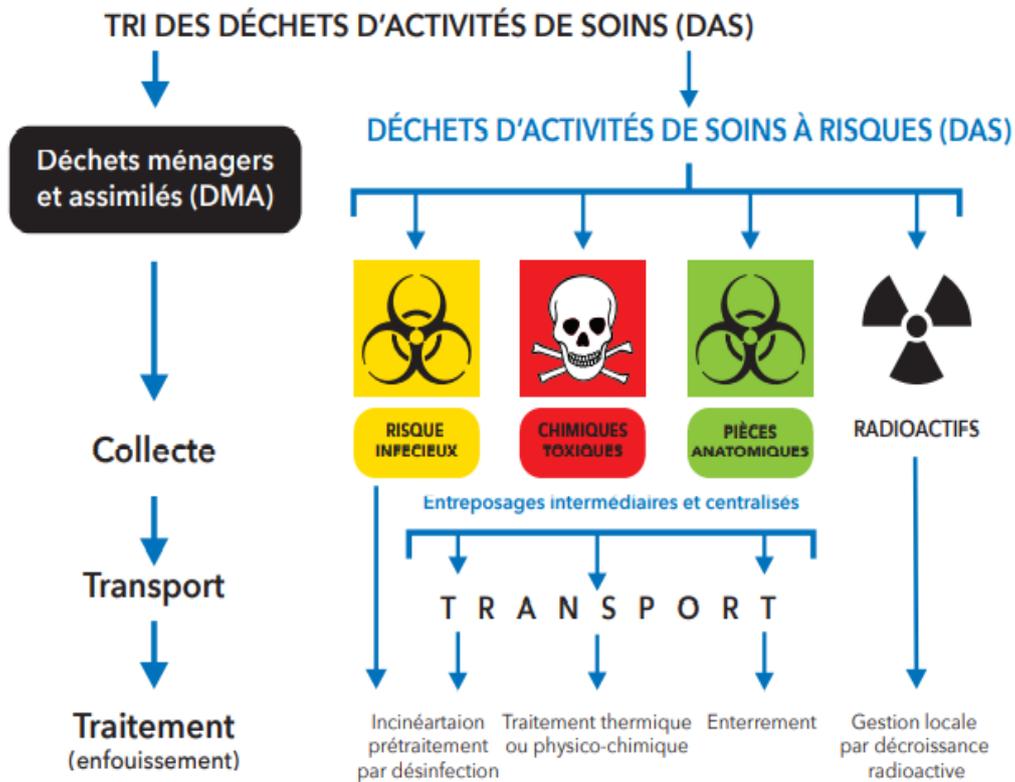


Figure 4 : Les différents procédés de gestion des déchets d'activités de soins (AND, 2019).

Tableau 4 : Recommandations pour le codage (OMS – PNUE/SCB 2005).

Catégorie de déchet	Codage couleur-symbole	Types de conteneurs
Déchets ménagers	Noir	Sac plastique
Déchets piquants/tranchants	Jaune et 	Conteneur à piquant/tranchant
Déchets infectieux	Jaune et 	Sac plastique
Déchets anatomiques	Vert et 	Conteneur
Déchets à risques chimiques et toxiques	Rouge et 	Sac plastique, conteneur

Les déchets ménagers, stockés dans les sacs noirs, suivront la même filière que les déchets municipaux. Mais avant cela, il s'agira de séparer à la source les recyclables et les compostables.



Figure 5: Un sac noir (CICR, 2011).

Les sacs seront mis soit dans des conteneurs rigides soit sur des supports à roulettes. Dans certains contextes, si l'on ne dispose pas de sacs en plastique, les conteneurs seront lavés et désinfectés après avoir été vidés (solution à 5% de chlore actif).



Figure 6: Support à roulettes pour sacs plastique (CICR, 2011).



Figure 7: Conteneur à piquant/tranchants (CICR, 2011).

Un stock de sacs et de conteneurs doit être à disposition, et en quantité suffisante, partout où des déchets sont produits. Cette responsabilité incombe au responsable local des déchets et à l'administrateur médical.

Pour des raisons culturelles ou religieuses, les déchets anatomiques collectés dans des sacs conteneurs vert, ces derniers doivent être traités selon les coutumes locales, le plus souvent ensevelis.

Les déchets chimiques et pharmaceutiques seront triés et collectés séparément. Les sous-catégories incluent : les déchets de mercure, les ampoules, les piles, les bains photographiques, les substances chimiques de laboratoire, les pesticides, les médicaments (CICR, 2011).

2.1.3. Collecte et stockage des déchets

2.1.3.1. Collecte primaire

Les déchets doivent être collectés régulièrement, au minimum une fois par jour. Ils ne doivent pas s'accumuler à l'endroit où ils sont produits. Un programme quotidien et un circuit de collecte doivent être planifiés. Chaque catégorie de déchets sera collectée et stockée séparément.

Les déchets à caractère infectieux ne doivent en aucun cas être stockés dans des lieux ouverts au public. Les employés chargés de la collecte et du transport des déchets doivent être informés de ne prendre que les sacs jaunes et les conteneurs à piquants/tranchants qui ont été fermés par le personnel de soins. Ils doivent porter des gants (CICR, 2011).

2.1.3.2. Caractéristiques des locaux d'entreposage

Selon le décret exécutif n°03-478 du 9 décembre 2003 qui fixe les prescriptions suivantes pour les locaux de stockage de déchets :

- Réservés uniquement à l'entreposage des déchets d'activités de soins,
- Doivent être ventilés, éclairés, à l'abri des intempéries et de la chaleur,
- Dotés d'arrivée d'eau et d'évacuation des eaux usées,
- Nettoyés après chaque enlèvement et être désinfectés périodiquement,
- Doivent être fermés et gardés afin d'éviter l'accès de toutes personnes non autorisées,
- Les déchets ne doivent en aucun cas être déposés en dehors des locaux de regroupement.

Les Directives nationales pour l'hygiène de l'environnement des établissements de santé publics et privés (2015) précisent que ces locaux :

- ✓ Ne doivent recevoir que des déchets préalablement conditionnés dans des emballages conformes.
- ✓ Doivent avoir des revêtements de surfaces (sols et murs) adaptés aux produits de nettoyage et de désinfection.
- ✓ Implantés, construits, aménagés et exploités de façon à assurer une sécurité optimale contre les risques de dégradation, de vol, de pénétration d'animaux, et contre les risques d'incendie.

Il est par conséquent nécessaire de prévoir une aire pour le lavage des conteneurs de déchets dans ou à proximité du local d'entreposage des déchets. Outre les critères énoncés ci-dessus, il peut être nécessaire, lors de certaines situations, que le local de stockage dispose d'une climatisation en mode chauffage notamment (CICR, 2011).

2.1.4. Transport des déchets

Dans la mesure du possible, les moyens utilisés pour le transport doivent être réservés à cet effet et être différents pour chaque catégorie de déchets par exemple, une brouette pour les déchets ménagers

et une pour les déchets médicaux. Ces moyens doivent répondre aux exigences suivantes : (1) Chargement et déchargement faciles, (2) ne comportant aucun angle ou bords tranchants pouvant déchirer les sacs ou abîmer les conteneurs, (3) faciles à nettoyer avec une solution à 5% de chlore actif et (4) clairement identifiés.

Les moyens de transport externe doivent être : (1) fermés pour éviter tout déversement sur la chaussée, (2) équipés d'un système de sécurisation de la charge pour éviter tout renversement à l'intérieur et à l'extérieur du véhicule et (3) signalés selon la législation en vigueur. Lorsque la charge dépasse 333 kg, les moyens de transport sont nettoyés quotidiennement.

2.1.4.1. Transport interne

Les moyens de transport interne à l'établissement peuvent être de plusieurs sortes : brouettes, conteneurs sur roulettes, chariots.

Le transport interne des déchets doit se faire pendant les périodes de basse activité. Le trajet doit être planifié pour éviter toute exposition du personnel, des patients et du public. Il faudra minimiser le passage à travers les zones propres (stérilisation), les zones sensibles (bloc opératoire, soins intensifs) et les zones publiques (CICR, 2011).

2.1.4.2. Transport externe

Le producteur de déchets est responsable de l'emballage et de l'étiquetage des déchets à transporter à l'extérieur de l'hôpital.

L'emballage et l'étiquetage doivent être conformes à la législation nationale en matière de transport des matières dangereuses et à la Convention de Bâle lorsqu'il s'agit de transports transfrontaliers.

S'il n'y a pas de législation nationale, se référer aux recommandations des Nations Unies relatives au transport des marchandises dangereuses ou à l'Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route.

Dans le cas où le véhicule transporte moins de 333 kg de déchets médicaux avec danger de contamination (UN 3291), la signalisation du véhicule n'est pas obligatoire. Sinon, le véhicule devra être équipé de plaques de signalisation (CICR, 2011).

2.1.4.3. Transport transfrontalier

L'exportation de déchets est strictement réglementée par la Convention de Bâle. Il faut se renseigner dans chaque pays sur les dispositions en vigueur. Par exemple, pour le Pakistan, qui est signataire de la Convention de Bâle mais pas de ses amendements, les exigences sont inscrites dans le *Pakistan Environmental Protection Act – 1997*.

Selon la Convention de Bâle, les déchets cliniques provenant de soins médicaux dispensés dans des hôpitaux, centres médicaux et cliniques ont le code Y1. Les déchets de médicaments, le code Y3. Les déchets issus de la production, de la préparation et de l'utilisation de produits et matériels photographiques, le code Y16 (CICR, 2011).

2.1.5. Traitement et élimination

2.1.5.1. Choix des méthodes de traitement et d'élimination

Le choix des techniques de traitement et d'élimination dépend de nombreux paramètres : quantité et type de déchets produits, présence ou non d'un site de traitement des déchets à proximité de l'hôpital, acceptation culturelle des modes de traitement, présence de moyens de transport fiables, espace suffisant autour de l'hôpital, disponibilité de ressources financières, matérielles et humaines, approvisionnement en courant fiable, existence d'une législation nationale, climat et niveau de la nappe phréatique, etc.

Le choix doit être fait en ayant comme objectif principal la minimisation des impacts négatifs sur la santé et sur l'environnement. Il n'existe pas de solution universelle de traitement. Le choix ne peut être qu'un compromis dépendant des conditions locales. En l'absence d'infrastructure de traitement adéquate à proximité, il est de la responsabilité de l'hôpital de traiter ou prétraiter ses déchets sur le site. Ceci présente aussi l'avantage d'éviter les complications liées au transport de matières dangereuses (CICR, 2011).

2.1.5.2. Types de traitement

Les techniques de traitement ou d'élimination qui suivent peuvent être appliquées aux déchets médicaux dangereux, en fonction de la situation et du type de déchets :

- Désinfection chimique par adjonction de désinfectants tels que le dioxyde de chlore, l'hypochlorite de sodium, l'acide peracétique, l'ozone, l'hydrolyse alcaline,...
- Désinfection thermique ou incinération
- Désinfection par irradiation UV ou faisceaux d'électrons ;
- Désinfection biologique par l'emploi d'enzymes ;
- Procédés mécaniques par déchiquetage ;
- Encapsulation des déchets perforants ;
- Enfouissement en décharge contrôlée, tranchées ou fosses.
- Méthanisation
- Compostage
- Inactivation thermique (le broyage-stérilisation ou l'autoclave)

Les techniques les plus utilisées dans les structures de santé susceptibles d'être soutenues par le CICR sont décrites dans ce chapitre, avec leurs avantages et leurs inconvénients (CICR, 2011).

2.1.5.2.1. Désinfection thermique ou incinération

A. Description d'un incinérateur type

L'incinération est une méthode d'élimination des déchets qui consiste à brûler à haute température (entre 850°C et 1000°C). Aussi connu sous le nom de traitement thermique. Cela dépend s'il y a récupération d'énergie pendant le processus de combustion ou non. Elle doit être accompagnée d'un traitement efficace des fumées. L'incinération peut réduire de 70 % la masse et le volume des déchets entrants (AIT AHSENE, 2015).

La plupart des incinérateurs sont conçus selon le même modèle, mais intègrent certaines variations dans les systèmes de filtration et/ou de contrôle de la pollution. La figure 8 montre différentes parties d'un incinérateur moderne équipé de plusieurs étages de contrôle de la pollution par les gaz d'échappement (ABAD et al., 2002).

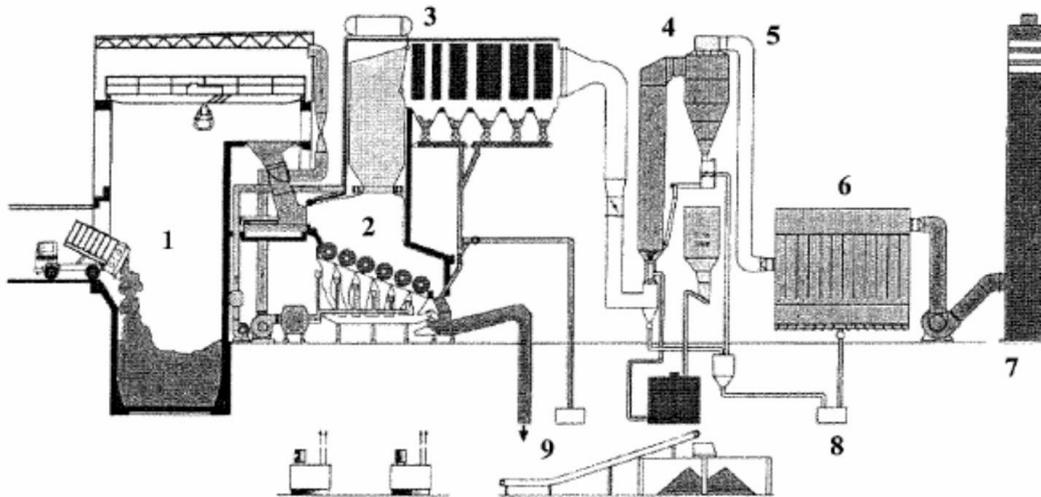


Figure 8 : Schéma d'un incinérateur (ABAD et al., 2002).

Légende :

Réservoir à déchets (1), Four (2), Chaudière (3) - récupération d'énergie -, Injection d'adsorbants et cyclone (4), Ajout de carbone activé (5), Filtres à manches (6), Cheminée (7), Traitement des cendres volantes (8), Traitement des mâchefers (9)

Sur le plan environnement et technique l'incinération est une méthode supérieure de disposition de déchets offrant : fiabilité, sûreté et efficacité. L'incinération décompose thermiquement la matière par oxydation et réduisant au minimum les déchets, et détruisant de ce fait leur toxicité. L'oxydation est souvent appelée « incinération ».

Tous les composés organiques volatiles peuvent être transformés par oxydation totale en composés inorganiques. Selon la composition élémentaire du composé organique volatil (COV) à détruire, soit un mélange contenant CO₂, H₂O, mais aussi les produits d'oxydation d'autres atomes (Azote : NO, chlore : HCl, soufre SO₂ ...). Ces derniers sont des polluants secondaires qu'il faut prendre en compte.

B. Paramètres à respecter et conditions de combustion

Plusieurs paramètres sont importants à prendre en considération afin d'optimiser l'oxydation thermique ou catalytique pour améliorer le rendement d'épuration (taux de destruction des COV dans l'incinérateur) :

- **Température**

Il est généralement admis que la température de combustion est de 850 °C au plus

- **Temps de séjour**

Pour les solides, la taille du four (diamètre, longueur) et sa vitesse de rotation qui définit le temps de séjour, généralement supérieure à 1 h. Il est de 2 secondes dans le post combustion, c'est le temps durant lequel les gaz sont maintenus à une température élevée. En pratique, le temps de séjour moyen est déterminé par la relation :

$$\text{Temps de séjour} = V/Q$$

Où : Q représente le débit en volume de gaz produit par la charge incinérée et V le volume de la chambre de combustion.

- **Turbulence**

La turbulence permet le mélange intime des combustibles et de l'air comburant tout en évitant les substances non brûlées. La réglementation exige que les gaz de combustion contiennent au moins 6 % d'oxygène. Ces gaz ne doivent pas contenir plus de 100 mg /N m³ de monoxyde de carbone. Les mâchefers en sortie de four ne doivent pas receler plus de 5% d'imbrûlés. (MCKAY, 2002 et AIT AHSENE ,2015).

- **Energie d'activation**

C'est la quantité d'énergie nécessaire pour initier le processus chimique. En effet, pour démarrer ce processus, on doit souvent faire face à une barrière énergétique (c'est-à-dire apporter un minimum d'énergie pour le démarrage). Cette quantité est exprimée, selon le système international d'unités, en kJ/mol (kilojoules par mole de réactif). Elle peut être diminuée en présence d'un catalyseur.

- **Teneur en oxygène**

Elle doit être toujours suffisante pour que la réaction puisse se produire (mélange homogène).

- **Concentration en polluants**

Elle est imposée par le procédé en amont. Toutefois il est préférable qu'elle ne soit pas trop faible pour limiter l'apport de gaz d'appoint nécessaire au maintien de la température d'oxydation.

La bonne combustion est régie par la "règle des trois T" qui définit les paramètres essentiels suivants : « Température, Turbulence, Temps de séjour » (CHAABANE, 2010), Tableau 5.

Outre le principe des *3T*, les incinérateurs modernes doivent également répondre aux exigences de l'oxygène par rapport à la quantité de déchets. Le manque d'oxygène peut conduire à la combustion incomplète des déchets ; tandis qu'un excès d'oxygène peut favoriser la formation *Dioxine /Furane*.

Cette combustion massive (figure 9) produit principalement des cendres minérales et des gaz de combustion. Sous le nom de "fumée", on met tous les gaz et poussière en suspension à la sortie du four. Ces fumées sont principalement composées de constituant de l'air, de gaz de combustion, de polluants gazeux (CO, NO, NO₂, SO₂, HCl, HF, métaux volatils, PCDD/F) et de particules (suies, combustible imbrûlé, cendres volantes, particules issues de la condensation homogène ou hétérogène d'espèces volatiles ou semi-volatiles (PCDD/F)) (AIT AHSENE ,2015).

a. Effluents gazeux

La fumée de l'incinération contient beaucoup de substances gazeuses. Typiquement, les produits d'une réaction de combustion complète sont le dioxyde de carbone et l'eau. Cependant, ces conditions idéales ne peuvent pas être remplies dans le cas de l'incinération des déchets, qui conduisent également à la formation de CO et d'autres composés organiques volatils. De plus, à la sortie de la chaudière, tous les gaz acides ne sont pas neutralisés et les métaux les plus volatils sont encore en phase vapeur.

b. Résidus liquides

Dans les usines d'incinération, l'eau est utilisée pour éteindre et refroidir les mâchefers et peut être utilisée dans les unités de traitement des fumées. Approximativement 0,3 à 0,8 m³ d'eau sont nécessaires à l'extinction des mâchefers d'une tonne de déchets.

Une étude est réalisée sur un incinérateur allemand, indique que cette eau présente un caractère basique, et des concentrations en métaux lourds acceptables. L'eau provenant du système de lavage des fumées a des caractéristiques tout à fait différentes et doit donc faire l'objet d'un traitement avant d'être rejetée.

c. Résidus solides

Cendres : La combustion de carburant libère de fines particules solides de poussière et de suie dans l'atmosphère. Ce sont les sous-produits les plus toxiques et représentent 3 % de la masse des déchets qui entrent dans l'incinérateur.

Tableau 5 : Paramètres nécessaires à une bonne combustion (CHAABANE, 2010).

Température	<p>En général, de l'ordre de 850 °C à 900 °C. La plupart des équilibres thermodynamiques de la combustion sont favorisés par la température.</p> <p>< 1200 °C : c'est à partir de cette température que certaines substances minérales se ramollissent et forment des cendres dites collantes.</p> <p>> 1200 °C : combustion de certains déchets difficilement auto combustibles, notamment les polychlorobiphényles, les phénols, etc.</p>
Temps de séjour	<p>Calculé pour permettre la combustion complète des déchets. Le temps de séjour moyen est déterminé par la relation $T= V/Q$ avec Q le débit en volume de gaz produit par la charge incinérée et V le volume de la chambre de combustion.</p> <p>Varie de 1/2 h à 3 h pour les déchets solides (60 minutes en moyenne).</p> <p>Pour les déchets liquides, fonction de la qualité de la pulvérisation (quelques secondes).</p>
Turbulence	<p>Permet de maintenir l'homogénéité du mélange gazeux par un mélange intime des combustibles et de l'air comburant.</p> <p>Permet d'éviter la présence de zones froides qui diminueraient les vitesses de réaction.</p> <p>Elle peut être réalisée : soit directement dans les brûleurs par injection d'effluents, (la viscosité du produit doit permettre une bonne atomisation et par la suite un mélange rapide avec l'air comburant soufflé à grande vitesse), soit dans les fours grâce à des aménagements divers (inversion de parcours des fumées, dispositions judicieuses d'injections d'air et de produits).</p>

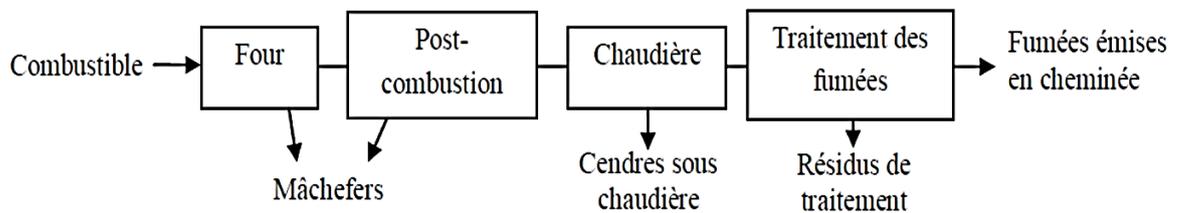


Figure 9: Schéma global des polluants générés (AIT AHSENE ,2015).

Mâchefers : Les mâchefers sont des résidus solides récupérés au fond d'un incinérateur. En tonnage, ils représentent 1/3 des déchets incinérés. Ils se présentent sous la forme d'un magma de cendres grisâtre, cassant, non uniforme, avec beaucoup de déchets métalliques, des résidus minéraux incombustibles et des imbrûlés résultant de la combustion imparfaite de certains constituants peu combustibles ou trop chargés en eau lors de leur introduction dans le four. Les mâchefers contiennent une proportion importante de carbone non brûlé et d'autres impuretés (AIT AHSENE ,2015).

C. Traitement des vapeurs et des fumées

Traitement physique : Quatre systèmes de dépoussiérage des fumées sont utilisés : les cyclones, les filtres électrostatiques, les filtres à manches et le laveur Venturi.

Étant donné que les PCDD/F peuvent se former dans ces systèmes de filtration, il est important de connaître les gammes de température et le temps de séjour général de ces systèmes.

Auparavant, des filtres électrostatiques étaient installés pour bloquer les particules sensibles à l'électricité statique (métaux lourds qui se subliment à basse température autres que le plomb et le mercure). Le principe de fonctionnement du filtre électrostatique est basé sur le phénomène physique de la précipitation électrostatique. Le temps de séjour maximal des cendres volantes est de 2 heures et la température de fonctionnement est généralement comprise entre 200 et 350 °C (HUANG & BUEKENS,2001).

Les particules sont chargées par la décharge électrique et sont attirées vers la plaque chargée positivement. Les filtres à manches sont plus couramment utilisés aujourd'hui, et les filtres à manches consistent en une rangée de sacs filtrants en feutre ou en tissu suspendus dans une boîte. Le gaz pollué traverse les manches et les poussières sont retenues en formant une couche à la surface de la manche. La poussière est régulièrement séparée en soufflant de l'air comprimé. Les températures peuvent varier de 125°C à plus de 260°C et le temps de séjour des cendres volantes peuvent atteindre 30 min (STANMORE, 2004).

Dans le cas du cyclone, les températures peuvent atteindre 300°C. Le gaz pollué est soumis à un mouvement de rotation et sous l'effet de la force centrifuge, les particules se dirigent vers les parois du cyclone où elles s'agglomèrent et sont transportées sous l'effet de leur masse dans une trémie.

Le Venturi quant à lui est constitué d'un convergent, d'un col et d'un divergent. C'est un dispositif qui permet d'accélérer un courant gazeux à très grande vitesse. Le piégeage des poussières s'effectue sur un liquide injecté dans le col (Figure 10).

Par action des forces centrifuges le liquide se sépare du mélange gazeux pour le recueillir.

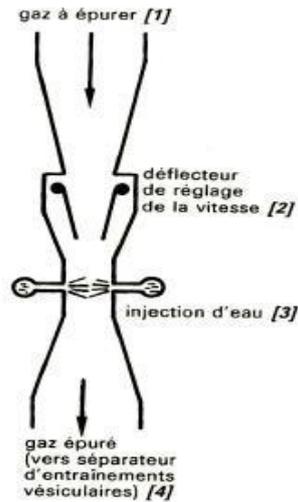


Figure 10: Laveur Venturi convergent (GUENANE, 2020).

Traitement chimique : La neutralisation : élimination des poussières, métaux lourds et gaz acides (la neutralisation se fait par voie sèche, semi-humide, humide et combiné humide/semi humide).

A titre illustratif, nous présentons en figure 11 le schéma d'une installation d'incinération équipée d'un dépoussiéreur et d'un procédé humide de traitement de fumées. (Le terme MIOM signifie mâchefers d'incinération d'ordures ménagères) (GUENANE, 2020).

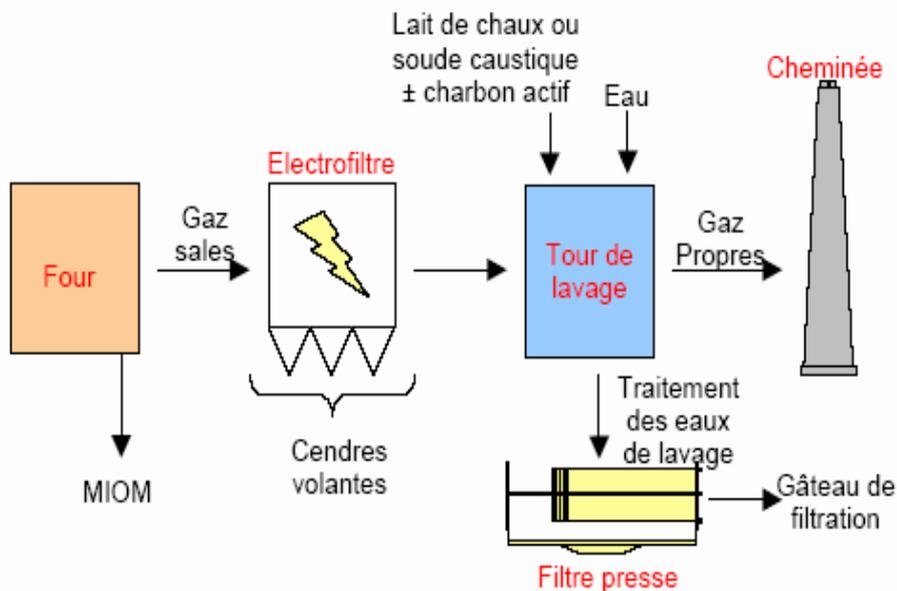


Figure 11 : Procédé humide de traitement des fumées (double filtration) (GUENANE, 2020).

Procédés classiques de neutralisation

a- Epuration par voie sèche (calcique)

L'épuration par voie sèche consiste à injecter dans le réacteur un réactif alcalin (chaux) sous forme solide afin d'assurer la neutralisation des gaz acides (SO₂, HCl, HF).

Le procédé sec classique est structuré en deux modules et comprend un réacteur de neutralisation des gaz acides, dans lequel est injecté le réactif et qui permet un temps de contact des fumées de 2 à 6 secondes ainsi qu'un système de dépoussiérage final (électrofiltre ou filtre à manches) qui permet de capter les poussières et sels produits par la neutralisation, et le réactif en excès (GUENANE, 2020).

b- Epuration par voie humide

Le principe du procédé humide est de capter les polluants en favorisant un contact intime entre les gaz et une solution de lavage, elle-même pulvérisée à l'intérieur d'un laveur. Le procédé humide est constitué généralement de plusieurs modules, la section de lavage constituant l'élément principal du procédé (GUENANE, 2020).

c- Systèmes de dépoussiérage

Pour éviter les problèmes d'encrassement dans le système de lavage, les gaz doivent être préalablement dépoussiérés, dans ce cas, le dépoussiérage n'a aucune fonction de neutralisation, il est courant d'utiliser un électrofiltre (GUENANE, 2020).

d- Refroidissement

Avant d'être neutralisés par lavage, les gaz doivent être préalablement saturés. La saturation s'effectue dans un conduit (Quench) à l'intérieur duquel est pulvérisée une grande quantité d'eau. Une partie de cette eau s'évapore immédiatement, ce qui a pour effet immédiat, outre la saturation des gaz, d'abaisser la température des fumées aux alentours de 65 °C.

Le débit d'eau évaporée dans la section de refroidissement correspond au débit utile à la saturation adiabatique des gaz, le surplus s'écoule par gravité vers le pied du laveur. Des laveurs Venturi (Venturi saturateurs) sont également utilisés pour assurer le refroidissement et la saturation des gaz (GUENANE, 2020).

e- Section de lavage à un ou deux étages d'absorption

La section de lavage assure plusieurs fonctions :

- Compléter le dépoussiérage opéré dans l'électrofiltre ;
- Capturer les métaux (Hg et Cd gazeux) condensés lors du refroidissement ;
- Capturer les gaz acides HCl, HF et SO₂.

f- Nature des réactifs

Le choix du réactif dépend de la nature des polluants à capter. Pour capter le HCl une solution d'eau s'avère très efficace, l'utilisation d'un réactif basique permet d'améliorer la captation. Pour capter le SO₂ en plus du HCl, il faut utiliser un réactif basique.

La chaux est parfois utilisée mais présente des risques de colmatage de la colonne liés à une faible solubilité. L'utilisation d'une base forte telle que la soude améliore la captation de SO_2 et évite les problèmes de colmatage vue sa très bonne solubilité dans l'eau (GUENANE, 2020).

D. Types d'incinérateurs

Incinérateurs à four rotatif : Les fours rotatifs sont particulièrement très largement appliqués pour l'incinération des déchets dangereux. La technologie est aussi couramment utilisée pour les déchets hospitaliers, et moins pour les déchets urbains.

Ils sont constitués d'un cylindre incliné par rapport à l'horizontale dans lequel les déchets progressent sous l'effet de la gravité et de la rotation. L'efficacité du procédé repose sur le retournement et le brassage des solides et de l'air comburant.

Les températures de fonctionnement des fours rotatifs utilisés pour les déchets vont d'environ $500\text{ }^\circ\text{C}$ à $1450\text{ }^\circ\text{C}$. Ce type de système d'incinération de four rotatif est donné dans la figure 12.

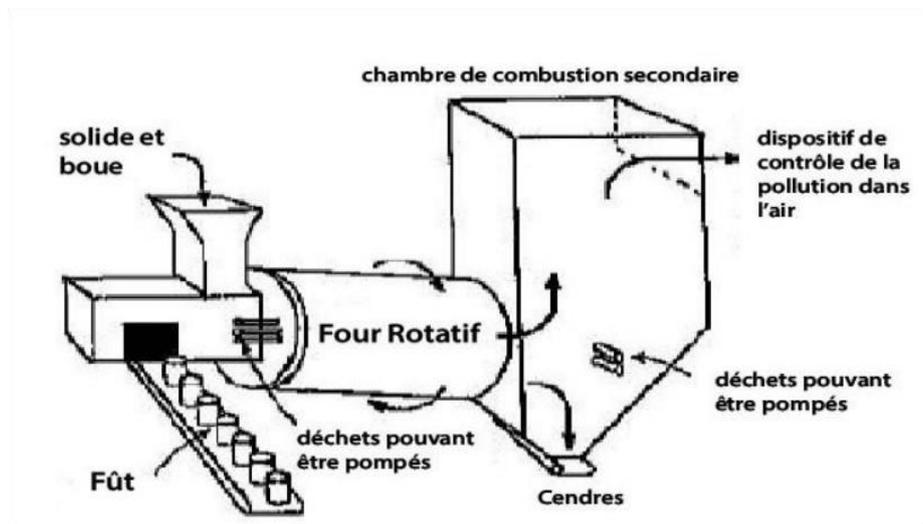


Figure 12 : Schéma d'un d'incinérateur à four rotatif (GUENANE, 2020).

Incinérateurs à Bains fluidisés : Ce genre de four est bien adapté à l'incinération de boues industrielles et urbaines. Un four à lit fluidisé est une enceinte verticale fermée, de forme cylindrique, contenant un lit de sable très chaud (entre $750\text{ }^\circ\text{C}$ et $800\text{ }^\circ\text{C}$) maintenu en suspension par un courant d'air ascendant injecté à sa base au travers d'une grille de répartition. Les déchets sont injectés directement via une pompe ou introduits dans la partie supérieure du four. Un procédé de combustion normal a besoin d'air (oxygène). Si la quantité d'air (oxygène) est trop basse, la combustion sera incomplète. S'il y a trop d'air, l'air refroidit la chambre de combustion. Donc, il faut un taux d'oxygène optimal pour une bonne combustion. Un exemple de ce type d'incinérateur est présenté dans la figure 13.

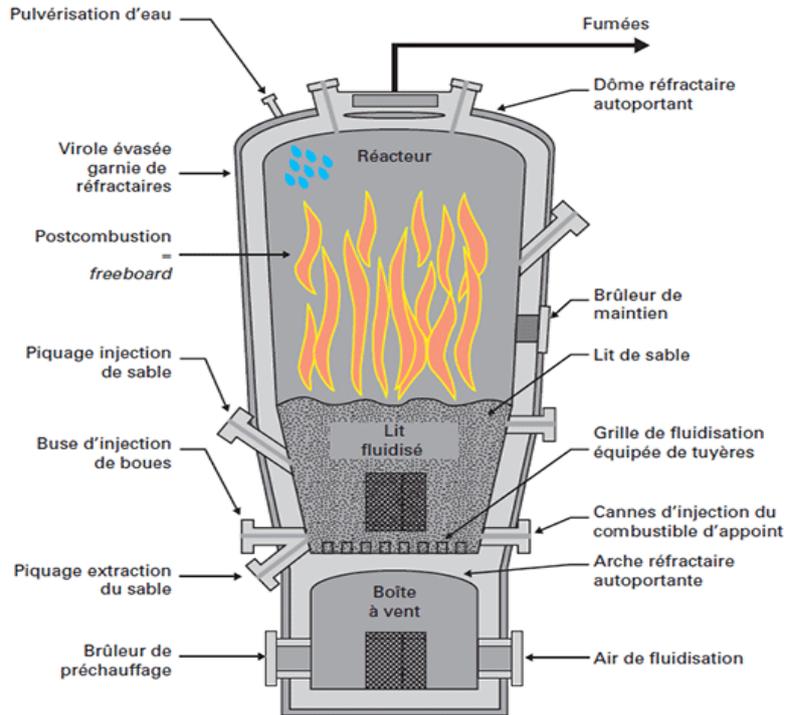


Figure 13: Principaux composants d'un bain fluidisé (GUENANE, 2020).

Incinérateurs à grille : La combustion a lieu sur une grille mobile, inclinée ou non, et constituée de barreaux ou de rouleaux. Les mouvements de ces derniers permettent l'avancement des déchets ainsi que leur brassage. L'air est injecté sous la grille, donc sous les déchets. Il s'agit de l'air primaire. En effet, de l'air secondaire est lui injecté au-dessus du lit de combustion afin d'assurer la combustion complète des produits formés, Un exemple de ce type d'incinérateur est présenté dans la figure 14.

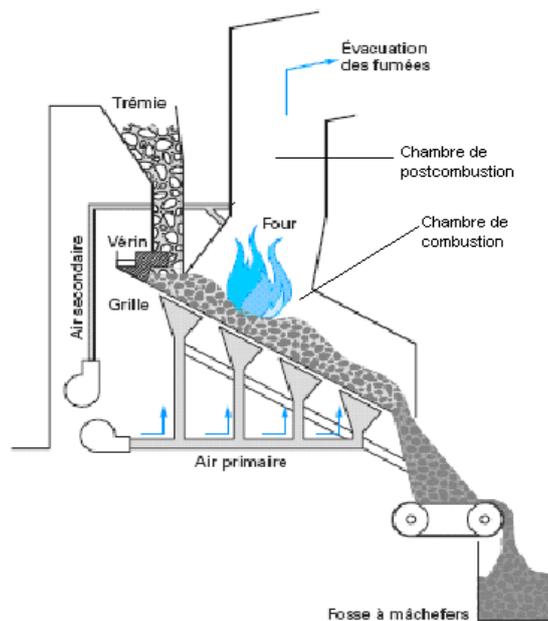


Figure 14 : Incinérateur à grille (BAKHA, 2021).

Incinérateur à four statique à sol fixe : Il comporte un foyer à deux chambres, l'une étant le four (chambre de combustion), où se gazéifie le combustible en atmosphère restreint, l'autre est la chambre de postcombustion où les gaz mis en présence d'air secondaire terminent leur oxydation (GUENANE, 2020).

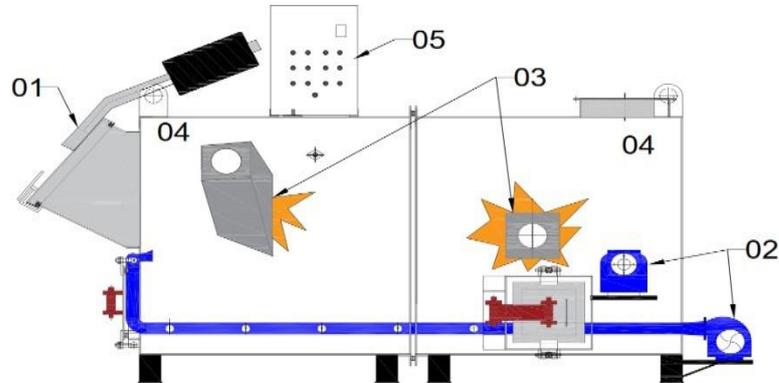


Figure 15: Schéma du principe de fonctionnement d'un four statique à sol fixe (GUENANE, 2020).

Légende :

01– Porte d'enfournement, 02– Ventilateur d'air primaire, 03– Brûleurs, 04– Chambre et poste de combustion et 05– Coffret de commande.

E. Les avantages et les inconvénients d'incinérateurs

Les avantages et les inconvénients de l'incinération sont regroupés dans le tableau suivant (6).

F. Effets de l'incinération sur la santé et l'environnement

Les déchets et leur gestion présentent un problème environnemental important. Le traitement thermique des déchets peut par conséquent être vu comme une réponse aux menaces sur l'environnements posés par des flux de déchets mal ou non gérés. Ainsi, si l'incinération fait disparaître les déchets, la matière n'est pas pour autant détruite elle a juste changé de forme, ce qui peut être parfois beaucoup plus toxique que les matériaux initiaux. En effet, les déchets contiennent divers matériaux naturels ou synthétiques organiques (papier, plastiques, textiles, déchets de cuisine ou fermentescibles, déchets de jardin et autres) et inorganiques (verre, métaux et divers autres composants). Chacun de ces différents composants contient une quantité de métaux lourds qui est toxique à certaines concentrations tels que le plomb, le cadmium, le chrome, le mercure et le nickel. Outre les métaux lourds, le processus d'incinération implique le rejet des cendres volantes, de mâchefers et de divers polluants à dégagement gazeux (tels que la dioxine, le furane, les oxydes d'azote et de soufre et le HCl). Faire courir de réels risques pour la santé Public et environnement.

Tableau 6 : Avantages et inconvénients de l'incinération (GUENANE, 2020).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Traitement adapté à toutes sortes de déchets (dangereux et non dangereux, solides et liquides) contrairement aux autres modes de valorisation ; - Diminution du volume des déchets (90 % de réduction environ) et leur masse (70 % environ) ; - Meilleur parti du contenu énergétique des déchets en produisant de la chaleur susceptible d'alimenter un réseau de chaleur urbain et/ou d'être transformée en électricité ; - Contribution à minimiser les consommations de ressources énergétiques et certains impacts environnementaux tels que l'effet de serre du fait notamment de la valorisation énergétique ; - Emission de moins de gaz à effet de serre que le stockage, qui a inévitablement des fuites de méthane (puissant gaz à effet de serre) issu de la dégradation des déchets organiques ; - Récupération des métaux ferreux et non ferreux (contenu initialement dans les déchets) et de les valoriser. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contribution à l'émission de polluants dans l'atmosphère, dont les quantités sont limitées par la mise en place d'un système de traitement des fumées et suivies par la mise en place obligatoire d'un programme de surveillance ; - Production de déchets classés dangereux (résidus d'épuration des fumées) à éliminer dans des installations de stockage de déchets dangereux ; - Production de mâchefers, non dangereux, qu'il est possible de valoriser en remblai ou sous-couche routière dans des conditions strictes définies par la réglementation ; - Neutralisation des gaz acides des fumées par voie sèche ou humide, recyclage interne total ou non des rejets liquides ; - Contribution dans certains cas à l'émission de polluants liquides dans le milieu naturel, dont les quantités sont encadrées par la réglementation

Certaines études ont établi un lien entre de nombreux problèmes de santé et le fait de vivre à proximité d'un incinérateur ou de travailler dans une de ces installations. Dans ces problèmes, nous énumérer les cancers (enfants et adultes), les effets nocifs troubles respiratoires, cardiaques et du système immunitaire, augmentation des allergies, anomalies congénitales. La combustion, en revanche, est responsable d'une part importante de la pollution de l'air par les métaux toxiques et d'autres polluants organiques et minéraux (AIT AHSENE ,2015).

2.1.5.2.2. Désinfection chimique

La désinfection chimique, utilisée communément dans les établissements sanitaires pour tuer les micro-organismes sur les équipements médicaux, a été étendue au traitement des déchets de soins médicaux. Les substances chimiques sont ajoutées aux déchets pour tuer ou inhiber les agents pathogènes. Cependant les désinfectants utilisés représentent à leur tour un risque pour la santé de ceux qui les manipulent et un risque de pollution de l'environnement.

Ce type de traitement est surtout adéquat pour l'élimination des déchets liquides infectieux comme le sang, les urines, les excréments ou les canalisations d'hôpitaux. On utilisera, par exemple, une solution à 1% d'eau de Javel (hypochlorite de sodium) ou une solution diluée à 0,5% de chlore actif. Pour les liquides à forte teneur en protéines comme le sang, une solution non diluée d'eau de Javel est nécessaire, ainsi qu'un temps de contact de plus de 12 h.

Les autres désinfectants utilisés sont : la chaux, l'ozone, les sels d'ammonium et l'acide peracétique. Le formaldéhyde, le glutaraldéhyde et l'oxyde d'éthylène ne doivent plus être utilisés à cause de leur toxicité (cancérigène ou sensibilisante). Tous les désinfectants puissants sont des irritants pour la peau, les yeux et le système respiratoire. Ils doivent être manipulés avec précaution, notamment avec des équipements de protection individuelle, et stockés correctement (Tableau 7).

Les déchets médicaux solides peuvent être désinfectés chimiquement mais ils doivent d'abord être déchiquetés. Cette pratique pose beaucoup de problèmes de sécurité, et les déchets ne sont désinfectés qu'en surface. La désinfection thermique devrait avoir la préférence sur la désinfection chimique pour des raisons d'efficacité et par souci écologique.

2.1.5.2.3. Décharge et fosse d'enfouissement

L'élimination des déchets, de soins médicaux non traités, par dépôt dans une décharge non contrôlée n'est pas recommandée et ne doit être utilisée que comme option de dernier recours. Le dépôt dans une décharge contrôlée est possible, mais certaines précautions doivent être prises. Il est important que les déchets de soins médicaux soient rapidement recouverts. Une technique consiste à creuser une tranchée jusqu'au niveau du sol où sont enfouis les vieux déchets municipaux (plus de 3 mois) et d'ensevelir immédiatement après les déchets médicaux déposés à ce niveau sous une couche de deux mètres de déchets municipaux frais.

Les éléments essentiels à prendre en compte dans la conception et l'utilisation d'une décharge contrôlée sont :

- Accès contrôlé et limité ;
- Présence de personnel compétent ;
- Planification des zones de dépôt ;
- Imperméabilisation du fond de la décharge ;

Tableau 7 : Avantages et inconvénients de la désinfection chimique (AIT AHSENE ,2015).

Avantage	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> → Simple. → Relativement bon marché. → Largement disponibles. 	<ul style="list-style-type: none"> → Substances chimiques utilisées elles-mêmes dangereuses qu'il faut manipuler avec précaution. → Respect du temps de contact et des concentrations pour une bonne désinfection. → Volume des déchets inchangé. → Nécessité de déchiquter/mélanger avant le traitement chimique. → L'élimination finale doit être la même que pour les déchets de soins non traités. → Génération d'eaux usées dangereuses nécessitant un traitement. → Le mélange de quelques désinfectants crée des substances toxiques.

- Nappe phréatique à plus de 2 m de profondeur au-dessous du fond de la décharge ;
- Pas de source d'eau potable ou puits à proximité ;
- Pas de dépôt de produits chimiques ;
- Couverture journalière des déchets et contrôle des insectes, rongeurs, etc ;
- Couverture finale pour éviter l'infiltration des eaux de pluie ;
- Collecte et traitement des lixiviats.

Une fosse d'enfouissement spécialement construite et de préférence sur le site de l'hôpital est aussi indiquée pour ce genre de traitement. Idéalement, la fosse devrait être enrobée de matériaux à faible perméabilité, tels que l'argile, pour empêcher la pollution des eaux souterraines peu profondes, et clôturée pour que les récupérateurs d'ordures n'y accèdent pas. Les déchets de soins médicaux doivent être immédiatement ensevelis sous une couche de terre après chaque déchargement. Pour une protection sanitaire accrue (en cas d'épidémie, par exemple) ou pour la suppression des odeurs, il est suggéré que de la chaux soit versée sur les déchets. La fosse devrait être scellée une fois remplie (Figures 16- 18) et tableau 8.

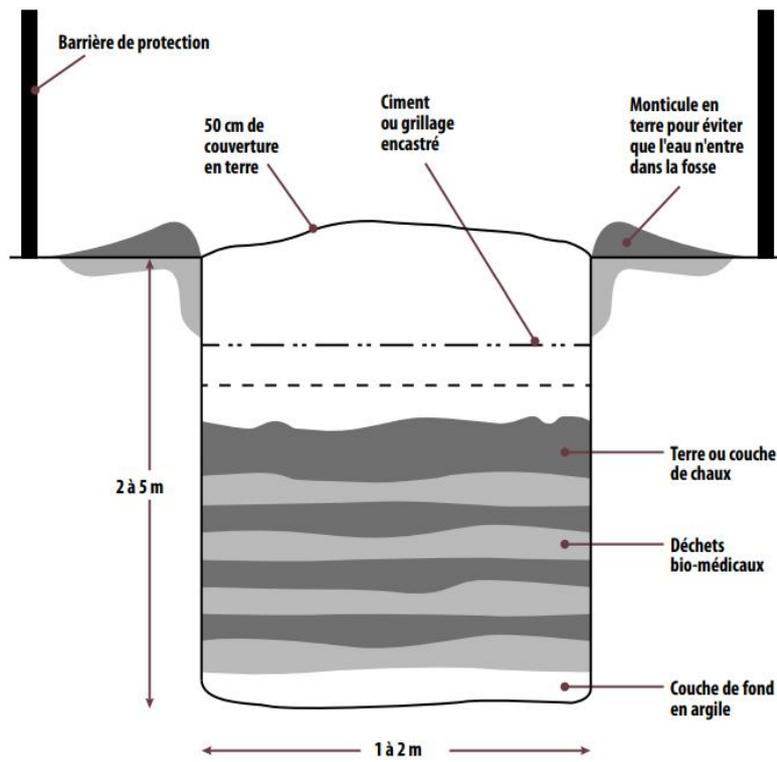


Figure 16 : Exemple de fosse d'enfouissement (CICR, 2011).

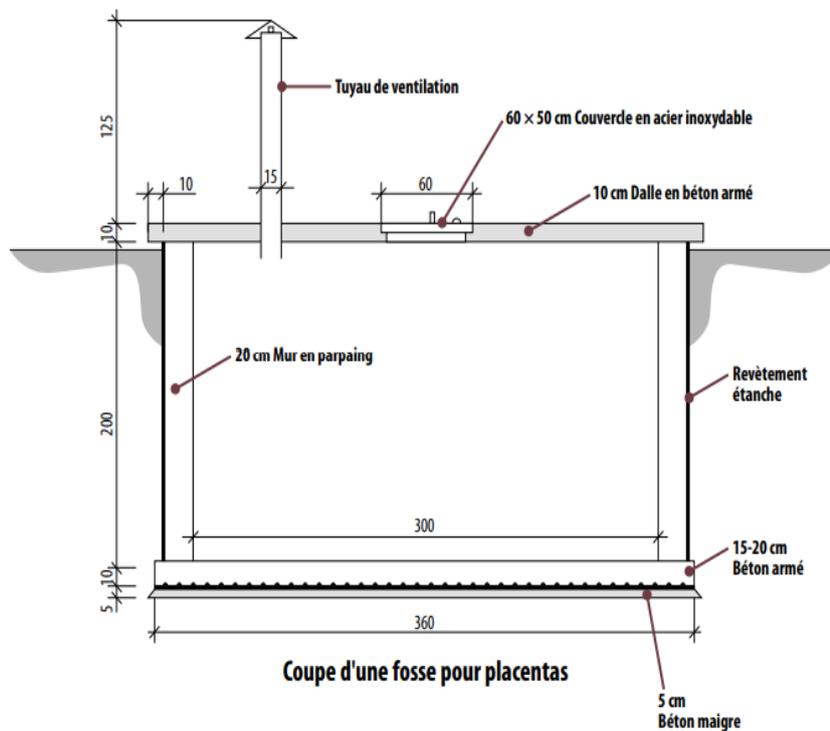


Figure 17 : Fosse d'enfouissement pour déchets anatomiques (CICR, 2011).

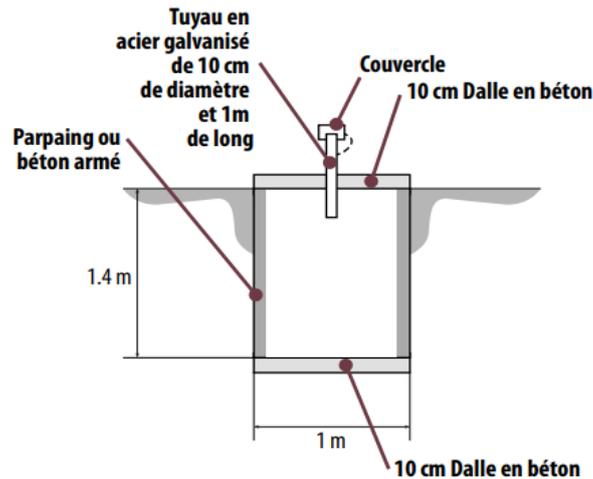


Figure 18 : Fosse pour déchets piquants (Modèle MSF) (CICR, 2011).

Dans le cas où la fosse se situe au-dessus de la nappe phréatique, les orifices de drainage dans la paroi doivent être laissés. Tandis que si la nappe phréatique est plus élevée que la base de la fosse, il faut la recouvrir de ciment la paroi interne pour éviter que l'eau ne s'infilte dans la fosse.

2.1.5.2.4. Le compostage

Le compostage est la biodégradation des matières organiques en présence d'air. Ce procédé comporte deux phases principales : la première phase, dite active, présente une forte activité microbienne, ce qui correspond à une élévation de température importante (jusqu'à 70°C) ; lors de cette phase, une grande partie des micro-organismes pathogènes sont détruits et la deuxième phase, de maturation correspond à des températures plus basses et des moindres consommations d'oxygène.

Le compostage émet des quantités importantes de vapeur d'eau, de gaz carbonique, d'ammoniac et des composés issus des micro-organismes (bio-aérosols), de façon plus importante lors de la première phase. Les phases de manipulation (retournement, etc.) émettent en plus des poussières. La phase de compostage peut être réalisée dans différents types d'installations, plus ou moins complexes et confinées:

- Sous hangar ouvert, avec aération du compost ou par insufflation d'air,
- Sous hangar fermé avec insufflation ou aspiration d'air à travers le compost, retournement au chargeur ou au retourneur automatique, récupération et traitement de l'air insufflé ou aspiré,
- En tunnels avec alimentation au chargeur ou automatique, avec récupération et traitement de l'air du tunnel.

Certaines installations de traitement aérobie ne visent pas à produire un compost valorisable mais à diminuer la quantité de déchets à enfouir, tout en réduisant la fraction organique fermentescible (ZDANEVITCH, 2011).

Tableau 8 : Avantages et inconvénients de l'élimination par enfouissement (CICR, 2011).

	Avantage	Inconvénient
Décharge contrôlée, méthode des tranchées	<ul style="list-style-type: none"> → Simple et d'utilisation peu coûteuse. → Peut s'effectuer dans un système de décharge déjà disponible. → Les récupérateurs d'ordures ne peuvent pas accéder aux déchets de soins médicaux si la décharge est bien gérée. 	<ul style="list-style-type: none"> → Les déchets de soins médicaux ne sont pas traités et restent dangereux. → Nécessite une décharge sûre, clôturée et surveillée. → Nécessite le contrôle des récupérateurs et des animaux. → Forte nécessité de coordination entre les collecteurs et les opérateurs de décharges. → Réduire la sensibilisation des travailleurs de la santé à la nécessité de trier les différentes catégories de déchets. → Transport vers la décharge potentiellement long et coûteux. → Risque de pollution des eaux
Fosse séparée sur site	<ul style="list-style-type: none"> → Simple et relativement peu coûteuse à construire et gérer. → Pas de transport de substances dangereuses à l'extérieur de l'hôpital. → Contrôle facilité. 	<ul style="list-style-type: none"> → Les déchets médicaux ne sont pas traités et restent dangereux et peuvent touchés aux nappes phréatiques. → Risque de pollution des eaux. → Problème d'odeur. → Contrôle nécessaire des vecteurs (insectes, rongeurs, etc.). → Espace nécessaire autour de l'hôpital

2.1.5.2.5 La méthanisation

La méthanisation est la biodégradation des matières organiques en absence d'oxygène, donc en réacteur. Cette dégradation produit des quantités importantes de biogaz, constitué de méthane (jusqu'à 60 %), gaz carbonique (20 à 40 %), de vapeur d'eau et de composés en traces (composés soufrés, composés organiques volatils, ...)

La méthanisation est réalisée dans des réacteurs étanches et isolés, le but étant de récupérer le maximum de biogaz possible. La rentabilité de l'installation ainsi que les risques d'explosion ou

d'intoxication en cas de fuite font que les dispositifs de production et de valorisation du biogaz sont nécessairement confinés. En revanche, les zones de préparation des matières entrant dans le digesteur, et les dispositifs de récupération, de transport et de traitement du digestat peuvent poser des problèmes en termes d'exposition des travailleurs ou des riverains aux odeurs, mais aussi aux poussières, aux gaz et aux micro-organismes. (ZDANEVITCH, 2011)

La méthanisation a lieu grâce à des bactéries qui vont dégrader la matière organique en transformant les différents éléments et produire du biogaz, pour assurer la croissance des bactéries, et par conséquent une bonne production de biogaz, il faut assurer certaines conditions physico-chimiques.

Les principaux facteurs physico-chimiques qui affectent le procédé de digestion anaérobie sont le substrat, la température, le pH, le potentiel d'oxydoréduction, les besoins nutritionnels, la présence d'inhibiteurs, le degré d'humidité (ABDRABI & HACHEMI, 2016)

2.1.5.2.5. Le broyage-stérilisation ou l'autoclave

La stérilisation par autoclave est un premier exemple de méthode d'inactivation thermique. Cette méthode est recommandée pour le traitement des déchets contenant des micro-organismes pathogènes car elle peut être validée plus facilement que l'inactivation chimique. De plus, l'autoclave dégrade complètement l'ADN. Elle peut être utilisée pour inactiver les déchets solides et liquides présentant un risque infectieux. La stérilisation par autoclave diminue la charge microbienne jusqu'à un seuil d'un micro-organisme survivant sur 10⁶ au départ. Elle ne l'élimine pas complètement.

L'autoclave de décontamination doit être régulièrement contrôlé et validé. Lors de la mise au point de l'inactivation des déchets par autoclave, il est important de tenir compte des paramètres suivants :

- ◆ La taille du récipient qui contient la sonde de température,
- ◆ La composition du récipient contenant les déchets à autoclaver,
- ◆ Le volume du déchet contenu dans ce récipient.
- ◆ Le type de déchet.

Dans le cas où les paramètres décrits plus haut ne sont pas contrôlés, la température requise pour inactiver les déchets peut ne pas avoir été atteinte pendant le cycle d'inactivation. En plus du contrôle permanent de la température et de la pression, des indicateurs biologiques doivent être utilisés pour la validation et le contrôle régulier du bon fonctionnement de l'autoclave.

Un type d'autoclave qui est de plus en plus utilisé dans les hôpitaux pour inactiver les déchets présentant un risque infectieux est l'autoclave-broyeur.

L'autoclave-broyeur est un dispositif de traitement des déchets permettant de les transformer d'abord en les broyant mécaniquement puis en les stérilisant dans la cuve de traitement par injection de vapeur humide saturée. Les rejets gazeux sont filtrés. Certains systèmes utilisent une technologie basée sur les micro-ondes (chaleur sèche) après le broyeur. Ce système ne génère aucun rejet (pas de fumées, pas de

gaz, pas d'eau, pas d'agent chimique). Il s'agit d'alternatives économiques et écologiques pour le traitement des déchets.

Avec ces systèmes thermiques, la fraction solide est séparée de la fraction liquide. La fraction liquide inactivée est automatiquement évacuée à l'égout. Grâce à cette séparation, la quantité finale de déchets à incinérer diminue (de 60 à 80%). (LEONARD, 2021)

2.2. Gestion par types de déchets

2.2.1. Gestion des *DASRI*

2.2.1.1. Tri à la source

La séparation des *DASRI* à la source se fait par l'utilisation d'un système à 3 compartiments devant équiper tout support fixe (plan de travail) ou mobile (chariot ou guéridon) de soins (figures 19 et 20)

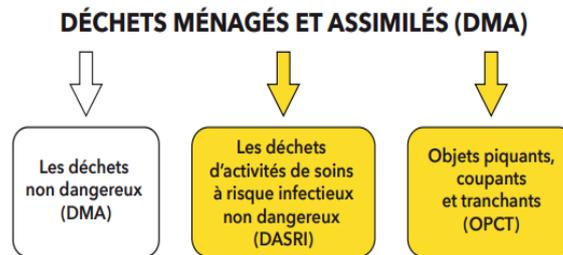


Figure 19 : Système de séparation à trois bacs (AND, 2019).



Figure 20 : Exemple de chariot de soins conforme pour le tri des déchets à la source (AND, 2019).

Les deux contenants l'un pour *DMA* (sac noir) et l'autre pour *DASRI* (sac jaune) doivent être disposés côte à côte. Les sacs seront mis soit dans des conteneurs rigides fixes, soit sur des supports mobiles à roulettes placés au plus près du lieu de production des déchets (ex : salles de soins), soit sur un chariot de soins. Le support pour sacs de *DAS* doit être adapté au volume des sacs en plastique et d'entretien facile (matériau inoxydable). Le récipient pour *OPCT* sera disposé à portée de main du soignant (sur le plan de travail ou le chariot de soins) pour permettre une élimination immédiate des *OPCT* qu'il faut

introduire sans forcer, et actionner ensuite le système de fermeture temporaire pour éviter le déversement du contenu. Il est recommandé que le récipient pour *OPCT* dispose d'un système de fixation sur le support de soins.

2.2.1.2. Collecte

Le circuit de collecte interne est le trajet suivi par les *DASRI* avant leur évacuation vers le local d'entreposage centralisé. Il doit s'intégrer dans les autres circuits hospitaliers, sans croisement avec les circuits « propres », en respectant la marche en avant.

Dans le cas où le croisement des circuits sales et propres est inévitable, le conditionnement secondaire doit être fermé de façon étanche, dans le respect des codes couleurs et pictogrammes. Les déchets conditionnés dans leur emballage primaire sont placés dans des conditionnements secondaires sans transvasement.

Le conditionnement secondaire ne doit pas se retrouver sur le site de réalisation des soins. Il doit être situé autant que possible à l'extérieur de l'unité de soins et à proximité du circuit d'évacuation (ascenseur ou monte-charge). Aucun déchet ne doit demeurer dans la chambre du patient, sauf cas particulier (protocole d'isolement).

2.2.1.3. Entreposage centralisé

L'entreposage peut se faire dans des bacs roulants ou des conteneurs spéciaux type grands récipients pour vrac (GRV), de tailles adaptées aux gisements de déchets. Le temps de stockage des *DASRI* ne doit pas excéder 24 h pour les établissements de santé possédant un dispositif de traitement autorisé, et 48 h pour ceux qui n'en possèdent pas.

2.2.1.4. Transport

Les moyens de transport internes à l'établissement peuvent être de plusieurs sortes (chariots ou camions). Ils sont planifiés pour éviter toute exposition du personnel, des patients et du public. Le transport est assuré pendant les périodes de basse activité. Le producteur de déchets reste responsable de la qualité de l'emballage et de son étiquetage afin d'assurer la traçabilité pour chaque type de déchets.

En cas de sous-traitance avec une entreprise externe, il doit s'assurer que cette entreprise de transport est autorisée à prendre en charge les déchets dangereux et qu'elle respecte la législation et la réglementation en vigueur.

2.2.1.5. Traitement des *DASRI*

Les *DASRI* sont traités par deux procédés, à savoir l'incinération ou la désinfection chimique (figure 21). (AND, 2019).



Figure 21 : Processus de gestion des déchets à risques infectieux (AND, 2019).

2.2.2. Gestion des déchets à risques chimiques et/ou toxiques (DRCT)

2.2.2.1. Tri et conditionnement

Les DRCT doivent être conditionnés dans des contenants de couleur rouge et portant le pictogramme correspondant au type de risque, avec un étiquetage permettant l'identification claire de son contenu (source, nature du produit). Ces conditionnements doivent être fermés hermétiquement et les DRCT non compatibles ne doivent pas être mélangés (figure 22).

+	-	-	+	
0	-	+	-	
+	+	+	-	
+	+	0	+	

Figure 22 : Incompatibilité des déchets chimiques et toxiques (AND, 2019).

2.2.2.2. Stockage

Le stockage de ces déchets sur site doit être effectué en rotation, *premier entré- premier sorti*, pour éviter l’allongement des durées d’entreposage, source de dégradation des matières avec formation possible de sous-produits instables, d’effacement de l’étiquetage et de détérioration des emballages avec risques de rupture de l’étanchéité. La durée maximale de stockage des *DRCT* est fonction de différents paramètres comme la réactivité des produits, la quantité et les conditions de stockage. L’entrepôt destiné au stockage de ces *DRCT* doit être à accès réglementé, comportant des consignes de sécurité lisibles et équipé de moyens de lutte anti-incendie.

2.2.2.3. Traitement et élimination

Les *DRCT* sont confiés à des entreprises spécialisées autorisées. Ils doivent être traités selon les spécifications indiquées pour chaque type de substance chimique et ou toxique. Ils ne doivent jamais être dirigés vers un circuit *DASRI* de prétraitement par des appareils de désinfection (banalisation des déchets).

En Algérie, les filières de traitement et d’élimination des *DRCT* sont rares. D’où le problème du stockage qui peut perdurer pendant de longues périodes. Cette préoccupation devrait être prise en charge dans le cadre de la révision du PNAGDES en cours (AND, 2019).

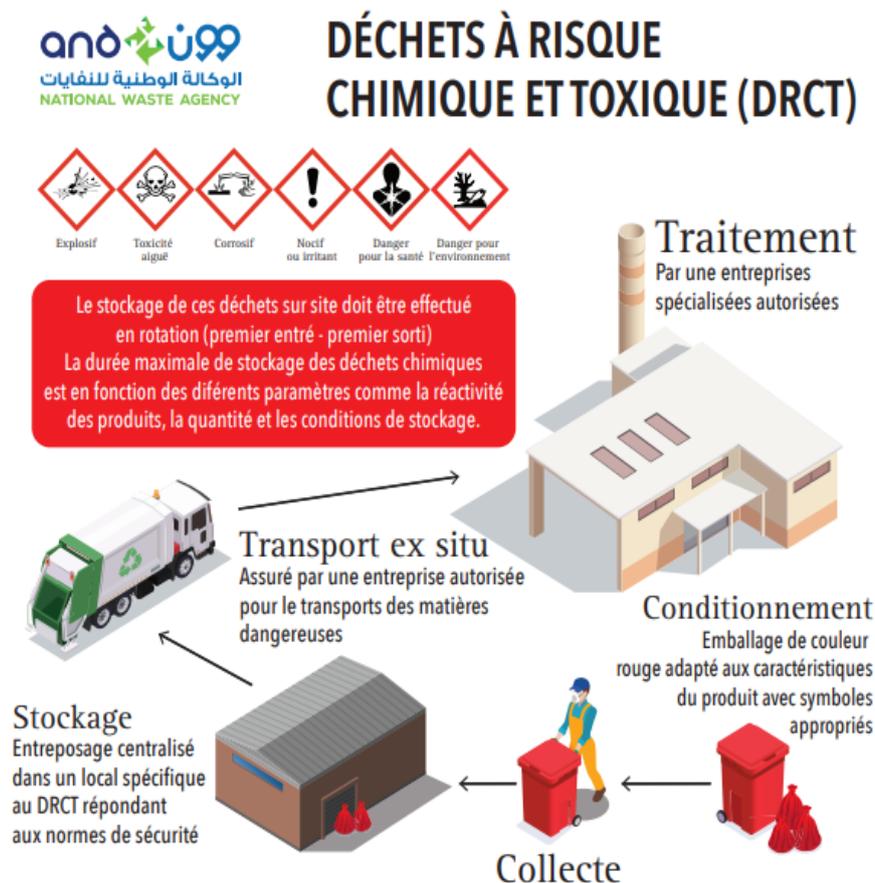


Figure 23 : Processus de gestion des déchets chimiques et toxiques (AND, 2019).

2.2.3. Gestion des déchets de mercure

Il s'agit, entre autres, du mercure présent dans les thermomètres ou les tensiomètres cassés. Dans tous les cas, les déchets de mercure seront récoltés séparément dans un récipient étanche et hermétique, tel que le verre, puis stockés séparément dans un endroit frais et fermé à clef avant leurs traitements.

Les déchets de mercure ne seront en aucun cas brûlés, ni traités suivant d'autres méthodes, ni mis en décharge, ni mis à l'égout. Ils doivent être rapportés au fournisseur ou déposés dans une entreprise de recyclage agréée pour recevoir des déchets de mercure. À défaut, ils seront exportés vers les pays possédant les techniques de récupération (Convention de Bâle, CICR, 2011).

2.2.4. Gestion des déchets pharmaceutiques

Ces déchets ont la particularité de cumuler le risque chimique et/ou toxique et le risque infectieux. Le niveau de risque le plus élevé (*DRCT*) s'applique pour le choix du circuit d'élimination. Les dispositifs médicaux souillés par les médicaments cytotoxiques à titre d'exemple (poches, tubulures, pipettes, compresses, gants, etc.), sont considérés comme *DRCT* et collectés dans des contenants de couleur rouge adaptés à leur nature. Ces contenants doivent obligatoirement porter un étiquetage de la catégorie du déchet « cancérogènes chimiques potentiels » et le symbole relatif à « toxique ».

Le stockage nécessite un emballage résistant et étanche dans des conteneurs pour vrac portant la mention « cancérogènes chimiques potentiels ». Cette même mention doit être apposée à l'entrée du local d'entreposage (Figure 24).

Les déchets cytotoxiques sont éliminés par incinération à très haute température entre 1000 et 1200 °C dans des conditionnements ne contenant pas de chlore. Pour des raisons de sécurité professionnelle, les déchets cytotoxiques doivent être collectés séparément des déchets pharmaceutiques. Ils ne doivent jamais être mis en décharge ou être dilués dans les eaux naturelles (AND, 2019).

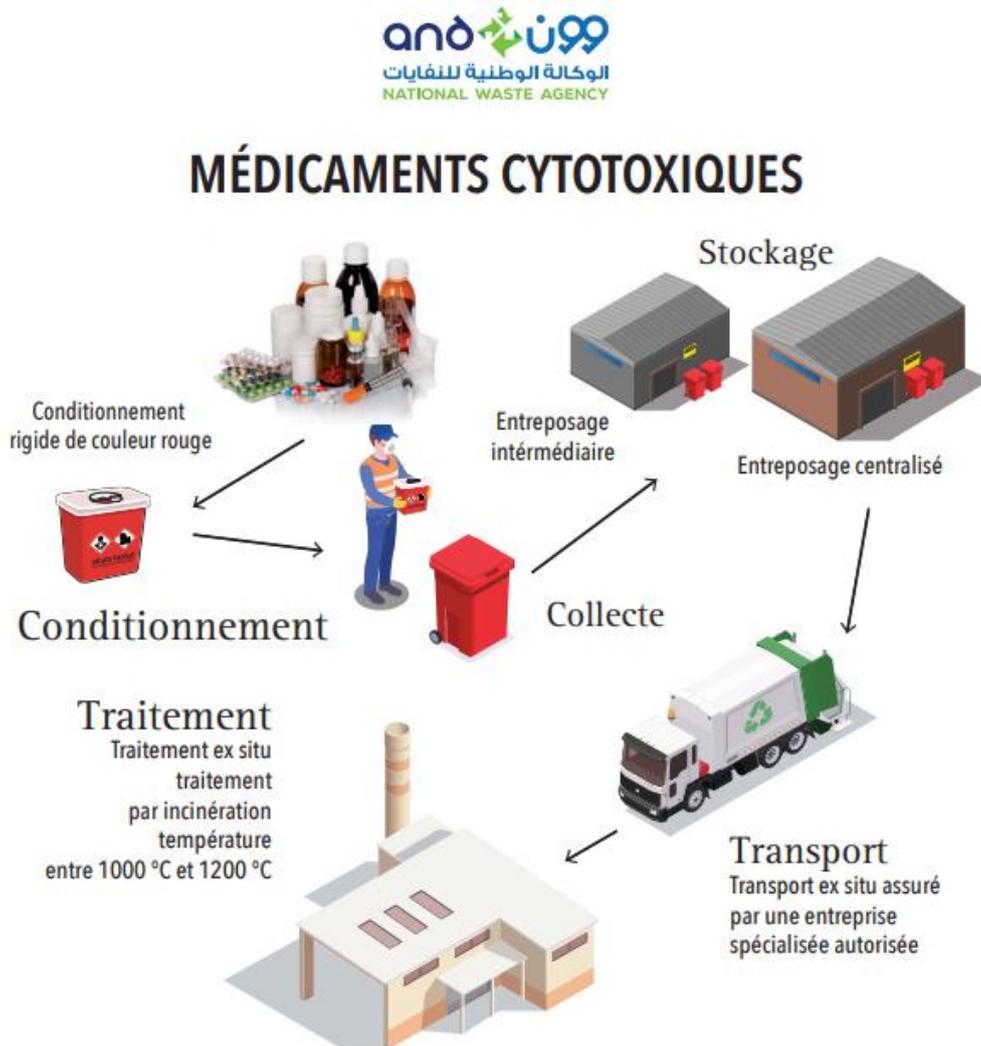


Figure 24 : Processus de gestion des déchets des médicaments cytotoxiques (AND, 2019).

Les médicaments périmés ou retirés du marché, ainsi que les restes non utilisés retournent à la pharmacie centrale de l'établissement. Ils sont éliminés par incinération à haute température (1000 à 1200 °C) après déconditionnement.

L'élimination des substances, préparations ou médicaments, classés comme stupéfiants, fait l'objet de dispositions spécifiques (notamment attestation de dénaturation et de destruction). Leur élimination se

fait également par incinération à haute température. Ils ne doivent en aucun cas rejoindre le circuit des déchets ménagers et assimilés.

Une bonne gestion des stocks permet d'éviter l'accumulation de grandes quantités de produits périmés (AND, 2019).

2.2.5. Gestion des déchets radioactifs

Tous les déchets radioactifs solides générés sont collectés dans des sacs et des récipients rigides pour les *OPCT* de couleur blanche ne contenant pas de chlore. Les déchets radioactifs liquides sont collectés séparément dans des cuves étanches d'un volume maximum de 3000 L connectées en parallèle.

Certains déchets liquides avec des radioéléments qui ont des périodes courtes comme le technétium 99, ne nécessitent pas d'installations particulières, alors que d'autres qui ont des périodes longues tel l'iode 131 exigent d'être évacués dans des cuves de décroissance lorsque les activités sont importantes.

Si un patient de médecine nucléaire subit un examen invasif et que cet examen génère des déchets radioactifs, ces déchets doivent être rapportés au service de médecine nucléaire.

Les sacs et conteneurs contenant des déchets radioactifs doivent être entreposés dans un local protégé situé en dehors du service de médecine nucléaire, autorisé par le Commissariat à l'énergie atomique. Les contenants utilisés doivent afficher le symbole de radioactivité (étiquetage obligatoire) et comporter des informations sur le radioisotope, la quantité de radioactivité, la source et la date de dépôt ainsi qu'un numéro de suivi et d'inventaire.

L'élimination de ces déchets radioactifs s'effectue selon les modalités et les conditions déterminées par le commissariat à l'énergie atomique (COMENA).

2.2.6. Gestion des déchets anatomiques humains

Les pièces anatomiques humaines identifiables doivent être placées dans des sachets étanches de couleur verte, à usage unique, et devront suivre la filière d'élimination telle que définie par l'arrêté interministériel (AIM) du 4 avril 2011 fixant les modalités de traitement des déchets anatomiques humains (figure 25).

L'AIM préconise un traitement du déchet anatomique par un processus de décontamination par adjonction de substances chimiques visant à assurer son innocuité. Il est recommandé d'utiliser uniquement de la chaux afin de ne pas élever le niveau de risque du déchet anatomique vers le risque chimique et toxique.

Ce circuit tel que défini ci-dessus est adapté précisément pour les déchets anatomiques reconnaissables ou identifiables par un non-connaisseur (pièces anatomiques). Les autres déchets anatomiques non

reconnaisables (biopsies) et les placentas provenant des maternités sont assimilés à des *DASRI* et éliminés par le circuit *DASRI* (AND, 2019).

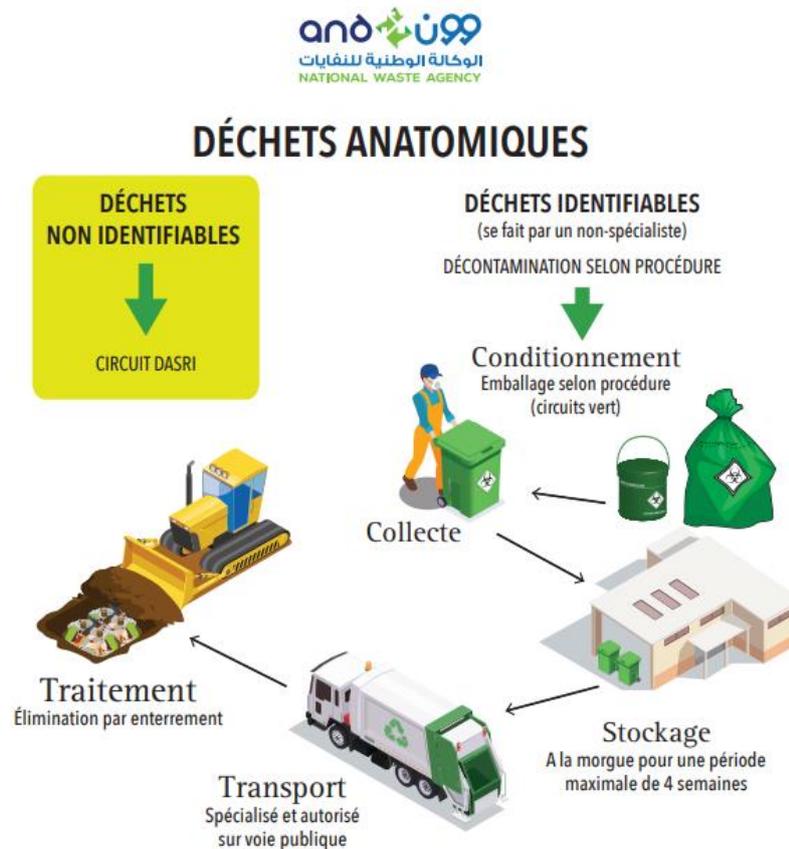


Figure 25 : Processus de gestion des déchets anatomiques (AND, 2019).

2.2.7. Déchets piquants et tranchants

Ces déchets sont collectés dans des récipients résistants au percement, imperméables et pouvant être fermés. Ils doivent être résistants à la chute, avec maintien de l'étanchéité. Le personnel soignant veillera à avoir un conteneur à objets piquants/ tranchants à côté de lui lorsqu'il utilisera ces objets. Il jettera immédiatement les objets piquants/tranchants dans le conteneur après usage, sans recapuchonner, sans désolidariser à la main l'aiguille de la seringue et sans déposer l'objet non sécurisé sur une surface (figure 26).

Le personnel de soin veillera, aussi, à fermer hermétiquement les conteneurs quand ils sont aux deux tiers pleins, avant qu'ils soient évacués au lieu de stockage intermédiaire. Les conteneurs à piquants/tranchants seront entreposés dans un local ou endroit séparé qui ne sera accessible qu'au personnel spécialisé.

Ce type de déchets doit être incinéré dans des fours dont la température est supérieure à 1000°C ou bien dans des incinérateurs à excès d'air voire à auto-combustion à double chambre améliorés (800-900°C). À défaut, ils pourront être mis en décharge après encapsulation.

DÉCHETS D'ACTIVITÉ À RISQUE INFECTIEUX

DÉCHETS PIQUANTS, COUPANTS ET TRANCHANTS

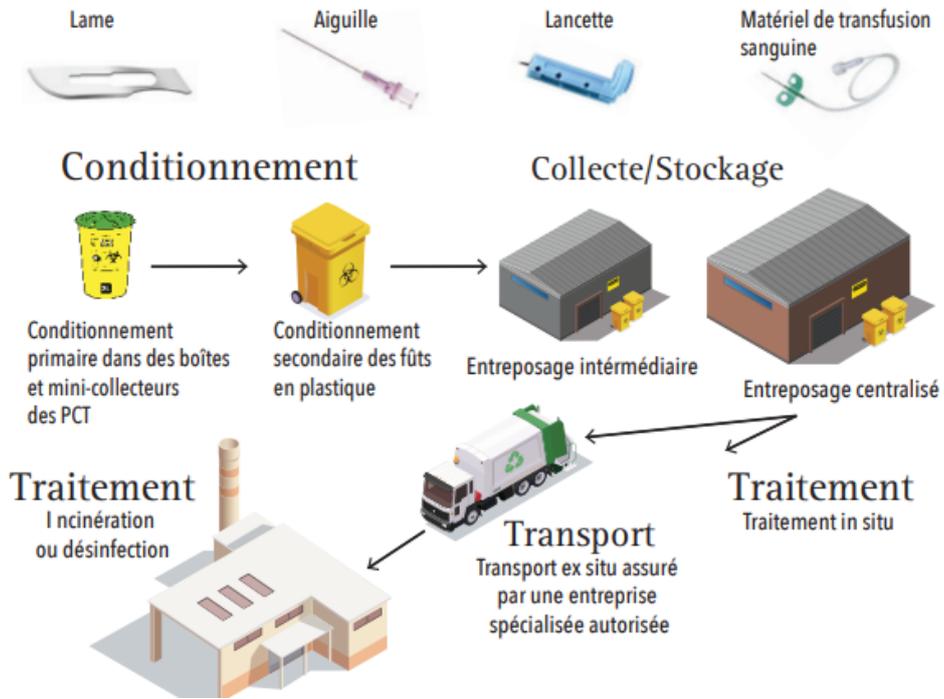


Figure 26 : Processus de la gestion des déchets piquants/tranchants (AND, 2019).

Conclusion

Les services sanitaires en milieu rural ou urbain génèrent inévitablement des déchets qui peuvent être dangereux pour la santé ou avoir des effets néfastes sur l'environnement. Certains de ces déchets, comme, les objets tranchants/piquants, les cultures des laboratoires médicaux ou le sang infecté ont un potentiel d'infection et offensif plus élevé que celui de tout autre type de déchets. L'absence ou de mauvaises mesures de gestion pour empêcher l'exposition aux déchets de soins médicaux dangereux résultent en d'importants risques pour le grand public, les patients internes ou externes ainsi que le personnel médical et de service. De plus, un mauvais traitement ou une mauvaise élimination des déchets de soins médicaux, comme l'incinération en plein air, peuvent constituer une source importante de pollution de l'environnement par le rejet de substance telle que les dioxines ou le mercure.

Partie 2 :

**Plan d'action pour la gestion
des déchets hospitaliers**

Introduction

Le procédé d'incinération consiste en une oxydation et minéralisation complète de la matière organique en portant cette dernière à haute température en présence d'oxygène pendant un temps suffisant. Les déchets médicaux ainsi traités font partie des flux de déchets qui méritent une priorité particulière car ils peuvent avoir un impact négatif sur la santé publique et l'environnement. L'incinération des *DAS* libère non seulement des gaz toxiques (CO, CO₂, NO₂, SO₂, etc.) dans l'atmosphère, mais laisse également des solides riches en composés de métaux lourds sels inorganiques et organiques très élevés dans l'environnement (IBANEZ et al., 2000). Les Mâchefers et les cendres sont des sous-produits de la combustion, qui sont concentrés en métaux lourds.

Dans cette partie, on s'est intéressé aux deux établissements à savoir l'hôpital de Kouba et l'usine d'incinération d'ECFERAL dans lesquels on a effectué nos études respectives sur la gestion des *DAS* depuis leurs sources de production (les salles de soins et les chambres de malades) et l'élimination de ces derniers par incinération. Cependant, nos résultats sur les rejets solides et gazeux traités sont interprétés et discutés et comparés aux normes et à la réglementation algérienne.

Chapitre 3 :
Cas d'étude : Hôpital de
Kouba & *ECFERAL*

3.1. Cas d'étude 1 - Hôpital de Kouba

3.1.1. Choix de l'établissement hospitalier

Le choix s'est porté sur une des plus grandes et plus importantes structures sanitaires de la Wilaya d'Alger, qui représente une des wilayas les plus peuplées du pays. Ce qui s'explique par le fait qu'elle comprend la plus grande concentration nationale de population, d'activités de services, d'équipements, d'infrastructures et d'établissements de santé.

Le choix est aussi dicté par le fait qu'il y ait une convention Algéro-belge datant de 2007 et qui porte sur un projet d'élimination écologique des déchets d'activités de soins de l'hôpital public Bachir MENTOURI de Kouba. L'objectif de ce projet, s'inscrivant dans le cadre du programme de coopération entre les deux pays, est de lancer une opération de gestion des déchets hospitaliers, liés aux activités de soins, notamment la traçabilité des déchets et l'organisation du tri.

3.1.2. Historique de l'établissement public hospitalier de Kouba

Réalisé par le Groupement d'Entreprises Belges en Algérie (*GEBA*) entre le 1er juillet 1983 et le 15 septembre 1985 (délais contractuels de 30 mois), l'hôpital de Kouba a été réceptionné le 15/09/1985 et inauguré le 12 mars 1986. Il a été créé par décret n° 86-220 du 26/08/1986 et baptisé *Hôpital Bachir MENTOURI*. En vertu du décret exécutif n° 97-466 du 02 décembre 1997 fixant les règles de création, d'organisation et de fonctionnement des secteurs sanitaires, l'hôpital de Kouba a été intégré au Secteur Sanitaire de Kouba dont il a constitué le siège.

Dans le cadre de l'élaboration d'une nouvelle carte sanitaire et en vertu du décret exécutif n° 07-140 du 19 mai 2007 portant création, organisation et fonctionnement des établissements publics hospitaliers et des établissements publics de santé de proximité, l'hôpital de Kouba est érigé en *Etablissement Public Hospitalier*, à caractère administratif, placé sous la tutelle de Monsieur le Wali délégué à la circonscription administrative de Hussein-dey.

3.1.3. Présentation de l'hôpital

De type monobloc, il comporte 2 ailes en $R+5$, dont les 4 niveaux supérieurs sont réservés à l'hospitalisation des malades qui communiquent avec une autre tour $R+6$ comprenant l'ensemble des circulations verticales ainsi qu'un étage technique. Une 3^{ème} aile, en $R+2$, abrite les plateaux médicotecniques ainsi qu'une partie des services hospitaliers.

Conçu initialement pour accueillir 268 lits, il en compte aujourd'hui 218, ainsi que 15 berceaux, 19 couveuses, 6 tables chauffantes et 6 berceaux grands enfants.

Conformément aux dispositions du décret exécutif n° 07-140 du 19 mai 2007, L'E.P.H de Kouba, a pour mission de prendre en charge, de manière intégrée et hiérarchisée, les besoins sanitaires de la population. Dans ce cadre il a, notamment pour tâches d'assurer l'organisation et la programmation de la distribution des soins et hospitalisations, d'appliquer les programmes nationaux de santé, d'assurer

l'hygiène, la salubrité et la lutte contre les nuisances et les fléaux sociaux et d'assurer le perfectionnement et le recyclage des personnels des services de santé.

L'hôpital *Bachir MENTOURI* de Kouba dispose des services illustrés par la figure 27.



Figure 27 : Services de l'hôpital de Kouba (EPH_Kouba,2019)

3.1.4. Démarche de l'étude

Ce travail a pour objectif de contribuer à l'amélioration de la gestion des déchets d'activités de soins, qui constituent un problème sanitaire et environnemental surtout au niveau du tri et de conditionnement, étapes très importantes de la filière d'élimination des déchets d'activités de soins. Il a pour objectifs, aussi, d'apprécier les moyens humains de l'hôpital de Kouba, mais aussi leurs connaissances en matière de gestion des DAS.

Nous avons été pris en charge par le Docteur AMRANI, Chef de Service d'Epidémiologie et de Médecine Préventive. Ce service est organisé en quatre unités

- Unité de la surveillance épidémiologique, de l'évaluation sanitaire et de bio statistique ;
- Unité des programmes nationaux de santé ;
- Unité de l'hygiène et de l'écologie hospitalières ;
- Unité de l'épidémiologie clinique.

L'épidémiologie traite des facteurs qui interviennent dans l'apparition des phénomènes de santé chez les individus ou les populations. Elle travaille en étroite collaboration avec toutes les disciplines intervenant dans la santé publique l'épidémiologie est une discipline qui permet d'explorer les situations et les conditions liées à la santé des individus et des populations, d'analyser les facteurs et d'aider les preneurs de décision. Le service de prévention intervient, entre autres, sur l'amélioration de la qualité de soins, l'amélioration des conditions de travail, ...

Notre étude s'est intéressée à tous types de déchets générés par les différents services de l'Hôpital que nous énumérons dans le Tableau 09.

Tableau 9: Types de déchets générés par chaque service (EPH_Kouba, 2019).

Services	Lits	Déchets générés
Anesthésie-Réanimation	06	<i>DASRI, DMA, DRCT</i>
Chirurgie générale	56	<i>DASRI (seringues), DMA, DRCT, Anatomiques</i>
Epidémiologie	/	<i>DMA</i>
Gynécologie- Obstétrique	66	<i>DASRI (compresses, cotons, serviettes hygiéniques), DMA DRCT, Anatomiques (Placenta)</i>
Laboratoire central	/	<i>DASRI (piquants/tranchants, tubes à essais)</i>
Médecine Interne	58	<i>DASRI, DMA, DRCT</i>
Néonatalogie	12*	<i>DASRI (couches), DMA, DRCT</i>
O.R.L	57	<i>DASRI (seringues, compresses, cotons), DMA, DRCT</i>
Pharmacie	/	<i>DRCT (médicaments périmés)</i>
Radiologie centrale	/	<i>DASRI, DMA, DRCT</i>
Urgences médico-chirurgicales	10	<i>DASRI (seringues, compresses, cotons), DMA, DRCT</i>

* *Couveuses.*

3.2. Cas d'étude 2 - Entreprise ECTERAL

3.2.1. Présentation d'ECFERAL

Elle a été créée le 1^{er} Janvier 1985 pour un capital social de 245.865.000.00 DA. C'est une société par actions située à la zone industrielle d'El-Harrach. ECFERAL est aujourd'hui le seul producteur de chaudière industrielle en Algérie. Elle a installé à ce jour plus de 3000 chaudières sur le territoire national (CHABI & MEKZINE, 2014).

A la fin des années 90, ECFERAL a développé en collaboration avec le Ministère de l'Environnement et l'Ecole Polytechniques d'El-Harrach, de nouvelles activités de fabrication (et de maintenance) d'incinérateurs, équipés de systèmes de traitement des fumées performants répondant aux normes réglementaires en matière d'environnementales.

C'est la première entreprise en Algérie à avoir mis en exploitation des stations d'incinération aux normes internationales avec une parfaite maîtrise du contrôle des rejets (gazeux, solide, et liquides)

confirmée par des expertises internationales. L'entreprise est certifiée, depuis 2008, selon les référentiels : ISO 9001 v 2015, ISO 14001 v 2015 et OHSAS 18001 v 2007 (GUENANE, 2020 ENHENIDA & BAKI, 2017)

L'entreprise est inscrite dans le cadre du système de management environnementale, un contrat de performance avec le ministère de l'environnement a été signé dans ce cadre.

L'entreprise est implantée dans une zone industrielle, située au sud de la commune d'El-Harrach, avec une superficie de 7000 m² dont 3600 m² couverts, pourvue de voies de circulation permettant un accès facile au site. Cette zone se trouve à proximité de la route de Laraba (Alger).

Ses activités principales se concentrent sur la fabrication de chaudières industrielles à vapeur et à eau chaude, la fabrication de générateurs d'eau chaude ainsi que les incinérateurs avec traitement de fumées de types NAR et à four rotatif (Figure 28).

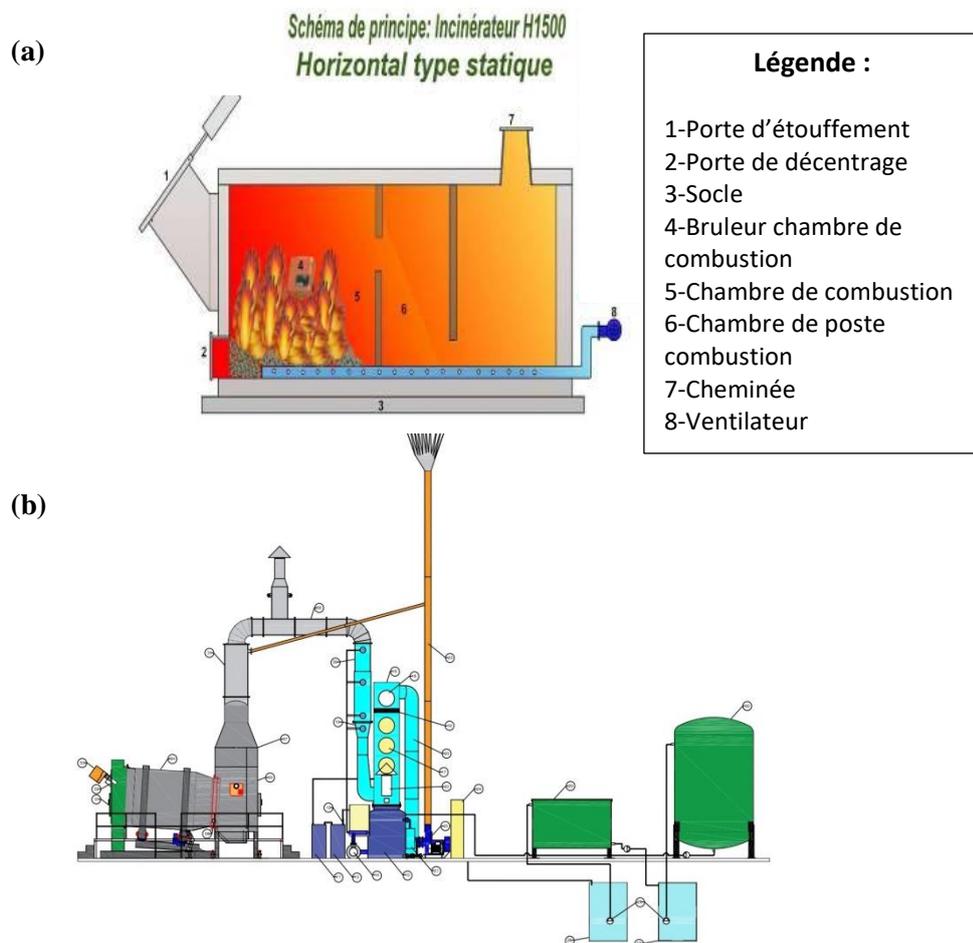


Figure 28 : (a) Incinérateur NAR 1500 et (b) Incinérateur à four rotatif (GUENANE, 2020).

Consciente des enjeux et des défis auxquels elle devra faire face dans un monde économique en perpétuelle mutation, ECFERAL a mené plusieurs actions en vue de s'y préparer au rajeunissement de

son personnel par le recrutement de jeunes issus de l'université et de centres de formation professionnelle (en collaboration avec l'ANEM), à la mise en place d'un programme annuel de formation continue, à l'élaboration d'un plan d'action visant à améliorer le système de gestion intégré de l'information au sein de l'entreprise, ...

Par ailleurs, l'Entreprise s'est inscrite, dès 2008, dans une démarche d'amélioration continue en élaborant un système de management intégré construit autour de trois référentiels : ISO 9001 version 2008 (Qualité), OHSAS 18001 version 2007 (Hygiène, Santé & Sécurité au Travail) et ISO 14001 version 2004 (Environnement).

3.2.2. Démarche de l'étude au niveau de l'entreprise *ECFERAL*

L'objectif de ce travail est, dans un premier lieu, de définir le procédé d'incinération des déchets, son fonctionnement, ainsi que de l'ensemble du matériel et méthodes utilisés pour l'élimination des déchets.

Dans un second lieu, le suivi de l'évolution des concentrations des principaux polluants réglementés (CO, NO_x, SO₂ et poussières totales) émis par les stations d'incinération lors de la combustion de différents types de déchets (produits pharmaceutiques et les *DASRI*).

Chapitre 4 :
Incinération et nouvelles
alternatives technologiques

Il est à noter que les *DAS* sont constitués de différents types qui sont les *DASRI*, *DMA*, *DRCT*, les déchets anatomiques, radioactifs et pharmaceutiques. Seuls les *DASRI*, les *DRCT* et les déchets anatomiques non enterrés sont destinés à l'incinération. Les *DMA* seront envoyés dans les CET pour traitement.

4.1. L'incinération

Dans la partie théorique, nous avons, expliqué le fonctionnement d'un incinérateur type et introduit par la suite les différents fours des incinérateurs à savoir, le four rotatif, à grille, à bain fluidisé et à four statique.

L'incinération correspond à l'oxydation de la partie combustible du déchet, les produits de cette dernière sont à la base des solides (mâchefers et cendres) et des gaz (principalement CO, NO_x, SO₂ et poussières totales).

L'incinération des déchets demande une très grande attention au niveau des conditions de combustion. Une bonne combustion est régie par la règle des *3T* qui résume les 3 paramètres fondamentaux devant être respectés :

- Le PCI ne dépend que de la composition chimique du combustible. En pratique, les produits dont le PCI est supérieur à 3500 kcal/ kg sont dits auto-combustibles. La plupart des équilibres thermodynamiques de la combustion sont favorisés par la température. La seule limitation à la température de combustion réside dans la tenue de matériaux constituant la chambre de combustion. Cette température est en général de l'ordre de 1000 °C, mais elle peut varier entre 500- 600 °C pour des gaz faciles, ou des gaz qui contiennent des molécules non persistantes, et entre 1100- 1200 °C pour des composés difficiles (GUENANE, 2020) ;
- Le temps de séjour doit être suffisant dans le four, 45 min à 1 h pour les déchets et de 2 à 4 s pour les gaz à partir de la zone de postcombustion. La réglementation impose pour les fumées un temps de séjour minimal de 2 s à une température minimale de 850 °C avec une concentration minimale de 6 % en oxygène, de façon contrôlée et homogène, dans les conditions les plus défavorables de fonctionnement, après la dernière injection d'air de combustion (CHAABANE, 2010) ;
- L'écoulement des gaz dans la chambre de postcombustion doit être fortement turbulent. Cette turbulence est garantie par l'injection à grande vitesse d'air secondaire (50 à 80 m.s⁻¹) dans le foyer au moyen de buses de quelques centimètres de diamètre. Cette injection assure le mélange intime des gaz de combustion et de l'air frais, ce qui théoriquement permettant l'oxydation des imbrûlés que des polluants gazeux (CHAABANE, 2010).

Dans cette étude, nous allons approfondir ces notions et s'étaler sur le fonctionnement du four *NAR 5000* d'ECFERAL.

Le four *NAR 5000* est un incinérateur de type horizontal statique à sole fixe. Il est constitué d'une enveloppe métallique renforcée par un revêtement réfractaire interne de 50 mm qui a pour but de réduire les pertes calorifiques à l'extérieur (GUENANE, 2020). Il comporte une partie centrale qui se

compose d'une chambre de combustion principale équipée de deux brûleurs disposés latéralement inclinés vers le bas, d'un premier ventilateur assurant l'apport en air primaire dans le foyer, à travers des buses d'insufflation, situées au ras de la génératrice intérieure et d'une chambre de postcombustion équipée d'un brûleur et d'un ventilateur d'appoint, assurant l'apport de l'air secondaire qui est réparti uniformément par une série de tubulures d'insufflation disposées en surplomb dans l'enceinte de post combustion. Cette dernière se prolonge par une chambre verticale suivie d'une cheminée d'évacuation des fumées de même isolation thermique.

L'opération de l'enfournement est effectuée soit manuellement, soit par une trémie automatique. Pour les déchets solides et par pulvérisation pour les déchets liquides.

L'élimination des résidus (cendres et mâchefers d'incinération) est assurée manuellement par ouverture d'une trappe située à l'autre extrémité de la chambre de combustion (GUENANE, 2020).

Le four est équipé d'un système d'alimentation en continu composé des parties suivantes :

- 1 skip de hauteur maximale de 4 m et de capacité de benne de chargement de 100 L,
- 1 trémie mécano soudée de capacité variable de 0,5 à 2 m³,
- 1 sac d'alimentation réalisé en tôle mécano soudé, avec revêtement réfractaire d'épaisseur de 150 mm,
- 2 cannes d'injection de débit de 100 à 400 L/h pour la pulvérisation des déchets liquides.

En vue d'assurer l'oxydation complète des imbrûlés présents dans les gaz, l'usage requiert un temps de rétention des gaz de combustion de deux secondes au minimum à une température supérieure à 850°C (GUENANE, 2020).

Le four est destiné à traiter une charge évoluant entre 187 et 300 kg/h selon les caractéristiques des déchets produisant de 8 à 22 kg/h de mâchefer et cendres en moyenne, les capacités maximales de destruction de l'incinérateur *NAR 5000* sont regroupées dans le tableau 10 (GUENANE, 2020).

Tableau 10 : Capacités maximales de destruction de l'incinérateur NAR 5000 (GUENANE, 2020).

Déchets	Siccité	MO / MS	PCI MO	Température D'incinération	Capacité Max
Industriels et Médicaments	%	%	kcal /kg MO	°C	kg /h
	77	95	5500	950	187
Hospitaliers	74	88	4500	1100	256

Cet équipement est installé en aval des incinérateurs, il assure le traitement des gaz de combustion des déchets avant leur rejet à l'atmosphère.

Le laveur de fumées est un procédé de traitement de ces fumées dit « humide » permettant de capter : les poussières en phase humide par mouillage en milieu turbulent, les acides en phase humide par

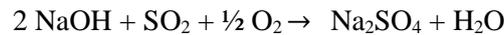
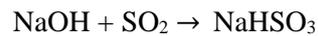
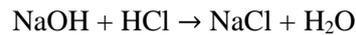
neutralisation au moyen d'un réactif et quelques métaux lourds en phase humide par un lavage d'eau additionnée d'un réactif de neutralisation dans notre cas il s'agit de la soude, s'il y a présence d'acides (GUENANE, 2020).

Le système de lavage et de neutralisation des fumées tubulaire appartient à la famille des laveurs dits à haute énergie.

Les fumées sortent à une température de 900 °C par le haut et subissent une pulvérisation d'eau de recyclage et d'eau propre, eau d'appoint, qui permettra une déconcentration du liquide de lavage. Cette étape permet de pré-saturer, les gaz et de diminuer leurs températures.

Les gaz passent ensuite dans la venturi à volets réglables où la majeure partie des particules est éliminée. Aussi, un transfert de ces particules solides de la phase gazeuse vers la phase liquide s'y déroule (GUENANE, 2020).

Les gaz sortant de la venturi passent du bas vers le haut au travers d'une colonne de lavage équipée de trois (03) plateaux de contact perforés, où se déroulent les réactions de neutralisation des gaz acides par la soude selon le mécanisme réactionnel suivant :



Après neutralisation, les fumées sont extraites à l'aide d'un ventilateur de tirage puis évacuées vers l'atmosphère au travers d'une cheminée, Figure 29 (GUENANE, 2020).

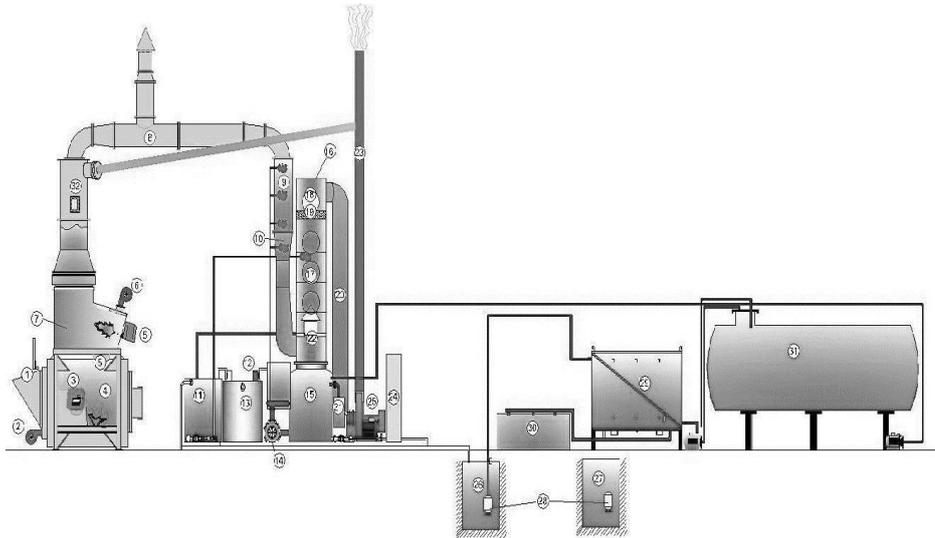


Figure 29 : Schéma de l'incinérateur de modèle « NAR 5000 » équipé d'un laveur (AIT AHSENE, 2016).

Légende :

1-système de charge, 2-Ventilateur primaire, 3- Brûleur chambre de combustion, 4- Combustion, 5- Brûleur de post combustion, 6- ventilateur d'air secondaire, 7- Chambre de post combustion, 8- Junction équipé d'un registre de sécurité, 9- Quench, 10-Venturi, 11-Réservoir de neutralisation de l'eau de la purge, 12- Pompe doseuse, 13 - Réservoir de solution aqueuse saturée de soude caustique, 14 - Une pompe de circulation de la lave arrose, 15- Réservoir d'eau de lavage, 16- Colonne à plateaux, 17- Plateaux d'absorption des gaz acide, 18 - Porte d'inspection, 19 – Devisiculeur, 20 - Gaine de raccordement, 21 – Débordement, 22 - chaleur chinoise, 23 – Cheminée, 24 - Panneau de commande, 25 - Ventilateur de tirage, 26 - Pit d'évacuation des eaux de pluie, 27 - collection Fosse d'eau filtrée, 28- Pompe submersible, 29- Décanteur de l'eau de purge, 30 - Filtre à sable, 31 - Réservoir d'eau, 32- L'échangeur de chaleur.

4.2. Les nouvelles alternatives technologiques

La gestion sécurisée des déchets médicaux, qui englobe le tri, la collecte, le transport, le traitement et l'élimination des déchets, est fondamentale pour des efforts plus vastes visant à fournir des structures et des services de soins de santé sûrs et de qualité. Les pratiques de gestion sécurisée des déchets médicaux appuient également plusieurs des objectifs de développement durable (*ODD*). Une meilleure capacité et un faible impact environnemental avec le minimum coût d'exploitation.

C'est le but que l'on veut réaliser, des études de cas illustrent ces mesures, y compris des exemples de systèmes de recyclage des déchets et le recours à des techniques autres que l'incinération.

4.2.1. Incinérateur doté d'une colonne à charbon actif

Un incinérateur équipé d'une colonne à charbon actif, en plus du système de lavage, l'efficacité de l'adsorption sur charbon actif est généralement élevée. Cette technologie est largement utilisée dans les usines d'incinération des pays développés et a donné d'excellents résultats dans la diminution des polluants tel les PCDD /F et les BTEX selon des études des phénomènes d'adsorption sur charbon actif au cours de ces dernières années (AIT AHSENE, 2016).

L'adsorption des composés organiques et de métaux lourds dans les gaz de fumées d'incinération par injection de adsorbants solides dans les fumées ont été étudiés et ont montré l'utilisation de différents adsorbants tels que le **charbon actif**, la **zéolite**, la **kaolinite**, le **calcaire**, et l'**oxyde d'aluminium**.

Les résultats ont montré que le meilleur adsorbant pour les métaux lourds est le calcaire car il a fourni beaucoup de calcium qui réagit avec les chlorures métalliques.

L'adsorption sur charbon actif est une technologie simple et pratique, mais il y a encore quelques problèmes, tout d'abord, le charbon actif doit être injecté dans les gaz d'échappement refroidis pour éviter la synthèse de Novo. D'autre part, ce procédé consomme une grande quantité de charbon actif, augmentant ainsi le coût de l'installation d'incinération. Pour résoudre ce problème, un système combiné d'un adsorbant et un régénérateur doit être utilisé (AIT AHSENE, 2016).

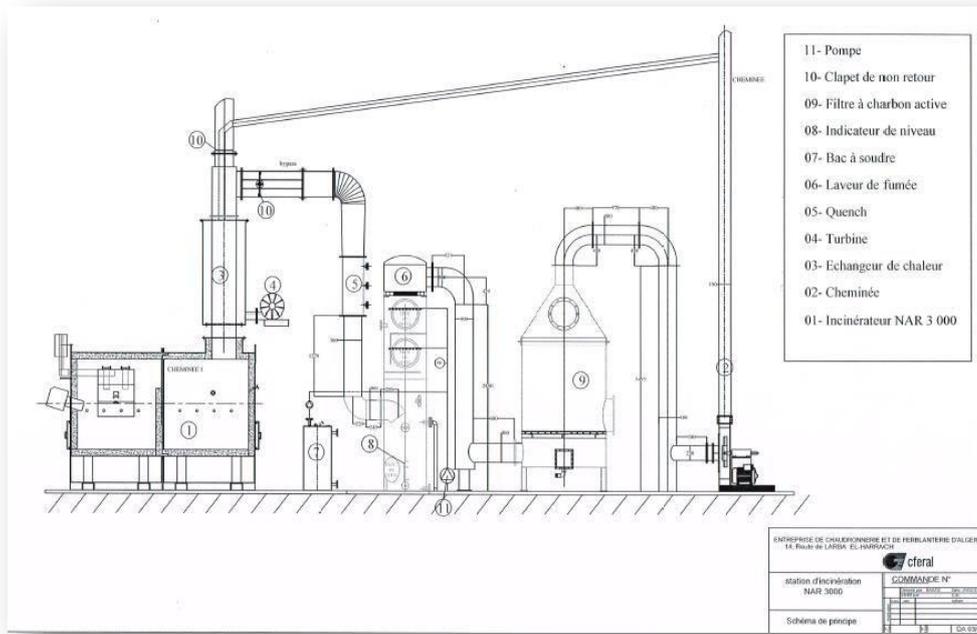


Figure 30 : Schéma d'incinérateur NAR 3000 équipé d'un laveur et d'une colonne de charbon actif (AIT AHSENE, 2016).

4.2.2. Broyage- stérilisation. Autoclaves à vapeur avec broyage intégré

Les autoclaves à vapeur avec fragmentation ou broyage intégrés sont des systèmes à base de vapeur qui ont été mis au point pour améliorer le transfert de chaleur dans les déchets, obtenir un réchauffement plus uniforme des déchets, rendre les déchets non reconnaissables et/ ou faire du système de traitement un procédé continu. Ces systèmes sont parfois considérés comme des autoclaves avancés, des autoclaves hybrides ou des technologies avancées de traitement à la vapeur (OMS, 2014). Le broyage préalable améliore la pénétration et l'efficacité de la vapeur. Le procédé peut aussi inclure une phase de vide préalable ou de vide fractionné pour améliorer la sécurité. À la fin du cycle, les déchets sont considérés comme des déchets non dangereux et peuvent être éliminés en conséquence. Certains déchets peuvent aussi être recyclés.

L'utilisation d'autoclaves avec fragmentation ou broyage intégrés présente les avantages et les inconvénients donnés dans le Tableau 11.

Tableau 11: Avantages et inconvénients du traitement par autoclave (OMS, 2019).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Faible impact sur l'environnement, - Pas de résidus dangereux, - Réduction du volume, - Résidus non reconnaissables, - Conforme à la Convention de Stockholm 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'un raccordement fiable à l'eau et à l'électricité - Qualité de l'eau d'un certain niveau pour protéger l'équipement - Coûts et entretiens plus élevés (pièces mobiles internes) - Opérateurs qualifiés

Aspects sanitaires et environnementaux

Étant donné que les procédés thermiques à faible température comme les autoclaves hybrides génèrent sensiblement moins de pollution atmosphérique que les procédés d'incinération, il n'y a donc pas de limites spécifiques d'émissions de polluants pour les autoclaves hybrides. Le système doit être entièrement clos pour éviter l'émission d'aérosols pendant le procédé de broyage des déchets avec les exigences d'installation suivantes : voltage électrique de 400 volts, raccordement à l'eau, qualité de l'eau pour la génération de la vapeur (eau douce/eau déminéralisée, raccordement aux eaux usées, ...

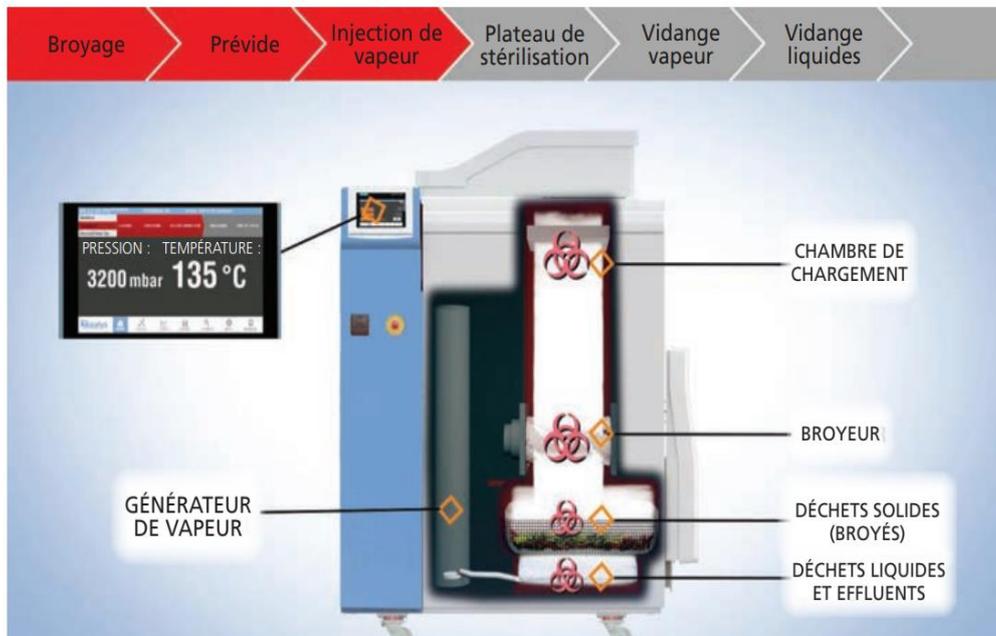


Figure 31 : Schéma d'un autoclave à vapeur doté de broyeur intégré (OMS, 2019).

Capacités et consommations

Les capacités des autoclaves avec broyeur intégré vont de 5 à 3 000 kg/ h. La durée du cycle inclut le temps nécessaire pour la réalisation du traitement y compris l'introduction des déchets, le broyage, l'exposition des déchets à la vapeur et l'évacuation des déchets. Le tableau 12 donne quelques exemples de capacités et des consommations d'autoclaves utilisant un générateur de vapeur intégré et une source de vapeur externe. Les données sont approximatives et sont basées sur une capacité de charge maximale par cycle et une configuration standard des paramètres.

Tableau 12: Capacités et consommations du traitement par autoclave (OMS, 2019).

Capacité (kg/cycle)	2,5	5	10	15
Durée du cycle (min)	30	30	30	45
Consommation énergétique (kWh/cycle)	1	2,5	4	15
Consommation d'eau (l/cycle)	5	10	15	85

Capacité (kg/cycle)	15	23	53	165	375
Durée du cycle (min)	30	30	30	35	45
Consommation énergétique (kWh/cycle)	0,55	1,4	1,7	4	9
Consommation d'eau (l/cycle)	5	15	25	35	50

4.2.3. Traitement thermique par frottement

Le frottement thermique peut (Figure 32) aussi être utilisé pour la destruction de déchets médicaux. La technologie utilise la chaleur générée par le frottement et l'impact des déchets sur les pales d'un rotor, chaleur qui peut être ajustée par des résistances chauffantes, si nécessaire. Les déchets sont chauffés jusqu'à atteindre 150 °C, pendant qu'ils sont broyés pour devenir non reconnaissables. La chaleur est fournie par des chauffages ou générée par un rotor fonctionnant à grande vitesse (typiquement de 1 000 à 2000 t/min). L'humidité est maintenue dans la chambre par pression négative. Pour leur décontamination, les déchets sont maintenus entre 135 et 150 °C. Les vapeurs génèrent un flux entre des échangeurs de chaleur où l'eau est condensée. Les déchets progressent vers un groupe filtrant (charbon actif et filtres *HEPA*) avant d'être libérés dans l'environnement. L'utilisation du traitement thermique par frottement comporte les avantages et les inconvénients donnés dans le Tableau 13.

Le traitement thermique par frottement est une technologie respectueuse de l'environnement. Aucune émission ni aucun effluent ne sont générés. Aucune limite d'émission de polluants spécifique ne

s'applique aux systèmes de traitement thermique par frottement. Le système doit être complètement clos pour éviter l'émission d'aérosols pendant le procédé de broyage des déchets.

Tableau 13: Avantages et inconvénients du traitement thermique par frottement (OMS, 2019).

Avantages	Inconvénients
Faible impact sur l'environnement, Résidus non dangereux, Réduction du volume de déchets, Résidus non reconnaissables, Conformité à la Convention de Stockholm.	Nécessité de raccordement à une source d'électricité fiable, Coût d'entretien plus élevé (pièces mobiles internes).

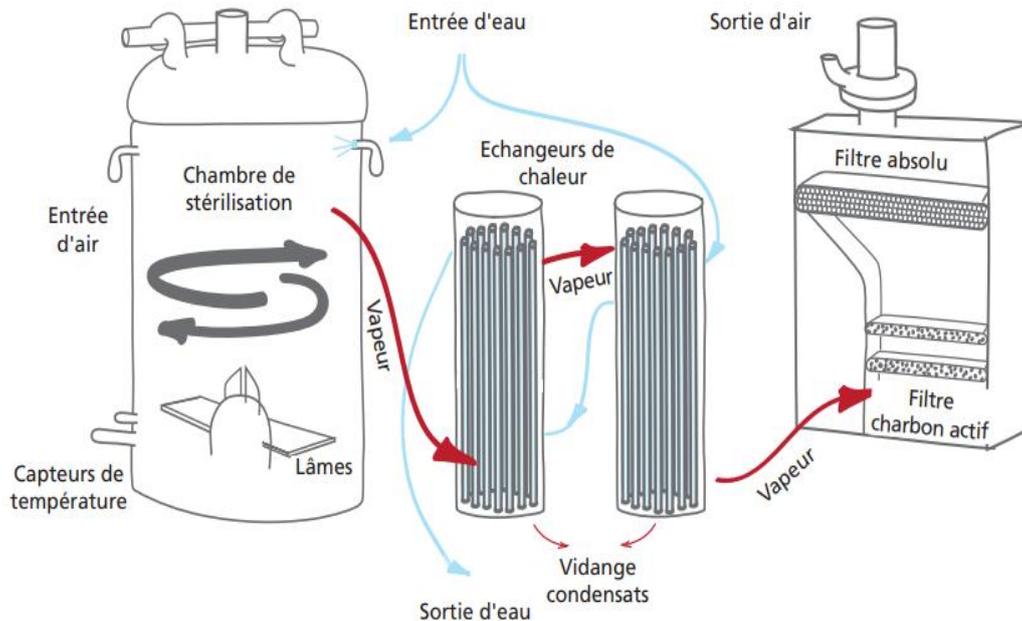


Figure 32 : Procédé de traitement thermique par frottement (OMS, 2019).

Les capacités des systèmes de traitement thermique par frottement varient de 10 à 600 kg/h. La durée de cycle inclut le temps nécessaire pour introduire les déchets, les exposer au frottement thermique et les évacuer. Le tableau 14 donne quelques exemples de capacités et de consommations.

Tableau 14: Capacités et consommations du traitement thermique par frottement (OMS, 2019).

Capacité (kg/cycle)	11- 13	18- 20	45- 50	55- 60
Durée du cycle (min)	40- 50	30- 45	45- 50	35- 45
Consommation énergétique (kWh/cycle)	10- 12	12- 14	30- 35	35- 40
Consommation d'eau (l/cycle)	5- 15	15- 40	30- 50	75- 90

4.2.4. Technologie à base d'hypochlorite de sodium

Cette technologie de traitement physico-chimique assure la désinfection des déchets infectieux grâce au pouvoir oxydant de l'hypochlorite de sodium (figure 33). À la différence du traitement manuel des déchets infectieux par des produits chimiques, le procédé est automatisé et contrôlé en continu pour garantir une décontamination efficace et sans danger des déchets. On manque de preuves et d'exemples quant à l'efficacité de cette technologie. Le système contrôle automatiquement les paramètres physico-chimiques pendant le procédé d'oxydation (pH, température et conductibilité). Les déchets sont introduits dans le système par un tapis roulant ou directement dans le broyeur où ils sont broyés dans des conditions de pression négative et dans une atmosphère oxydante. L'air est filtré par un filtre *HEPA*. Pendant le procédé d'oxydation dans un réacteur, un système d'aspiration d'air fait passer tous les gaz dans un piège chimique liquide (neutralisation), puis les fait traverser des filtres à charbon, pour éviter de libérer des émissions dangereuses dans l'atmosphère. Après la décontamination, les déchets sont neutralisés avec du thiosulfate de sodium pour s'assurer qu'il ne reste pas de chlore libre. L'utilisation du traitement automatisé à l'hypochlorite de sodium comporte les avantages et les inconvénients donnés dans le Tableau 15.

Tableau 15: Avantages et inconvénients du traitement à l'hypochlorite de sodium (OMS, 2019).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Faible impact sur l'environnement, - Pas de résidus dangereux, - Réduction du volume de déchets - Résidus non reconnaissables - Conforme à la Convention de Stockholm 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficile de faire un suivi en temps réel de la concentration chimique - Nécessaire l'application de mesures strictes de sécurité professionnelle - Coûts et entretiens plus élevés (pièces mobiles internes)

Aspects sanitaires et environnementaux

L'hypochlorite de sodium est un oxydant puissant et ses réactions d'oxydation sont corrosives. Les solutions provoquent des brûlures sur la peau et peuvent entraîner des lésions oculaires, en particulier lorsqu'elles sont concentrées. Le système doit donc être clos et automatisé. Il est nécessaire de prendre des mesures strictes de santé et de sécurité au travail pour protéger les agents de santé et l'environnement :

- Intrait : hypochlorite de sodium et thiosulfate de sodium,
- Raccordement électrique au 380- 400 V,
- Raccordement à l'eau,
- Raccordement aux eaux usées, ...

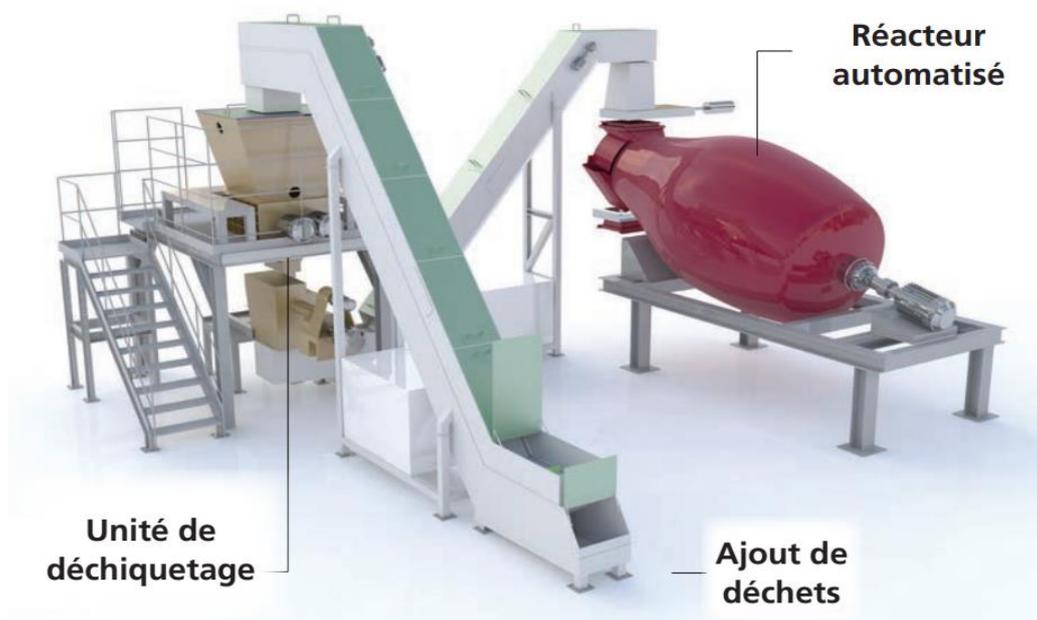


Figure 33 : Système de traitement à l'hypochlorite de sodium (OMS, 2019).

Capacités et consommations

Les capacités des systèmes de traitement à l'hypochlorite de sodium varient de 600 à 3 000 kg/h. La durée de cycle inclut le temps nécessaire pour introduire les déchets, les traiter et les évacuer. Le tableau 16 donne quelques exemples de capacités et de consommations. La consommation est basée sur une capacité de charge maximale par cycle avec une configuration standard des paramètres.

Tableau 16: Capacités et consommations du traitement à l'hypochlorite de sodium (OMS, 2019).

Capacité (lot*/cycle)	600	3000
Durée du cycle (min)	180	180
Consommation énergétique (kWh/cycle)	180	360
Consommation d'eau (l/cycle)	600	3000
Hypochlorite de sodium à 12- 15 % (L/cycle)	150-300	750-1350
Thiosulfate de sodium à 95 % (L/cycle)	1,5-3	4,5-6

* *lot* (en russe : лот) est une ancienne unité russe de poids (masse) égale à 12,79726 g

Chapitre 5 :

Résultats et interprétations

5.1. Partie 01 - La gestion des DAS au niveau de l'hôpital

5.1.1. Méthode d'étude de la gestion des déchets hospitaliers à l'hôpital de Kouba

5.1.1.1. Le tri

5.1.1.1.1. Tri à la source

Le tri à la source consiste à mettre en place un système de séparation des déchets en fonction de leur typologie, sur le lieu-même de leur production, au moment de la réalisation d'un soin par le corps médical. Cela permettra d'assurer la sécurité des personnes et de maîtriser les risques, dans le respect des règles d'hygiène.

Description du dispositif

Les salles de soins se doivent d'utiliser les chariots de soins dotés de corbeilles métalliques équipées de sacs, de couleur indiquée à chaque type de déchets (noir, jaune, ...), de CPT et des équipements de soin (Figure 34).



Figure 34 : Chariot de soin.

5.1.1.1.2. Tri dans la salle de soin

DMA, DASRI et DRTC

Avec un système de tri à trois conteneurs, contenant respectivement les déchets ménagers, les déchets infectieux et les déchets toxiques, les sacs sont placés soit, dans des conteneurs rigides soit sur des supports à roulettes.

La figure 35 montre que le tri est bien respecté. Dans le sac noir, réservé aux déchets ménagers, il y a que des emballages de seringue, de compresse et ceux de l'alimentation. Dans le sac jaune, réservé aux déchets infectieux, il n'y a que des compresses utilisées, les seringues sans piqûres. Dans le sac rouge, il ne doit y avoir que les déchets toxiques.



Figure 35 : Image explicative du principe de tri des déchets et support fixe avec les différents sacs.

Déchets piquants et tranchants des DASRI

Pour ce type de déchets, on utilise des conteneurs jaunes de volumes allant de 3 à 10 L selon le besoin des services avec un système de fermeture bien sécurisée. Il est à noter que ces derniers ne doivent être remplis que du 2/3 de leurs capacités et ne durent que 72 h, Figure 36.



Figure 36 : Conteneur des piquants/tranchants.

5.1.1.1.3. Déchets au niveau de l'hôpital

DMA

L'Hôpital se dote de conteneurs équipés de sac plastique noir (Figure 37). Ils sont installés dans tous les couloirs de l'hôpital.



Figure 37 : Conteneur pour les déchets ménagers.

Les déchets sont collectés régulièrement par les agents de nettoyage, trois fois par jour avec un programme quotidien et un circuit de collecte bien planifiés : 7 h 30 – 11 h et 15 h, pour les services à risque. Ils ne doivent, en aucun, s'accumuler à l'endroit où ils sont produits.

Chaque catégorie de déchets sera stockée séparément dans une salle intermédiaire qui se situe tout près de la sortie de la monte de charge.

Au niveau de l'hôpital de Kouba, un circuit bien étudié est mis en place afin de faire circuler les déchets d'une manière optimale et sécurisée, tel que chaque étage est équipé d'une salle intermédiaire dans laquelle les ordures sont stockées temporairement puis transportées vers les sorties à l'aide des montes de charges comme le montre les figures suivantes.

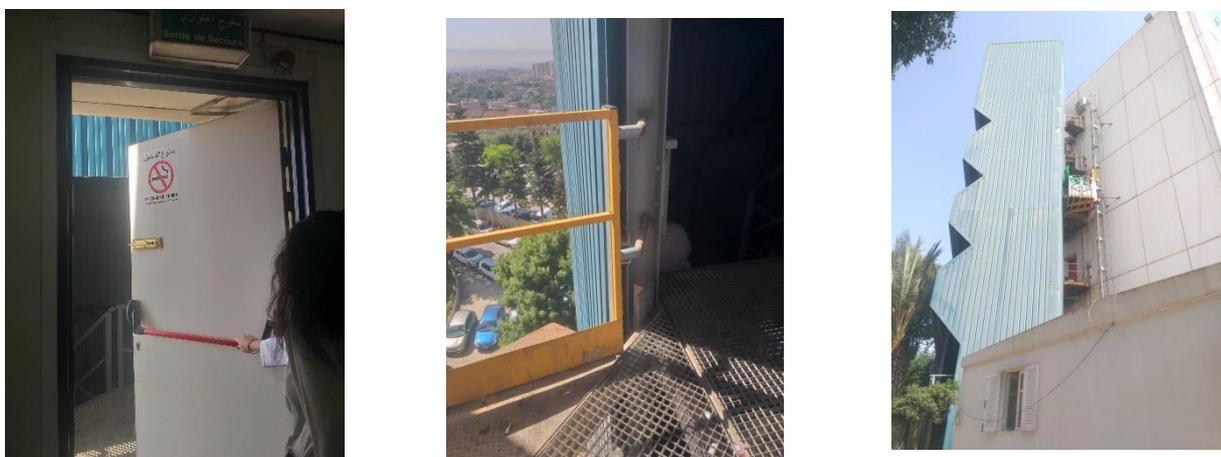


Figure 38 : Montes de charge au niveau de l'hôpital de Kouba.

Une fois les ordures placées à l'extérieur, un agent d'entretien est responsable du déplacement de ces derniers dans un lieu de stockage doté de conteneurs à grande capacité de remplissage d'ordures. Un preneur passera par la suite pour les récupérer afin de les traiter. ECFERAL est l'une des stations d'incinération avec laquelle l'hôpital de Kouba avait collaboré afin d'éliminer ses déchets après l'arrêt de son incinérateur suite à des problèmes techniques (manque de pièces).

5.1.2. Evaluation des quantités de déchets produits

L'Agence Nationale des Déchets a lancé une enquête nationale d'évaluation des déchets hospitaliers en vue d'adopter une gestion permettant de réduire au maximum leur impact écologique. L'étude porte sur plusieurs établissements de santé dont l'hôpital de Kouba. La production journalière de déchets pour un nombre de malade tournant au tour de 173 patients est regroupée dans le tableau 17. Ces résultats montrent une production journalière par lit occupé de l'ordre de 2,41 kg/j/lit.

Tableau 17 : Quantités de déchets produites (AND, 2022).

Type de déchets	DMA	DASRI	DRTC	Anatomiques	OPCT
Quantités produites (kg/J)	238,45	143,27	12,3	14,55	8,9
Pourcentage (%)	57,11	34,32	2,95	3,49	2,13

Le détail des déchets produits dans les différents services de l'Hôpital est donné dans le tableau 18 en kg/jour :

Tableau 18 : Quantités de déchets produites dans les services de l'Hôpital (AND, 2022).

Types de déchet/Services	DMA	DASRI	DRTC	Anatomiques	OPCT
Laboratoire	8,35	14,6	/	/	/
Urgences	29,5	18,7	/	/	/
Chirurgie	21,2	17,45	0,95		2,25
Bloc d'accouchement	31,1	23,62	1,9	14,55	/
Médecine Interne	35,85	2,5	6,25	/	1,2
Maternité	19,9	4,5	/	/	0,65
Gynécologie	23,5	13 ;35	/	/	/
Néo	8	12,2	0,45	/	2,65
O.R.L	30,6	7,9	2,75	/	1,15
Bloc opératoire	8,3	22,45	/	/	/
Cuisine	14,74	/	/	/	/
Autres	7,4	6	/	/	1
Total	238,45	143,27	12,3	14,55	8,9

Il est à noter que la collecte sélective des différents types de déchets médicaux a été effectuée dans 70 % des services de l'hôpital étant donné que 30 % des services sont en travaux.

On constate que la production moyenne des *DASRI* au niveau des différentes unités de soins de l'hôpital a été variable. Les fortes quantités ont été enregistrées dans le bloc d'accouchement (23,62 kg/jour) et le bloc opératoire (22,45 kg/jour). Les faibles productions ont été observées au niveau des services de médecine interne et maternité, la quantité globale est de 143,27 kg/jour soit 34 % de la quantité globale des déchets de l'hôpital.

5.2. Partie 2 - Elimination des DAS au niveau de la station d'incinération d'ECFERAL

Il est vivement recommandé de consulter l'annexe II qui traite la source et les mécanismes de formation avec les différentes réactions chimiques ainsi que l'effet sur la santé et l'environnement de tout type de rejet.

5.2.1. Campagne relative à l'analyse des rejets gazeux

L'objectif de cette campagne est de mieux comprendre les divers phénomènes impliqués dans la destruction par combustion des *DAS*, dans la station d'incinération d'ECFERAL. Les constatations tirées auront des effets non seulement sur le plan technique (optimisation du système d'incinération, augmentation des flux de déchets incinérés) mais aussi sur le plan environnemental (respect des normes d'émission algériennes et européennes) et économiques (économies d'énergie). Le principe est de résumer les résultats obtenus relatifs à l'incinération des produits étudiés pour déterminer les masses d'enfournement, temps entre deux enfournements ou le temps nécessaire à la combustion pour un enfournement donné.

L'essai doit durer au moins une heure pour laisser à l'installation le temps d'atteindre ses conditions d'équilibre ou de stabilité. Durant la campagne d'analyse, tous les paramètres doivent rester constants y compris les paramètres de la tour de lavage.

Cependant, un enregistrement des principaux paramètres de combustion (températures du four et postcombustion, teneur en O₂, teneur en CO, teneur en NO_x et teneur en SO₂) est réalisé par les techniciens de l'unité.

Concernant les particules, un prélèvement iso-cinétique d'une certaine quantité de gaz de combustion est réalisé au niveau de la cheminée afin de déterminer la concentration en poussières dans ces gaz. Les résultats sont traités et les concentrations en CO, NO_x, SO₂ et poussières sont comparées aux normes algériennes.

5.2.1.1. Résultats des analyses effectuées

Le tableau 19 et la figure 39 présentent les concentrations des différents gaz issus de la combustion des *DAS* au cours de l'incinération. Il est à noter que la quantité traitée est de l'ordre de 196 kg avec une cadence d'enfournement de 4 kg/min soit 5,76 t/jour. L'étude a été faite sur uniquement 53 kg des *DAS* traités durant la journée soit 8 min de combustion.

Tableau 19: Concentrations des polluants issus de la combustion des DAS

Gaz	NO _x (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)	CO (mg/m ³)	CO ₂ (mg/m ³)	O ₂ (%)
Quantité moyenne	121,74	3,28	16,88	15	10,47
Normes	300	300	150	150	> 6%

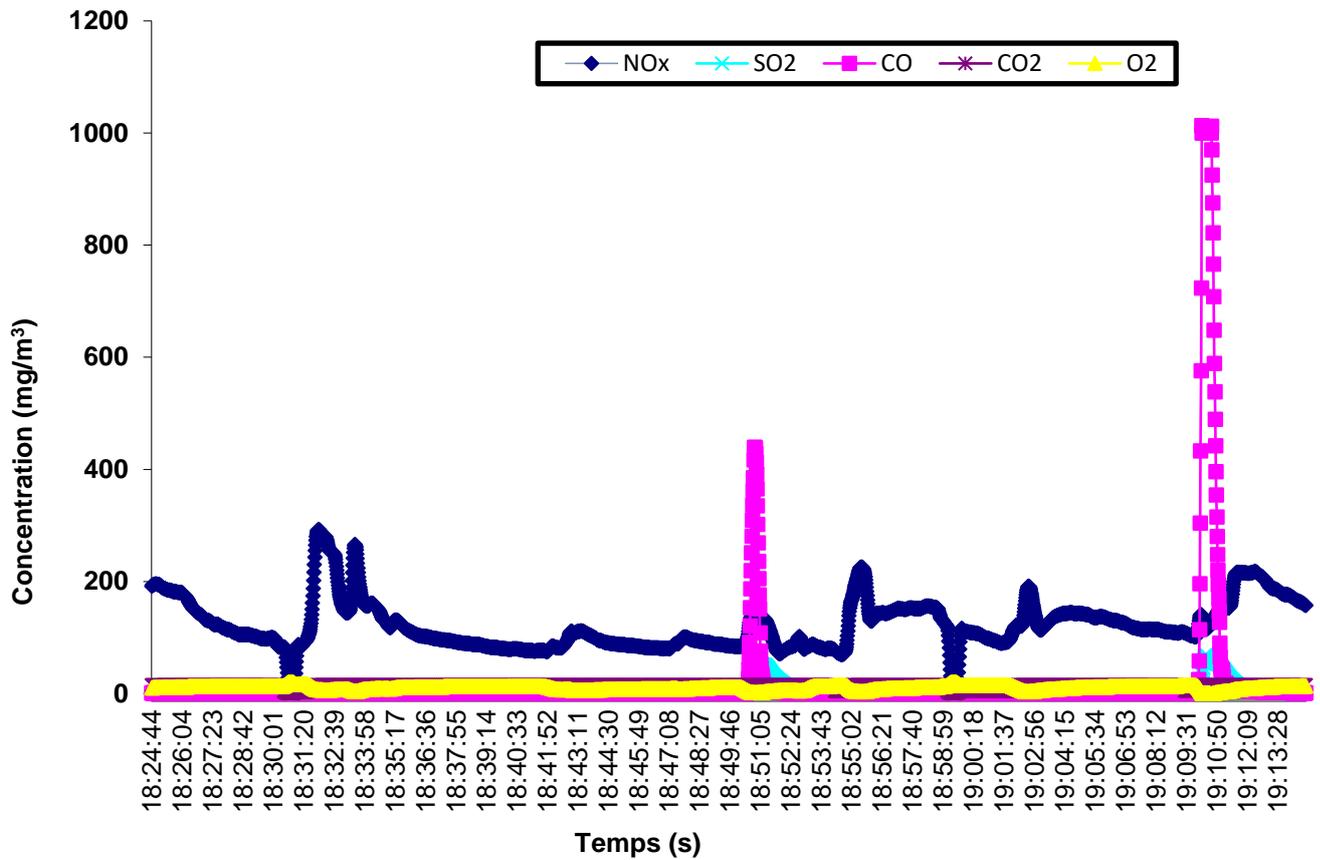


Figure 39 : Concentrations des différents gaz issus de la combustion des DAS au cours de l'incinération

Il ressort du tableau 19 que les rejets après traitement sont tous au-dessus des quantités exigées par les normes. Néanmoins, ces derniers peuvent être rejetés dans l'atmosphère en toute sécurité.

Par ailleurs, on remarque sur la figure 39 la présence de deux pics qui traduisent le fait d'ajouter un sac de 5 kg et un autre de 7 kg de déchets. Ces derniers génèrent, vraisemblablement, de grandes quantités de CO. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la combustion ne soit pas complète à cause de la composition du sac ou du manque d'oxygène au niveau du four.

La quantité de particules dans les fumées est calculée à partir des pesées des filtres avant et après prélèvement par une balance type SCALTEC SPB31-10-4 mg, selon les équations 1,2 et 3.

$$m_{\text{particules}} = m_{\text{filtre chargé}} - m_{\text{filtre vide}} \quad (1)$$

$$C_{\text{particules}} = m_{\text{particules}} / V_{\text{gaz analysé}} \quad (2)$$

$$V_{\text{gaz analysé}} = (273 / (273 + T)) * V_{\text{gaz mesuré}} \quad (3)$$

Où : $C_{\text{particules}}$ représente la concentration en particules dans les fumées aux conditions normales en mg/Nm^3 sur gaz sec, $m_{\text{particules}}$ est la masse des particules piégées sur le filtre en mg, $V_{\text{gaz analysé}}$ est le volume de gaz prélevé en Nm^3 , $V_{\text{gaz mesuré}}$ est le volume de gaz mesuré par le compteur de gaz en m^3 et T la température des gaz au niveau du compteur de gaz en $^{\circ}\text{C}$.

Afin d'avoir des résultats comparables et de s'affranchir des effets de dilution, les résultats sont exprimés pour une teneur en O_2 définie par les directives européennes. Cette teneur en O_2 est variable selon le type d'installation de combustion afin d'être proche des valeurs réelles.

Dans le cas d'un incinérateur de déchets, la teneur en oxygène de référence est fixée à 11 %. La valeur corrigée se calcule alors suivant l'équation (4).

$$C_{\text{Particules (corrigée)}} = \frac{21-11}{21 - [\text{O}_2]_{\text{mesuré}}} * C_{\text{Particules}} \quad (4)$$

Où : $C_{\text{Particules (corrigée)}}$ est la concentration en particules dans les fumées en mg/Nm^3 à 11 % d' O_2 et $[\text{O}_2]_{\text{mesuré}}$ la concentration en O_2 mesurée dans les fumées en % volumique.

Le tableau 20 regroupe les masses des particules piégées dans les rejets atmosphériques des différents produits étudiés. Il est à noter que la couleur du filtre chargé est noirâtre ; ce qui est caractéristique des poussières issues de la combustion.

Tableau 20: Masses des particules piégées dans les rejets atmosphériques.

Masses/Produit	m filtre vide (g)	m filtre chargé (g)	m particules (g)	m particules (mg)
DAS	0.443	0,452	0.009	9,3

On relève la température des gaz au niveau du compteur de gaz qui vaut $293,62^{\circ}\text{C}$ et on désigne par V_{initial} le volume à l'instant $t = 0$. Le volume après 5 h de prélèvement est noté V_{final} . Ce qui donne le volume mesuré par le biais de l'équation (5).

$$V_{\text{gaz mesuré}} = V_{\text{final}} - V_{\text{initial}} \quad (5)$$

Les calculs basés sur les équations précédentes donnent les concentrations des particules piégées dans les rejets atmosphériques des différents produits étudiés (Tableau 21).

Tableau 21: Concentrations des particules piégées dans les rejets atmosphériques.

Masses, Volumes/Produit	V _{initial} (L)	V _{final} (L)	V _{gaz mesuré} (m ³)	V _{gaz analysé} (Nm ³)	C _{Particules} (mg/Nm ³)
DAS	8517	9517	1	0,4818	19.30

De tout ce qui précède et l'équation (4), on peut accéder à la concentration moyenne de l'oxygène mesurée au cours de la période de prélèvement de poussières à 11% et celle mesurée est de 9,89% (Tableau 22).

Tableau 22: Concentration moyenne de l'oxygène.

Masses/Produit	C _{Particules} (mg/Nm ³)	C _{Particules (corrigée)} (mg/Nm ³)	Normes algériennes (mg/Nm ³)
DAS	19.30	17,38	50

Pour $[O_2]_{mesuré} = 9,89 \%$

La valeur limite est fixée par le Décret exécutif n° 06-138 du 16 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 50 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce les contrôles. De ce fait, on constate que les concentrations moyennes mesurées, c.-à-d. 19,30 mg/Nm³ avec une valeur corrigée de l'ordre de 17,38 mg/Nm³ est inférieure à la limite fixée par la réglementation algérienne qui est de 50 mg/Nm³.

5.2.2. Campagne relative aux métaux lourds

A l'aide de l'appareil NITON XL3t qui est utilisé pour l'analyse des éléments métalliques contenus dans les poussières est les résidus d'incinération solides. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau 23.

Tableau 23: Teneurs en métaux mesurées dans les cendres après incinération des DAS.

Composition	ppm	M (g/mole)	mg/Nm ³
Mo	10,099	95,95	0,04326
Zr	68,214	91,224	0,22780
Sr	916,459	87,62	3,58303
U	< LOD	/	/
Rb	98,031	85,47	0,374049
Th	< LOD	/	/
Pb	< LOD	/	/
Au	< LOD	/	/
Se	< LOD	/	/
As	< LOD	/	/
Hg	< LOD	/	/
Zn	192,373	65,38	0,561448
W	< LOD	/	/
Cu	110,010	63,55	0,31210
Ni	< LOD	/	/
Co	< LOD	/	/
Fe	4692,778	55,85	11,70052
Mn	771,350	54,94	1,89187
Cr	< LOD	/	/
V	< LOD	/	/
Ti	129,357	47,87	0,27644
Sc	467,412	44,96	0,93816
Ca	78946,719	40,078	141,25118
K	58852,586	30,098	79,07791
S	14982,112	32,065	21,44649
Ba	102,034	137,327	0,62554
Cs	< LOD	/	/
Te	< LOD	/	/
Sb	< LOD	/	/
Sn	< LOD	/	/
Cd	< LOD	/	/
Ag	< LOD	/	/
Pd	< LOD	/	/

Avec : **LOD = Limit of detection** : elle représente la plus petite teneur en substance pouvant être détectée, identifiée et/ou quantifiée dans un échantillon. Dans le cas des substances pour lesquelles aucune limite autorisée n'a été fixée, la capacité de détection est la concentration la plus faible à laquelle une méthode peut détecter des échantillons véritablement contaminés. (Source : *Décision 2002/657 de la Commission du 12 août 2002 portant modalités d'application de la directive 96/23/CE du Conseil en ce qui concerne les performances des méthodes d'analyse et l'interprétation des résultats.*)

Afin que l'on puisse faire la comparaison aux normes une conversion du ppm au mg/Nm³ est nécessaire, cela se fait suivant cette formule :

$$C_m = C_v * M / V_N \quad (6)$$

Où : C_m est la concentration en polluant en (mg/Nm³), C_v est la concentration en polluant (ppm) et V_N est le volume molaire d'un gaz parfait (22,0 l/mol). M étant la masse molaire en g/mole du polluant.

5.2.2.1. Interprétation des résultats

La caractérisation des éléments métalliques associés aux particules de cendres et de fumées a été réalisée par la technique de fluorescence X (XRF).

Selon le Décret exécutif n° 06-138 du 16 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 50 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides notamment les métaux lourds auxquels nous nous intéressons dans cette partie.

D'après les valeurs du tableau 1 (lignes 9, 10 et 11) qui s'intéressent respectivement aux métaux :

- Cd, Hg et Tl avec une limitation de 0,25 mg/Nm³
- As, Se Te avec une limitation de 1 mg/Nm³
- Sb, Cr, Co, Cu, Sn, Mn, Ni, V et Zn avec une limitation de 5 mg/Nm³

On constate que pour la majorité des métaux dits toxiques qui sont exigés par la réglementation (tableau24), selon notre analyses ces derniers sont en *LOD* autrement dit leurs teneurs en substance sont tellement petites qu'elles ne peuvent même pas être détectées sauf pour le cas de Mn, Cu et Zn qui sont détectés, avec les valeurs respectives de 1,89, 0,312 et 0,561 mg/Nm³ et qui sont nettement inférieurs à 5 mg/Nm³.

Tableau 24: Valeurs limites réglementées des rejets atmosphériques (GUENANE, 2020).

17 Rabie El Aouel 1427 16 avril 2006		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 24		13
ANNEXE I				
VALEURS LIMITES DES PARAMETRES DE REJETS ATMOSPHERIQUES				
N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE DES VALEURS LIMITES DES INDUSTRIES ANCIENNES
1	Poussières totales	mg/Nm3	50	100
2	Oxydes de soufre (exprimés en dioxyde de soufre)	*	300	500
3	Oxydes d'azote (exprimés en dioxyde d'azote)	*	300	500
4	Protoxyde d'azote	*	300	500
5	Chlorure d'hydrogène et autres composés inorganiques gazeux du chlore (exprimé en HCL).	*	50	100
6	Fluor et composés inorganiques du fluor (gaz, vésicule et particules), (exprimés en HF)	*	10	20
7	Composés organiques volatils (Rejet total de composés organiques volatils à l'exclusion du méthane)	*	150	200
8	Métaux et composés de métaux (gazeux et particulaires)	*	5	10
9	Rejets de cadmium, mercure et thallium, et de leurs composés	*	0,25	0,5
10	Rejets d'arsenic, sélénium et tellure et de leurs composés autres que ceux visés parmi les rejets de substances cancérigènes	*	1	2
11	Rejets d'antimoine, chrome, cobalt, cuivre, étain, manganèse, nickel, vanadium et zinc, et de leurs composés autres que ceux visés parmi les rejets de substances cancérigènes	*	5	10
12	Phosphine, phosgène	*	1	2
13	Acide cyanhydrique exprimé en HCN, brome et composés inorganiques gazeux du chrome exprimés en HBr, chlore exprimé en HCl, Hydrogène sulfuré	*	5	10
14	Ammoniac	*	50	100
15	Amiante	*	0,1	0,5
16	Autres fibres que l'amiante	*	1	50

Cogénération et valorisation énergétique

Les *DAS* sont acheminés vers les usines d'incinération pour traitement. Ce processus produit de l'énergie sous forme de vapeur sous pression pouvant ainsi être captée pour usage direct, par exemple, alimenter des réseaux de chauffage urbain ou pour chauffer des serres, par un simple transfert de chaleur avec les vapeurs générées par le procédé de combustion, ou après transition par un turbo-alternateur qui la transforme en énergie électrique. Celle-ci pouvant alors être revendue à des distributeurs d'électricité.

L'unité de cogénération consiste d'abord en un système d'échange thermique (ou chaudière de récupération) par lequel l'énergie thermique des gaz d'incinération est transférée dans un fluide caloporteur (eau). Une vapeur à haute pression en résulte qui actionne ensuite une turbine à vapeur transformant la puissance cinétique en puissance électrique. Après la détente, la vapeur émergeant à basse pression peut être utilisée comme source de chauffage en passant normalement par un condenseur, Figure 40.

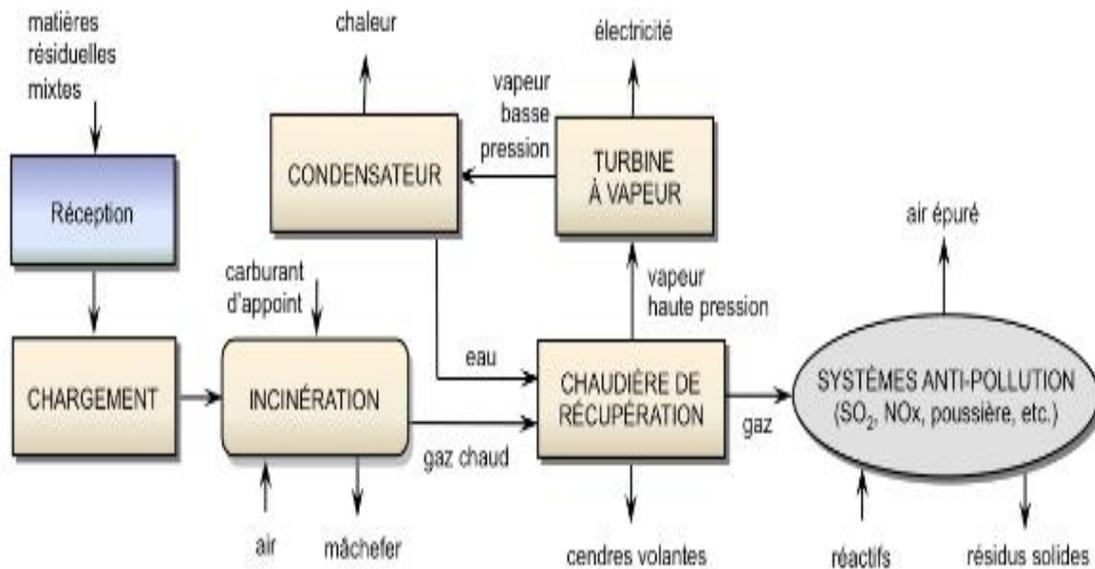


Figure 40 : Schéma d'écoulement typique d'un incinérateur avec une unité de cogénération (MA_MUNICIPALIT_EFFICACE, 2022)

Donc, nous proposons, dans cette étude, une unité d'incinération à four statique à cogénération d'électricité et de chaleur par turbine à vapeur. L'ordre de grandeur de l'efficacité énergétique en

électricité avoisine les 15 – 30 % et il est de l'ordre de 50 à 70 % en chaleur et dans le cas d'une génération de chaleur seulement le rendement est de l'ordre de 70 à 80 %.

Calcul de l'énergie valorisable produite en un an

L'énergie valorisable dans le cas d'un incinérateur statique à cogénération est estimée par la relation :

$$E_{\text{valorisable}} = mc * PCI \quad (7)$$

Où : mc (= 5,76 t/j) est la masse des déchets à incinérer (kg), PCI étant le pouvoir calorifique inférieur des déchets (4500 kcal/kg soit 18828 kJ/kg).

La valeur de l'énergie valorisable est alors de l'ordre de : 108 449.28 MWh/an.

Estimation de la production énergétique annuelle

Dans le cas où 15 à 20 % de cette énergie produite est autoconsommée par l'installation d'incinération :

$$E_{\text{valorisable}} * 0.175 = 108\,449.28 * 0.175 = 18\,978,624 \text{ MWh/an}$$

La production annuelle d'électricité et de chaleur est donc de :

$$E_{\text{valorisable restante}} = 108\,449.28 - 18\,978,624 = 89\,470,656 \text{ MWh /an}$$

Donc, l'énergie électrique produite (15 à 30 %) sera :

$$E_{\text{électrique}} = E_{\text{valorisable restante}} \times 0,225 = 20\,130,8976 \text{ MWh}_{\text{électrique}}/\text{an}$$

Avec un rendement électrique de l'unité estimé à :

$$R_{\text{électrique}} = \frac{20\,130,8976}{108\,449.28} * 100 = 18,6 \%$$

Et pour l'énergie thermique (50 à 70 %) :

$$E_{\text{thermique}} = E_{\text{valorisable restante}} \times 0,6 = 53\,682,3936 \text{ MWh}_{\text{thermique}}/\text{an}$$

$$R_{\text{thermique}} = \frac{53\,682,3936}{108\,449.28} * 100 = 49,5 \%$$

Conclusion

Les déchets hospitaliers doivent faire l'objet d'une gestion spécifique et rationnelle visant à éviter toute atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement.

Durant notre étude au sein de *l'EPH* de Kouba et particulièrement au niveau des services d'O.R.L, médecine interne, chirurgie générale, maternité et gynécologie, pédiatrie, urgences, laboratoire et pharmacie, et d'après les constatations enregistrées durant ce travail, il ressort que :

- Des efforts fournis par les responsables de *l'EPH* en matière de dotation des équipements et du matériel de collecte des déchets.
- Le contrôle du tri s'effectue quotidiennement par le responsable du service ;
- Le traitement des déchets s'effectue par une entreprise privée selon les normes ;
- L'insuffisance de formation et de sensibilisation du personnel en matière de gestion des déchets.

Par cela, on peut constater qu'il y a un besoin important pour améliorer l'état actuel de la gestion des déchets ainsi que la formation et la sensibilisation doivent être généralisées non seulement pour les manipulateurs des déchets mais aussi au personnel de santé et même pour le public.

L'incinérateur est considéré comme le moyen le plus efficace pour réduire le volume et la toxicité des déchets en général et les déchets de soins en particulier. Mais les gaz dégagés par l'incinérateur doivent être traités au mieux pour ne pas nuire à la santé humaine.

Aussi et en perspective il est nécessaire d'optimiser et modéliser le dispositif de traitement des effluents gazeux par le procédé humide utilisé par l'entreprise *ECFERAL*.

Conclusion générale

Les déchets hospitaliers doivent faire l'objet d'une gestion spécifique et rationnelle visant à éviter toute atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement. D'où la nécessité de faire une étude préalable sur les déchets qui sont produits au niveau des hôpitaux ou qui sont susceptibles de l'être, pour déterminer leur quantité et leur typologie et programmer ainsi le matériel et les équipements de conditionnement, de stockage, de transport, de traitement, ainsi que le personnel nécessaire pour cette gestion compte tenu entre autres, de la capacité litière occupée de l'hôpital, et du nombre de ses unités.

La formation et la sensibilisation du personnel de santé, du personnel responsable de la collecte des *DAS*, des patients et des accompagnateurs doivent faire partie intégrante du plan de gestion des *DAS*, car dans de nombreux hôpitaux, il a été constaté que les erreurs humaines constituent une des causes parmi les plus importantes de mauvaises pratiques dans le processus de gestion des *DAS*.

Notre travail orienté vers l'étude de la gestion des déchets de l'Etablissement Public Hospitalier « Bachir MENTOURI » de Kouba, nous a permis de dégager les remarques suivantes :

- Les règles relatives au processus de gestion n'ont pas été parfaitement respectées en raison de l'irresponsabilité de certains membres du personnel ;
- Le non-respect de tri à la source par la majorité des personnels ;
- Le manque de formation et de sensibilisation du personnel de santé ;
- L'absence d'une technique de valorisation des déchets.

De l'état actuel de la gestion des déchets hospitaliers au niveau de l'hôpital de Kouba et selon les données collectées, nous avons constaté que ces derniers sont principalement composés de déchets ménagers et assimilés (DMA) et de déchets d'activité de soins à risque infectieux (DASRI).

Pour améliorer la gestion des déchets hospitaliers, on recommande de :

- Mettre l'accent sur la réduction à la source
- Planifier et adopter une politique à long terme
- Investir dans la formation et l'équipement pour une bonne gestion au niveau de l'hôpital.
- Encourager les clients économiques à investir dans le traitement des déchets hospitaliers.

C'est ainsi que nous avons en deuxième lieu étudié le plan d'action pour le traitement des déchets au niveau d'ECFERAL, où nous avons suivi l'élimination des *DAS* par le procédé d'incinération et nous nous sommes intéressées à l'incinérateur *NAR 5000* qui est de type horizontal statique à sole fixe.

Lors de l'exploitation des installations d'incinération d'ECFERAL, des émissions ont été générées en quantités relativement grande suivant le type de déchet incinéré, le mode de fonctionnement et les traitements que peuvent subir les polluants, dans notre étude, nous avons constaté que les niveaux de pollution enregistrés des gaz rejetés lors de l'incinération des différents déchets respectent bien les normes d'émission (selon l'Arrêté européen du 20 septembre 2002). Ces valeurs faibles en pollution

montrent bien l'efficacité du système de traitement humide et de neutralisation des gaz acides de l'incinérateur *NAR 5000* pour le traitement des *DAS*.

Nous nous sommes aussi intéressées aux analyses des métaux lourds dans les différents résidus solides et gazeux, générés par l'incinération des *DAS*. Ces derniers ont montré que les concentrations en éléments métalliques dans les échantillons de poussières contenues dans les fumées et les cendres d'incinération prélevés sont en dessous des limites exigées par la réglementation algérienne et donc ne représentent aucun effet néfaste pour l'environnement. Cela est dû principalement à l'hétérogénéité et à la composition en éléments métalliques des déchets incinérés.

Des moyens technologiques avec une maîtrise des techniques de dépollution, la mise en œuvre de normes d'émission modernes et l'utilisation de techniques avancées de lutte contre la pollution permettent de ramener les émissions dans l'air à des niveaux tels que les risques de pollution par les incinérateurs de déchets peuvent être très faibles. Tel que l'ajout du traitement au charbon actif, qui peut entraîner une diminution importante des rejets gazeux chargés en métaux, ceci montre bien l'efficacité du traitement de l'adsorption au charbon actif. Mais si la technologie de l'incinération est mal maîtrisée avec peu de moyens techniques pour le traitement des polluants, sans qu'il y ait d'institutions compétentes, dotés de moyens de surveillances et d'analyses, alors l'incinération des déchets pourrait être une catastrophe pour l'environnement et la santé humaine.

Références bibliographiques

- ABAD, Sheikh-e, RIVERA, Josep. Dioxin abatement strategies and mass balance at a municipal waste management plant. *Environnement Science Technologies*. 2002, Vol 36, n° 1. Doi : 10.1021/es010039j.
- ABERKANE, Sabrina, ABERBOUR, Farida. Contribution à l'étude des aspects qualitatifs des déchets hospitaliers cas de L'EPH d'Amizour [en ligne]. Mémoire de Master : Sciences Biologiques. Bejaia : Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2017. [consulté le 26/03/2022]. Disponible à l'adresse : <http://www.univ-bejaia.dz/xmlui/handle/123456789/4583>.
- AIT AHSENE, Fetta. Etude des composés toxiques issus de l'incinération des médicaments périmés et des DASRI [En ligne]. Thèse de Doctorat : Génie des matériaux. Boumerdes : Faculté Sciences de l'ingénieur FSI, Université M'hamed Bougara-Boumerdes ,2016. [Consulté le 07/05/2022]. Disponible à l'adresse : <https://core.ac.uk/download/pdf/55516667.pdf>.
- Algérie Presse Service. Environnement : une enquête d'évaluation des déchets hospitaliers [En ligne]. [Consulté le 11/03/2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.aps.dz/sante-science-technologie/86202-environnement-lancement-d-une-enquete-d-evaluation-des-dechets-hospitaliers>.
- Algérie Presse Service. Oran : les déchets de soins, une priorité du plan d'urgence de gestion [En ligne]. [Consulté le 11/03/2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.aps.dz/sante-science-technologie/63143-oran-les-dechets-de-soins-une-priorite-du-plan-d-urgence-de-gestion>.
- AMROUNE, Feyrouz, AMROUNE, Nassima. La gestion des déchets issues des activités sanitaires (Déchets hospitaliers liés au Covid-19) : Cas de M'sila [en ligne]. Mémoire de Master : Sciences de la Nature et de La Vie. M'sila : Université Mohamed Boudiaf, 2021, [consulté le 28/02/2022]. Disponible à l'adresse : <http://dspace.univ-msila.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/24455/La%20gestion%20des%20d%C3%A9chets%20hospitalier%20li%C3%A9%20au%20Covid-19%20281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Association nationale des cadres et experts technique hospitalier. Gestion des déchets hospitaliers. [en ligne]. [Consulté le 08/05/2022]. Disponible à l'adresse : <http://www.h360.fr/dossiers/gestion-des-dechets-hospitaliers/>.

- BAKHA, Wail. Calcul du refroidisseur des fumées d'un incinérateur industriel BIOWAS [En ligne]. Mémoire de Master : Génie mécanique. Oum El bouaghi : Faculté des Sciences et Sciences Appliquées, Université Larbi Ben M'hidi Oum-El-Bouaghi, 14 Juillet 2021. [Consulté le 10/05/2022]. Disponible à l'adresse : <http://bib.univ-oeb.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/11870/1/M%C3%A9moire%20WAIL%20BAKHA%200.pdf>

- BARBIER, René, PHILLIPE, Larédo, Internationales des déchets (le modèle de la communauté urbaine de lille). Ed Economica, Paris, 1997, [consulté le 23/03/2022] Disponible à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00438910/>.

- BATTERMAN, Stuart. Findings on an Assessment of Small-scale Incinerators for Health-care Waste. Water, Sanitation and Health Protection of the Human Environment World Health Organization, Geneva, 2004. [Consulté le 12/03/2022]. Disponible à l'adresse : <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/68775/a85187.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- BENDJOUDI, Ziad, TALEB, Fethi, ABDELMALEK, Fatiha, ADDOU, Ahmed. Healthcare waste management in Algeria and Mostaganem department. Waste Management. 2009, Vol 29, n° 4. pp 1383-1387. ISSN : 0956-053X.

- BENHENIDA, Soad, BAKI, Souad. Etude de l'incinération et recyclage des déchets au niveau de l'entreprise ECFERAL [En ligne]. Mémoire de Master : Génie Mécanique. Boumerdes : Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université M'Hamed Bougara 2017. [Consulté le 11/05/2022]. Disponible à l'adresse : <http://dlibrary.univ-boumerdes.dz:8080/jspui/handle/123456789/4028>

- BERGEY, Jean-Luc. Les déchets hospitaliers, Technique hospitaliers. 1992. hors sérié 92 n°1. 36 p.

- BERGHICHE, Chahra, SAYAH, Mahassine. Diagnostique de système de gestion des déchets hospitaliers au niveau de l'EPH Mohamed Boudiaf (Ouargla). Mémoire de Master : Sciences

biologiques. Ouargla : Université Kasdi Merbah, 2019, [consulté le 25/03/2022]. Disponible à l'adresse : <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/21748/1/BERGHICHE-SAYAH.pdf>.

- Bouhtouri, Yazid. Gestion des déchets hospitaliers au Maroc cas du CHU de Rabat-Salé et de l'hôpital Militaire Moulay Ismail de Meknés, Thèse de doctorat : Médecine. RABAT, Université Mohamed V-souissi, Faculté de médecine et de pharmacie, 2013, [consulté le 23/03/2022]. Disponible à l'adresse : <http://www.abhatoo.net.ma/maalama-textuelle/developpement-durable/environnement/pollution/polluants/dechets-hospitaliers/gestion-des-dechets-hospitaliers-au-maroc-cas-du-chu-de-rabat-sale-et-de-l-hopital-militaire-moulay-youssef-de-meknes>.
- BOURENANE, Abdelhak, DAOUD, Rima, ROUMAIR, Zoulikha Marwa. Bieu Caractérisatiques Qualitative et Quantitative Des Déchets Plastiques de la Commune de M'Sila [En ligne]. Mémoire de Master : Chimie. M'sila : Université Mohamed Boudiaf, 2019. [consulté le 28/02/2022]. Disponible à l'adresse : <http://dspace.univ-msila.dz:8080/xmlui/handle/123456789/16249>.
- CHAABANE, Mokrane. Optimisation de la combustion au sein d'un incinérateur de déchets solides pour réduire les émissions nocives: cas des NO_x [En ligne]. Thèse de Magistère : Génie mécanique. Batna : Université de Batna, 2010. [Consulté le 10/05/2022]. Disponible à l'adresse : <http://eprints.univ-batna2.dz/974/1/inj%20MOKRANE%20CHAABANE.pdf>
- CHABI, Abderrahmane, MEKZINE, Lila. Etude thermique d'une chaudière à vapeur 4Tonnes/Heure de l'ECFERAL [En ligne]. Mémoire de Master : Génie Mécanique. Tizi Ouzou : faculté du génie de la construction, université mouloud Mammeri, 2014. [Consulté le 10/05/2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.ummtto.dz/dspace/handle/ummtto/4249?show=full>
- CHARTIER, Yves, EMMANUAL, Jorge, PIEPER, Ute, PRÜSS, Annette, RUSHBROOK, Philip, STRINGER, Ruth, TOWNSEND, William, WILBURN, Susan, ZGHONDI, Raki. Safe management of wastes from healthcare activities. World Health Organisation, 2nd edition, 1999, [consulté le 25/03/2022]. Disponible à l'adresse : <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42175/9241545259.pdf>

- CHEFAI, Manel. L'Algérie en produit 32 000 tonnes annuellement [En ligne]. La Nouvelle République le 03/11/2013. [Consulté le 09/03/2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.djazairress.com/fr/lnr/229060>.

- Comité international de la Croix-Rouge. Manuel de gestion des déchets médicaux [en ligne]. Suisse : Edition CICR, 2011 [Consulté le 02/03/2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.icrc.org/fr/doc/assets/files/publications/icrc-001-4032.pdf>.

- EPH_kouba, les services [en ligne]. Consulté le : 01/05/2022. Disponible à l'adresse : <http://www.ephkouba.dz/offredesoin.html>

- OUAHRANI, Ghani. Gestion et valorisation des déchets : cours Master I Biodiversité. [En ligne]. Sétif : Université Ferhat Abbas. [consulté le 19/05/2021]. Disponible à l'adresse : [M1 BE 19-20 Cours Dechet Ouahrania G..pdf \(univ-setif.dz\)](#).

- GUENANE, Ferial. Etude et caractérisation de la pollution générée par l'incinération de déchets banals, spéciaux et dangereux [en ligne]. Thèse de doctorat : Génie des Procédés Organiques. Boumerdes : Universite M'hamed Bougara, 2020. [Consulté le 20/04/2022]. Disponible à l'adresse : <http://dlibrary.univ-boumerdes.dz:8080/handle/123456789/7261>

- HAMMADI, Nissa. Enquête sur la gestion des déchets hospitaliers [En ligne]. Liberté, 7 octobre 2009. [Consulté le 20/03/2022]. Disponible à l'adresse : <https://algeria-watch.org/?p=15795#:~:text=Alors%20que%20le%20volume%20des,contre%20900g%2Fkg%20par%20accouchement>.

- HUANG, Hao, BUEKENS, Alfons. Chemical kinetic modeling of de novo synthesis of PCDD/F in municipal waste incinerators. Chemosphere. 2001, Vol 44, n° 6. pp. 1505-1510. ISSN 0045-6535.

- Ibáñez, Roger, Andrés, Alphons, Viguri, Javier. Characterisation and management of incinerator wastes. Journal of Hazardous Materials. 2000, Vol 79, n° 3. pp. 215-227. ISSN 0304-3894.

- LEONARD, Christian. Gestion des déchets biologiquement contaminés produits lors des activités d'utilisation confinée d'organismes génétiquement modifiés et/ou pathogènes [En ligne]. [Consulté le 08/05/2022]. Disponible à l'adresse : https://www.biosecurite.be/sites/default/files/gestion_des_dechets_2022.pdf

- LOUAI, Nabila. Evaluation Energétique des déchets solides en Algérie, une solution climatique et un nouveau vecteur énergétique [en ligne]. Thèse de Magister : Physique, Option Physique Energétique. Université El-Hadj Lakhdar, Faculté des sciences, Batna, 2009. [Consulté le 25/03/2022]. Disponible à l'adresse : http://theses.univ-batna.dz/index.php/theses-en-ligne/doc_download/1863-evaluation-energetique-des-dechets-solides-en-algerie-une-solution-climatique-et-un-nouveau-vect.

- Ma_municipalité_efficace, Incinération avec cogénération[en ligne].Consulté le : 13/05/2022. Disponible à l'adresse : <https://www.mamunicipaliteefficace.ca/185-efficacite-energetique-ges-incineration-avec-cogeneration.html>

- MENGHOUR, Amina, ALLOU, Ferdaoues. Mode de gestion, contraintes et valorisation des déchets organiques de la wilaya d'Alger [En ligne]. Mémoire d'Ingénieur : Génie Chimique. 2020. [Consulté le 11/03/2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.peninsulaking.com/spip.php?article114394>.

- Ministère de l'Environnement Agence Nationale des Déchets. Gestion des déchets d'activités de soins guide national [en ligne]. Algérie : Éditions 2019 [Consulté le 06/03/ 2022]. Format PDF. Disponible à l'adresse : <https://and.dz/site/wp-content/uploads/Manuel-DAS.pdf>.

- Organisation Mondiale de la Santé, Département Santé publique. Déterminants sociaux et environnementaux de la santé (PHE), 2019 [En ligne]. [Consulté le 14/05/2022]. Disponible à l'adresse : <https://apps.who.int/iris/handle/10665/330920>

- Organisation Mondiale de la Santé. Déchets liés aux soins de santé [En ligne]. [Consulté le 28/02/2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste>.

- RAHMANI, Abdrabi, TAYEBI, Hachemi. Gestion Et Valorisation Energétique Des Déchets Organiques [En ligne]. Mémoire de Master : Chimie d'environnement. Adrar : Université Ahmed Draia, 2016. [Consulté le 28/02/2022]. Disponible à l'adresse : <https://dspace.univ-adrar.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/2631/1/Gestion%20et%20valorisation%20%C3%A9nerg%C3%A9tique%20des%20d%C3%A9chets%20organiques.pdf>.

- RAOUI, Sidi Mohammed Si Med. Importance quantitative des déchets au niveau de l'hôpital régional à la ville de Tétouan, Maroc [En ligne]. Annale des sciences de la santé. 2018. [Consulté le 14/05/2022]. Disponible à l'adresse : <http://www.annalesumng.org/index.php/ssa/article/view/368>.

- Secrétariat de la Convention de Bâle. Directive techniques pour une gestion écologiquement rationnelle des déchets biomédicaux et des déchets de soins médicaux, 2003 [En ligne]. [Consulté le 28/02/2022]. Disponible à : <http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/pub/techguid/biomed-f.pdf>.

- Secrétariat de la Convention de Stockholm. Directives sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales, 2007 [En ligne]. [Consulté le 28/02/2022]. Disponible à l'adresse : http://chm.pops.int/Portals/0/Repository/batbep_guideline08/UNEP-POPS-BATBEP-GUIDE-08-1.French.PDF.

- Secrétariat permanent pour la prévention des Pollutions Industrielles. Les déchets définition, gestion, collecte, traitement, responsabilités, police spéciale, Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions Industrielles en Vallée de Seine, 2014. [Consulté le 27/01/2022]. Disponible à l'adresse : https://www.spivs.org/medias/publications/les_dechets_definition_gestion_collecte_traitement_responsabilites_police_speciale.pdf.

- SEID, Noura, TOUTAH, Ilham. Gestion et traitement des déchets hospitaliers Cas : Hôpital de Lakhdaria [en ligne]. Mémoire de Master : Science et gestion de l'environnement. Bouira : Université Akli Mohand Oulhadj, 2017. [Consulté le 28/02/2022]. Disponible à l'adresse : <http://dspace.univ-bouira.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/4554/1/Gestion%20et%20traitement%20des%20d%C3%A9chets%20hospitaliers%20Cas%20HOPITAL%20de%20LAKHDARIA.pdf>

[http://dspaceancien.univ-bouira.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/3683/1/Gestion et traitement des d%C3%A9chets hospitaliers Cas HOPITAL de LAKHDARIA.pdf](http://dspaceancien.univ-bouira.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/3683/1/Gestion_et_traitement_des_d%C3%A9chets_hospitaliers_Cas_HOPITAL_de_LAKHDARIA.pdf)

- SIGG, Laura, BEHRA, Philippe, STUMM, Werner. Chimie des milieux aquatiques. DUNOD, 5e édition 2014, p 30. ISBN 978-2-10-058801-5.
- Stanmore, Brian. The formation of dioxins in combustion systems. Combustion and Flame. 2004, Vol 136, n° 3. pp. 398-427. ISSN 0010-2180.
- YONG, Zhang, GANG, Xiao, GUANXING, Wang, TAO, Zhou, DAWEI, Jiang. Medical waste management in China: A case study of Nanjing. Waste Management. 2009, Vol 29, n° 4. pp. 1376-1382. ISSN 0956-053X.
- ZDANEVITCH, Isabelle. Les conditions de travail dans les installations de compostage et de méthanisation [En ligne]. [Consulté le 08/05/2022]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/profile/Isabelle-Zdanevitch/publication/281988256_Les_conditions_de_travail_dans_les_installations_de_compostage_et_de_methanisation/links/57c68a1608ae424fb2cf9417/Les-conditions-de-travail-dans-les-installations-de-compostage-et-de-methanisation.pdf.
- ZEHANI, Ahlam. Revue bibliographique sur la gestion des déchets hospitaliers [en ligne]. Mémoire de Master ; Biodiversité et Environnement. El Oued : Université Echahid Hamma Lakhdar, 2020. [Consulté le 06/05/2022]. Disponible à l'adresse : dspace.univ-eloued.dz/bitstream/123456789/7617/1/574.01.097.pdf

Annexes

ANNEXE I

Gestion des déchets issus des activités sanitaires liés au Covid-19

Introduction

À la fin de l'année 2019, le monde a assisté à l'émergence d'une nouvelle maladie à coronavirus (COVID-19). Au milieu de l'année 2020, ce virus s'est déjà propagé à de nombreux pays dans le monde, où des millions de cas ont été confirmés et des centaines de décès ont été enregistrés, selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

En raison de l'augmentation rapide du nombre de cas de coronavirus, les déchets d'activité de soins (DAS) des patients atteints de COVID-19 ont également connu une augmentation importante et notable de leur quantité. Ces DAS sont considérés comme des substances toxiques ainsi qu'un risque de contamination.

En outre, les DAS générés par les établissements de soins de santé lors de l'exécution de leurs services diagnostiques et thérapeutiques sont porteurs d'un grand nombre de virus, de germes chimiques, et même de matières radioactives. Par conséquent, l'élimination inadéquate et non sécurisée de ces déchets provoquera à nouveau la propagation du virus COVID-19 et, par conséquent, l'impossibilité de le contrôler. Pour cette raison, il est devenu crucial de gérer et d'éliminer les déchets médicaux dans les meilleures conditions possibles d'une manière sûre, efficace et ordonnée pour faire face à cette pandémie.

A travers ce qui précède, le problème de l'étude semble être formulé dans la question suivante : *Quel est l'impact de la pandémie de COVID-19 sur la quantité de déchets médicaux ? En outre, quelles sont les mesures qui devraient être prises afin de gérer les déchets médicaux liés au COVID-19*

1. Type de déchets liés au covid-19

En réponse au COVID-19, les hôpitaux, les établissements de santé et les particuliers produisent plus de déchets que d'habitude, y compris des masques, des gants, des blouses et d'autres équipements de protection qui pourraient être infectés par le virus. Il y a également une forte augmentation de la quantité de plastiques à usage unique produite (AMROUNE, 2021).

Lorsqu'ils ne sont pas gérés correctement, les déchets médicaux infectés peuvent être soumis à un déversement incontrôlé, entraînant des risques pour la santé publique, et à une combustion à ciel ouvert ou à une incinération incontrôlée, conduisant à la libération de toxines dans l'environnement et à une transmission secondaire de maladies à l'homme. D'autres déchets peuvent atteindre les sources d'eau et aggraver la pollution fluviale et marine (AMROUNE, 2021).

Ces pratiques ne respectent pas les directives de l'OMS sur le traitement des déchets infectieux et tranchants des établissements de santé, ni les exigences des Conventions de Bâle, de Rotterdam et de Stockholm protégeant la santé humaine et l'environnement contre les produits chimiques et les déchets dangereux (OMS, 2020).

2. Volume des DAS générés par les différentes activités de soins de santé

Les besoins mondiaux en masques de protection ont été estimés à 129 milliards de masques/mois, et 56 milliards de gants/mois. En outre, la Chine est le premier fournisseur mondial d'équipements de protection individuelle (EPI), avec 17,9 milliards de masques de protection, 1,73 milliard de vêtements de protection et 0,54 milliard de détecteurs Covid-19 exportés vers 150 pays et 07 organisations mondiales.

Jusqu'au 20 octobre 2020, la Chine n'a, malheureusement, pas été en mesure de couvrir la demande massive des besoins mondiaux en équipements de protection individuelle. Selon la même étude, le nombre de masques de protection nécessaires dépend du nombre de cas confirmés : (1) en Asie, il est estimé à 3,77 milliards de masques/jour avec un poids de 11308 tonnes/jour alors que la quantité de DAS est d'environ 55630 tonnes/jour, (2) en Afrique, il est estimé à 952 millions de masques/jour pour un poids de 2855 tonnes/jour tandis que la quantité de DAS produite en Afrique est estimée à 8367 tonnes/jour, (3) quant à l'Europe, le nombre de masques serait de 891 millions de masques/jour pour un poids de 2674 tonnes/jour et la quantité de déchets dangereux produits est estimée à 70388 tonnes/jour (Fettih, 2021).

2.1. Volume des DAS générés par les différentes activités de soins de santé en Algérie

Cas du CHU de Tizi-Ouzou

En Algérie, le volume global des DASRI a atteint les 10 000 tonnes par an (MSPRH et ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables (MEER), 2019). Le CHU de Tizi-Ouzou est un

établissement public à caractère administratif d'une capacité de 1043 lits organisés, répartis en 42 services. Faute d'enquête et d'évaluation détaillée, il est difficile de déterminer avec précision les quantités de déchets d'activités de soins. Cependant, les statistiques fournies par la station de traitement et d'élimination des déchets hospitaliers du CHU nous ont permis de suivre l'évolution mensuelle de la production des DASRI de 2015 à 2020 (Benmansour, 2021).

3. Gestion des déchets adaptée aux risques

Les DASRI présentent divers risques infectieux, chimiques, toxiques, etc, qu'il convient de réduire afin de protéger les patients hospitalisés, le personnel de soins ainsi que les agents chargés de l'élimination des déchets. Leur gestion est en moyenne quatre fois plus chère que pour les déchets ménagers, du fait de la sécurisation de la filière. Une tonne de DASRI coûte entre 500 et 1 000 euros, soit 3 à 5 fois plus qu'une tonne de déchets ménagers et assimilés (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEM), 2011c). Pour cette raison, le tri représente une étape clé de la gestion des DASRI, il doit se faire à la source même du déchet en respectant des critères de sécurité. Aussi, le respect des modalités d'entreposage va permettre de protéger les personnes des risques d'accidents par exposition au virus SARS-CoV-2 grâce à l'utilisation d'emballages appropriés et au traitement adéquat (Benmansour, 2021).

3.1. Tri à la source

Le tri des déchets intervient au plus près possible de la source, selon la nature du déchet, en fonction de ses caractéristiques et du risque associé dans des conteneurs spécifiques identifiés (ministère des Affaires Sociales et de la Santé, 2016). Le producteur de déchets d'activités de soins à la responsabilité d'identifier les DASRI. Afin d'éviter tout accidents il est primordial de trier les déchets de façon méticuleuse.

Le dernier Audit d'évaluation de la gestion des déchets hospitaliers réalisé par le *SEMPEP* du CHU sur 39 services pour une période allant du 06 au 12 Octobre 2013 montre que les déchets issus de la prise en charge des patients infectés ou suspectés d'être infectés par le SARS-CoV-2 sont gérés comme des DASRI et suivent le circuit DASRI (MSPRH, 2019). Le tri est effectué dans 48% des cas et n'est pas conforme dans 41% des cas. Or depuis l'avènement de la Covid-19, il faut réaliser un « sur-tri » par précaution excessive.

Après le tri à la source, les DASRI sont automatiquement mis dans des emballages à usage unique. Ces emballages sont munis de fermetures temporaires (en cours d'utilisation) et définitives (avant leur enlèvement pour entreposage) et ils suivent la filière jaune avec la particularité pour les objets piquants, coupants, tranchants. Un repère horizontal indique la limite de remplissage (Décret exécutif n° 03-478 du 09 décembre 2003 définissant les modalités de gestion des déchets d'activités de soins, 2003).

Les emballages doivent aujourd'hui comporter le pictogramme de danger biologique (l'Unicode U+2623 (☣)) en avertissement qu'il faut prendre certaines précautions pour manipuler ces substances, les conditionner, les étiqueter, les stocker, et les transporter avec la mention « COVID-19 » ainsi que l'identification du producteur (nom de l'établissement ou tout codage permettant son identification). Mais, en vue d'assurer une traçabilité optimale au sein de l'établissement, l'identification complémentaire des services ou des unités de soins sur les emballages est recommandée.

Aujourd'hui, avec le contexte sanitaire, l'entreposage des DASRI a été modifié par l'arrêté du 18 avril 2020 complétant l'arrêté du 23 mars 2020 portant sur les mesures d'organisation et de fonctionnement du système de santé nécessaires pour faire face à l'épidémie de Covid-19 dans le cadre de l'état d'urgence sanitaire. Les dispositions de l'entreposage sont les suivantes (Journal Officiel de la République Française - N° 98, 2020).

La durée entre la production effective des déchets et leur évacuation du lieu de production n'excède pas : (i) 5 jours au lieu des 72 h lorsque la quantité de ces déchets produite sur un même site est supérieure à 100 kg par semaine, (ii) 10 jours au lieu de 7 jours lorsque la quantité de ces déchets produite sur un même site est inférieure ou égale à 100 kg par semaine et supérieure à 15 kg par mois, et (iii) 1 mois, quelles que soient les quantités produites, pour les déchets issus des équipements de protection individuelle utilisés par le personnel soignant (masques, gants, charlottes, lunettes, blouse d'isolement, etc)

La durée entre l'évacuation des déchets et leur incinération ou prétraitement par désinfection n'excède pas 20 jours lorsque la quantité de déchets regroupée en un même lieu est supérieure ou égale à 15 kg par mois. En cas d'impossibilité de procéder à l'incinération ou au prétraitement dans ce délai, les déchets peuvent faire l'objet d'un entreposage pour une durée n'excédant pas 3 mois.

Lorsque la quantité de DASRI et produite en un même lieu est inférieure ou égale à 5 kg par mois, la durée entre leur production effective et leur enlèvement ne doit pas excéder 3 mois. L'élimination des DASRI entreposés doit s'effectuer dans des conditions conformes aux normes de l'environnement, et ce notamment sans (MSPRH et MEER, 2019) (Benmansour, 2021).

4. Elimination des déchets de soins médicaux dans le cadre de covid-19

Le contexte épidémique actuel génère des tensions quant à l'élimination des DASRI par les unités d'incinération et de banalisation. Le choix doit être fait dans le cadre d'approche qualité globale visant à protéger la santé publique, l'environnement et la maîtrise du risque infectieux et toxique des déchets. C'est pour cette raison que l'organisation de la collecte est essentielle dans le processus de gestion des déchets puisqu'il conditionne, en aval, le mode de traitement des déchets.

L'élimination des déchets produits par le CHU était assurée en interne grâce à un incinérateur sur site. L'instruction relative à la gestion de la filière d'élimination des déchets d'activités de soins, autorise l'installation de banaliseuse et n'autorise plus l'installation d'incinérateur à l'intérieur des établissements de soins (Instruction n° 04 MSPRH/MIN, 2013). Pendant l'incinération, si un filtrage

propre n'est pas effectué, l'air peut être pollué et causer des maladies à la population environnante. Ceci doit être pris en compte dans le choix de méthodes de traitement et d'élimination des déchets en réalisant une rapide évaluation d'impact environnemental.

Un traitement des DASRI conforme à la réglementation (Loi n° 01-19 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, contrôle et élimination des déchets, 2001) a conduit le CHU à modifier les pratiques en matière de gestion des déchets hospitaliers. Les déchets sont désormais traités à l'extérieur de l'établissement par deux incinérateurs de capacités respectives de 200 et 50 kg/h avec l'obligation de respecter le principe de transport des déchets. Tous les véhicules doivent porter une note de colisage du point de collecte au site de traitement. Ils ne devront pas avoir de rebords tranchants, devront être facile à charger et à décharger, facile à nettoyer et à désinfecter et être hermétiquement couverts pour empêcher un déversement de déchets soit à l'intérieur de l'hôpital ou sur le trajet (PNUE et OMS, 2005).

Les DASRI, comprenant en ce moment d'importants volumes de déchets infectés par le coronavirus, doivent être incinérés dans des fours d'unités agréées à une température de combustion située entre 1000 et 1100 °C avec traitement des fumées. L'incinération réduit le poids des déchets de 80% et les cendres ne doivent pas dépasser 3% du poids initial (MSPRH et MEER, 2019). Cette solution permet d'éliminer efficacement ce virus dangereux.

En 2012, le CHU a procédé à l'acquisition de deux banaliseurs, ECODAS T2000 (semi-automatique) d'une capacité de 250 à 375 kg en 45 mn et T300 (manuel) d'une capacité moyenne de 35 à 53 kg en 30 min d'une valeur de 112 000 000,00 DA (Direction des Moyens et Matériels, CHU de Tizi-Ouzou, 2020). Seuls les appareils ayant fait l'objet d'une procédure de validation nationale peuvent être utilisés. Après vérification l'ECODAS T2000 et T300 sont conforme aux exigences définies par la norme NF X30-503 (Article R1335-8 du Code de la Santé Publique, Décret n°2016-1590 du 24 novembre 2016-art.1, 2016).

L'adoption de ce procédé de traitement de déchets de soins a mis fin au cumul des quantités de DASRI et leur stockage dans l'enceinte du CHU et a réduit les coûts financiers. Pour se débarrasser de ses déchets, le CHU était contraint par le passé, de recourir aux services d'une unité spécialisée dans l'incinération de ces substances, située à Si Mustapha (Boumerdes), moyennant un prix de 180 DA/kg. Le prétraitement par désinfection est un système qui vise à modifier simultanément l'apparence des déchets (broyage) et à réduire la contamination microbiologique (par autoclavage). On parle de prétraitement par désinfection car après refroidissement des déchets qui dure cinq minutes et une température qui atteint 100 °C, les résidus obtenus rejoignent la filière des déchets ménagers (DM). Ils sont à la fois neutralisés et leur volume est réduit de 80 %. En cette période de Covid-19, c'est le procédé le plus adéquat pour l'élimination des DASRI, seulement il y'a nécessité d'un tri rigoureux des déchets admis compte tenu des restrictions d'usage (pièces métalliques, déchets radioactifs, sels d'argent, etc.).

Chaque producteur de déchets d'activités de soins doit considérer le contexte auquel il est confronté. Ainsi, la réflexion stratégique qui conduira au choix de la filière d'élimination la plus appropriée repose sur une analyse de l'environnement fondée sur :

- La réglementation et les normes ;
- Les données quantitatives et qualitatives de la production ;
- Les filières d'élimination existantes localement.

Néanmoins, c'est au gouvernement que revient la charge d'établir un cadre normatif pour la gestion sans risque des déchets produits par la prise en charge des patients atteints de Covid-19 et de veiller à ce que les responsables des établissements de soins assument leur part de responsabilité dans ce domaine (Benmansour, 2021).

ANNEXE II

Les polluants émis par l'incinération

Le procédé d'incinération émet plusieurs rejets solides et gazeux. Dans cette annexe, nous allons vous expliquer le mécanisme et la source de formation de chaque type de rejet ainsi que leurs impacts sur la santé et l'environnement.

1. Le monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone est un composé gazeux inodore, incolore, inflammable produit par la combustion incomplète des déchets solides ou liquides selon la réaction suivante :



Au cours de la combustion, le CO peut être formé à partir de la fraction carbonée issue de la destruction thermique des déchets ou à partir d'un produit de combustion intermédiaire.

La combustion incomplète peut être due, soit à une disponibilité insuffisante de l'oxygène (mauvaises conditions de mélange dans la chambre de combustion), soit à une température insuffisante provoquée par un excès d'air trop important et/ou par une variation de la charge calorifique.

Selon l'Arrêté européen du 20 septembre 2002, la valeur limite du CO dans les fumées issues de l'incinération est de 50 mg/Nm³ dans le cas des déchets dangereux et ménagers. Dans le cas des déchets urbains, la norme est de 100 mg/Nm³. Dans le monde, les émissions d'origine anthropique du CO sont estimées entre 400 et 1600 millions de tonnes par an (GUENANE,2020).

Incidences sur la santé et l'environnement

Le monoxyde de carbone réagit avec l'hémoglobine pour former le carboxyhémoglobine HbCO. Le corps humain mélange le CO avec l'oxyhémoglobine HbO₂ qui en temps normal transfère l'oxygène aux cellules du corps. Le manque en oxygène cause des maux de tête, des nausées, et peut entraîner la mort à des concentrations trop élevées (GUENANE,2020).

Le CO conduit à la production, sous l'effet de rayonnement solaire, de polluants tel que l'ozone troposphérique et le nitrate de peroxyacétyl (PAN). Il a un effet indirect lorsqu'il provoque une augmentation de la quantité d'ozone, gaz à effet direct et une diminution de la quantité des radicaux OH (GUENANE,2020).

2. Le dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone (CO₂) est gazeux à température et pression ambiantes. Il est présent dans l'atmosphère à l'état naturel. Il est incolore, inodore et à saveur piquante. Il est ininflammable et stable et ne se dissocie qu'à très haute température (1000 à 2000 °C).

Le CO₂ est obtenu par l'oxydation thermique du carbone contenu dans les déchets dans le cas de l'incinération. Il peut être obtenu par la combustion complète des déchets contenant du carbone selon la réaction suivante :



Le CO₂ est un gaz asphyxiant qui peut entraîner la mort à forte concentration. Aucun effet cancérigène, mutagène ou reprotoxique n'a été montré à ce jour concernant l'exposition au CO₂.

L'augmentation de la concentration en CO₂ de l'atmosphère entraîne une série de phénomènes tel que l'augmentation de l'effet de serre et le phénomène d'acidification des océans par absorption du CO₂ (GUENANE,2020).

3. Les Poussières

Les poussières sont formées par les particules solides qui sont entraînées dans les gaz de cheminées. Elles comprennent les cendres volantes, les fragments de combustibles imbrulés et une large variété de matériaux comme du carbone imbrulé, des oxydes métalliques, des silicates, des aluminates, des sels, ainsi que de nombreux constituants résultant de la condensation des substances de la phase gazeuse.

La composition précise des poussières est très variable. La nature des éléments contenus dans les fines poussières résulte de la condensation des substances de la phase gazeuse à la surface des particules.

Elles sont issues des particules solides non combustibles et de la combustion incomplète du combustible. Certains déchets ont plus tendance à former des cendres que d'autres. C'est le cas de certains déchets dits cendreux comme, les peintures de PVC, les goudrons, les concentrés de liqueur de papeteries, ... (GUENANE,2020).

On distingue deux types de particules :

- Les particules de taille importante dont l'origine est mécanique : envollement, éclatement thermique,
- Les particules fines d'origine thermique qui se forment à partir de noyaux de condensation puis grossissent autour de ces noyaux.

La formation des poussières de taille importante dépend du type de déchet incinéré, de la méthode d'alimentation de déchet, des paramètres de conduite d'incinération (débit du gaz, température) et de l'architecture du four.

Les fines se forment au cours d'un changement d'état de la matière soit par réaction en phase gazeuse, soit par évaporation à haute température de solides liquéfiés suivie d'une condensation et d'une solidification. Les particules ainsi formées sont sphériques. Elles sont d'autant plus petites que la température initiale de formation des vapeurs est élevée et que le refroidissement est brutal. Elles s'agglomèrent entre elles et sur les poussières de taille beaucoup plus importante.

Selon l'Arrêté européen du 20 septembre 2002 de France, les concentrations des poussières dans les rejets ne doivent pas dépasser 10mg/Nm³ (GUENANE,2020).

Effets sur la santé et l'environnement

Le degré de pénétration des particules dans les voies respiratoires basses est fonction de la taille de particules et du rythme respiratoire. Les particules dont la taille est supérieure à 5 μm sont retenues par les muqueuses nasales tandis que les autres ont de grandes chances à se déposer dans la trachée ou les poumons. Les particules dont la taille est inférieure à 0,5 μm qui se déposent sur les alvéoles du poumon se fixent au tissu alvéolaire et ne sont pas éliminées provoquant ainsi l'apparition du cancer du poumon ou de maladies respiratoires chroniques.

Les poussières diffusent dans l'atmosphère. Elles ne restent pas cantonnées dans les zones industrielles et touchent également les zones résidentielles.

La matière particulaire est responsable de phytotoxicité des plantes par dépôt sur la surface des feuilles réduisant la photosynthèse par absorption de lumière (GUENANE,2020).

4. Oxydes de soufre

Lors de la combustion, le dioxyde de soufre (SO_2) est produit en quantité plus importante que le trioxyde de soufre (SO_3). Le SO_2 est gazeux dans les conditions normales de température et de pression. C'est un gaz incolore, inodore qui est facilement décelable de par son odeur piquante et irritante.

Le SO_3 est le constituant essentiel responsable des phénomènes de corrosion par les SO_x . C'est un composé instable ayant une plus grande réactivité que le SO_2 , son élimination est donc plus facile.

La formation des composés soufrés durant la combustion provient de la teneur en soufre du déchet à traiter qui peut se trouver sous forme organique, ainsi que sous forme de sulfates. Les déchets qui ont une forte teneur en soufre sont : les pneus, les plâtres, panneaux muraux, déchets des procédés industriels.

La concentration en SO_3 formé augmente avec l'excès d'air et diminue avec l'augmentation de température. Au-delà de 950°C, la formation de SO_3 devient négligeable. Ceci est dû à un déplacement de l'équilibre qui se caractérise par une inversion de la réaction de transformation du SO_2 en SO_3 .

L'oxydation du SO_2 a donc lieu dans la gamme de températures de 300 à 500 °C et peut être réduite en diminuant l'excès d'air de combustion. Le SO_2 est donc le principal composé constituant les émissions de SO_x . Il est stable jusqu'à 300 °C et à partir de 950 °C.

Selon l'Arrêté européen du 20 septembre 2002, la valeur limite de rejet pour le SO_2 est de 50 mg/Nm³.

Effets sur l'environnement et la santé

Une forte exposition aux SO_x peut entraîner des brûlures sévères de la peau, des yeux et des voies respiratoires.

Les composés soufrés sont souvent associés au phénomène des pluies acides (déforestation, acidification des lacs, ...) par transformation en acide sulfurique H_2SO_4 et sulfureux H_2SO_3 .

5. Les oxydes d'azote

L'azote forme avec l'oxygène de l'air plusieurs oxydes d'azote nettement définies (NO , NO_2 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 , N_2O_5). Les principaux NO_x formés lors de la combustion sont NO et NO_2 . Le N_2O peut aussi être généré lors de la combustion mais en faible quantité par rapport au NO et NO_2 . Le NO est un composé gazeux dans les conditions ordinaires de température et de pression (50°C , 76 mmHg). Il est incolore, soluble dans l'eau pure et inflammable. Il tend à s'oxyder lentement en NO_2 en présence d'oxygène.

Le NO_2 est un composé gazeux au-delà de $21,1^\circ\text{C}$ à la pression atmosphérique. C'est une forme dissociée du N_2O . La dissociation du NO_2 est complète dès 150°C (GUENANE,2020).

Effets sur la santé et environnement

Le NO_2 est un puissant irritant des voies pulmonaires. Il peut entraîner une détresse respiratoire aiguë avec toux incessante, cyanose, douleurs thoraciques, parfois convulsions et insuffisance circulatoire aiguë. Il peut provoquer la mort résultant d'un œdème pulmonaire tardif. Le décès peut survenir plusieurs mois après l'exposition au gaz.

La concentration maximale admissible en NO_2 à ne pas dépasser en aucun cas dans les locaux industriels est de 9 mg/m^3 .

Le NO est un gaz irritant moins dangereux que le NO_2 . Son action se caractérise par une irritation de muqueuses.

La durée de vie moyenne des NO_x dans l'air est de 1,5 jour. Pour le N_2O , il est d'environ 150 ans. Les NO_x jouent un rôle important dans la formation des smogs photochimiques. Ils interviennent également dans la contamination par les pluies acides en régissant avec l'eau et l'oxygène de l'air pour produire l'acide nitrique HNO_3 et l'acide nitreux HNO_2 . Le NO participe également à la destruction de la couche d'ozone.

6. Les métaux lourds

Les métaux lourds sont les éléments chimiques dont la densité est supérieure à 5kg/m^3 . Ils sont classés en 3 groupes basés sur l'activité et la toxicité biologique des éléments et sur leur chimie :

- Classe A : affinité pour l'oxygène,
- Classe B : affinité pour le soufre,
- Classe intermédiaire : entre les deux.

Les métaux lourds généralement étudiés dans le cas d'incinération sont : le mercure Hg, le cadmium Cd, le plomb Pb, le nickel Ni, l'arsenic As et leurs composés respectifs. Le cadmium est détecté dans la plupart des déchets solides d'origine domestique, industrielle, hospitalière et agricole. Le plomb se trouve généralement dans les déchets industriels banals et dans les déchets ménagers. Il provient des ferrailles, des piles et batteries, matière plastique, pigments, peintures, papiers et cartons. Le nickel est contenu dans les pièces métalliques, aciers inoxydables, piles et batteries, céramique et aimants. On le retrouve dans les ordures ménagères, les déchets dangereux et les boues de station d'épuration. L'arsenic est présent en particulier dans les déchets de métaux non ferreux, dans les déchets de

chantiers, les déchets agricoles, les boues d'industries chimiques et les déchets ménagers. Alors que le mercure se trouve généralement dans les ordures ménagères, les déchets industriels, etc (GUENANE,2020).

Sous l'effet de la température, les métaux lourds contenus dans les déchets se volatilisent. Ils subissent une série de réactions d'oxydation et autres réactions avec le HCl, les SO_x pour former les halogènes, les oxydes métalliques, les sulfates et sulfures métalliques et des dérivés produits de combustion incomplète.

Ces composés volatils peuvent se retrouver tels quels dans les fumées, se décomposer sous l'action de la chaleur, ou se fixer à la surface des particules en suspension et des cendres volantes.

Effets sur la santé et environnement

Mercure : il pénètre par la chaîne alimentaire dans le métabolisme. S'ensuit une bioaccumulation, en partie, dans les poissons et les coquillages. Il peut pénétrer dans l'organisme à travers la peau ou par inhalation. L'ingestion de quelques milligrammes de Hg(CH₃)₂ suffit pour provoquer la mort. Il se répand dans le sang pour être retenu en grande partie dans les reins. L'infection se traduit également par une affection neurologique.

Cadmium : il pénètre dans l'organisme par ingestion ou inhalation et provoque des intoxications graves au niveau des poumons et des muqueuses du tube digestif. Ces affections graves peuvent dégénérer en cancer.

Plomb : il s'accumule dans le corps jusqu'à une quantité à partir de laquelle apparaissent les symptômes. L'intoxication s'effectue par les voies respiratoires par inhalation et par ingestion de nourriture contaminée et d'eau polluée (GUENANE,2020).

7. Dioxines/furanes

C'est un groupe de composés organiques polycycliques halogénés de la famille des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Les PCDD/F possèdent 8 degrés de chloration. Un degré de chloration correspond à la présence d'un atome de chlore sur le cycle, sur l'un des numéros. Ces molécules sont considérées comme toxiques à partir de 4 molécules de chlore dans les positions 2, 3, 7, 8.

Les PCDD/F sont des composés solides à température ambiante, peu solubles dans l'eau et encore moins en présence de HCl, très solubles dans les matières grasses (lipophiles).

Les PCDD/F sont, de manière générale, stables. Avec l'augmentation de la température, il y'a déchloration des dioxines jusqu'à ce qu'il ne reste plus que le noyau biaromatique constitué des deux phényles et des oxygènes les dioxines/furanes sont détruits aux environs de 800°C, mais le noyau biaromatique peut résister jusqu'à des températures de l'ordre de 1150°C (GUENANE,2020).

On trouve les dioxines à l'état de traces (100µg/g) dans les ordures ménagères constituées de vieux papiers, déchets de bois, résidus souillés de pesticides.

Les PCDD/F se forment au cours de l'incinération à partir des précurseurs qui sont les polychlorophénols, polychlorobiphényles, et des composés chlorés et aromatiques. Les déchets concernés sont : le PVC, les papiers, les résidus de pesticides, le bois, les pigments de peinture.

Au cours de l'incinération, les PCDD/F se répartissent de la manière : 5 % dans les mâchefers, 85 % dans les cendres volantes, 10% dans les fumées (GUENANE,2020).

La formation des dioxines et furanes au cours de la combustion apparaît à partir de 200 °C et devient maximum aux alentours de 350 °C, température à laquelle les précurseurs organiques se transforment en PCDD/F en présence d'oxygène, vapeur d'eau et HCl.

Effets sur la santé et environnement

Concernant la toxicité aiguë, plusieurs effets ont été décrits telles que l'irritation oculaire, conjonctivite, déficience du système hépatique, et la chlorancée.

En cas d'exposition répétée au PCDD/F, on a remarqué des symptômes tels que l'augmentation du volume du foie, perte de libido, encéphalopathie, perturbation de l'activité thyroïdienne, une perturbation du système immunitaire, des effets cancérigènes, génotoxiques et une baisse de fertilité.

Les PCDD/F sont très stables chimiquement, ce qui amène à des phénomènes de bioaccumulation le long de la chaîne alimentaire (GUENANE,2020).

8. Les composés organiques volatiles

Les COV sont les composés organiques, c'est-à-dire contenant l'élément carbone et plusieurs autres éléments tel que l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, etc. Ils se caractérisent par leur grande volatilité. Ils passent facilement de l'état liquide vers l'état gazeux dans les conditions de pression et de température.

Les COV sont les produits d'une combustion incomplète des déchets et regroupent les diverses molécules organiques qui n'ont pas été totalement décomposées lors de la combustion. Selon l'Arrêté européen du 20 septembre 2002, la valeur limite des COV dans les rejets atmosphériques est de 10 mg/m³ (GUENANE,2020).

Effets sur l'environnement et la santé

Les effets des COV sont nombreux et varient en fonction de l'espèce rencontrée : problèmes respiratoires, irritations nasales et oculaires. Certains COV ont également une influence sur les systèmes immunitaires, sanguins, hépatiques rénaux et cardiovasculaires. Certains sont cancérigènes, mutagènes et tératogènes.

Dans la troposphère, les COV engendrent, en présence des NO_x, l'augmentation de la quantité d'ozone via une série de réactions photochimiques. Ils ont une longévité et une réactivité suffisante pour pouvoir participer à des réactions photochimiques susceptibles d'intervenir dans les phénomènes perturbateurs de l'équilibre terrestre.

Les COV les moins réactifs tels que les halogènes se dégradent lentement et peuvent gagner les couches élevées de l'atmosphère. Sous l'effet des U.V, ils se décomposent et libèrent du chlore qui

consomme les molécules d'ozone, favorisant ainsi la destruction de la couche d'ozone (GUENANE,2020).

9. Les cendres et mâchefers

En plus de la pollution gazeuse et particulaire, nous avons les résidus solides de l'incinération qui sont les cendres et mâchefers.

Les cendres sont des matériaux pulvérulents constitués de particules solides de faible diamètre, produits par la combustion de fuel ou de charbon ou autres matières carbonées.

Les mâchefers sont des résidus provenant de diverses activités métallurgiques ou de chimie lourde produits alors par pyrolyse de diverses substances. Ils sont constitués de scories issues des solides incinérés dans le four. Ces résidus solides sont en général de nature inerte et sont récupérés en bas du four.

Effets sur l'environnement et la santé

Les cendres volantes et les mâchefers peuvent contenir des éléments toxiques tels que les dioxines et les métaux lourds. Ils peuvent, donc, être nocifs pour la santé humaine par transfert vers l'organisme par inhalation et pour l'environnement par contamination de l'air, des sols et des plantes (GUENANE,2020).