36-38 Avenue Salvador Allende - Parc Mykonos - Bâtiment F - 60 000 BEAUVAIS
☎ : 03 448 448 60 - 🗎 : 03 448 448 90
E-mail : coelys@coelys.fr - www.coelys.fr

Étude technico-économique pour la réduction des émissions atmosphériques

RVM

Site de Coulombs (28)

Référence du rapport : R-15-05-009 - Définitif

Etude effectuée par : M. Cocher et A. Péan (COÉLYS)

Etude demandée par : C. Mareuge (RVM)

Ce rapport comporte 23 pages (hors-annexes).

La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

	Rédigé par	Vérifié par	Approuvé par
Date	Novembre 2015		
COÉLYS	M. Cocher Ingénieur Études	A. Péan Directeur	A. Péan Directeur
RVM		C. Mareuge Directeur	C. Mareuge Directeur

Rapport imprimé sur papier recyclé

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION - OBJECTIFS DE L'ETUDE 3

II. PRESENTATION DES INSTALLATIONS 4

II.1. TRAITEMENT PAR PYROLYSE - GENERALITES 4
II.2. INSTALLATION ACTUELLEMENT EN PLACE SUR LE SITE 4
II.2.1. Fonctionnement de l'installation 5
II.2.2. Traitement des gaz issu de l'installation 5

III. CADRE REGLEMENTAIRE ET BILAN DES EMISSIONS 8

III.1. CADRE REGLEMENTAIRE 8
III.2. BILAN DES EMISSIONS 9

IV. ÉTUDE TECHNICO-ECONOMIQUE 11

IV.1. RAPPELS PRELIMINAIRES – OBJECTIFS DE REDUCTION 11
IV.2. GENERALITE SUR LES INSTALLATIONS DE TRAITEMENT 11
IV.3. SOLUTION DE REDUCTION DES EMISSIONS DE CO 12
IV.3.1. Solution de traitement à la source 12
IV.3.2. Solution de traitement des émissions – Catalyseur d'oxydation 12
IV.4. SOLUTION DE REDUCTION DES EMISSIONS DE COV 13
IV.4.1. Oxydation thermique 14
IV.4.2. Traitement biologique 15
IV.4.3. Absorption 16
IV.4.4. Système d'adsorption 17
IV.4.5. Condensation 18
IV.5. RESUME DES TECHNOLOGIES 19

V. BUDGET 21

V.1. TRAITEMENT DES REJETS 21
V.1.1. CO 21
V.1.2. COV 21
V.2. INSTALLATIONS CONNEXES 21

VI. CONCLUSIONS 22

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES 23

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

I. INTRODUCTION - OBJECTIFS DE L'ETUDE

La société RVM située à Coulombs (28) est spécialisée dans le traitement et la valorisation de déchets métalliques. Le site est actuellement soumis à autorisation d'après la nomenclature des Installations Classées Protection de l'Environnement (ICPE). Le site possède un arrêté préfectoral datant du 18 mai 2000.

Au regard de son activité, le site de RVM est également soumis à la Directive IED de par son activité de traitement de déchets dangereux (rubrique 3510), de valorisation par traitement pyrolyse (rubrique 3520) et de stockage de déchets dangereux (rubrique 3550).

Suite à l'entrée en vigueur de ces rubriques ICPE et à l'évolution de la nomenclature sur les déchets, la société RVM prépare le dépôt d'un nouveau Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter (DDAE).

Au sein de ce dossier, la société RVM s'est engagée, au vu de certains dépassements historiques des VLE au droit du rejet atmosphérique de son installation de pyrolyse, à faire réaliser une étude technico-économique de réduction des rejets atmosphériques.

Les éléments présentés dans ce dossier sont les suivants :

- Une description de la principale installation émettrice de polluant,
- Une présentation du cadre réglementaire applicable au site,
- Un bilan des émissions à l'atmosphère,
- L'étude des solutions de réduction de ces émissions.

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

II. PRESENTATION DES INSTALLATIONS

II.1. Traitement par pyrolyse - Généralités

La pyrolyse est une technique de traitement des déchets qui consiste à les chauffer à des températures généralement comprises entre 350 et 650 °C en l'absence d'oxygène (ou en présence d'une très faible quantité d'oxygène ou d'air, destinée à apporter, par combustion très partielle, l'énergie nécessaire au processus de pyrolyse). Cette caractéristique s'obtient par la définition de la géométrie du four (par exemple cylindre ou tube tournant avec faible diamètre par rapport à la longueur) ou par le fonctionnement dans une enceinte close sous vide partiel ou gaz inerte.

Il en résulte une production d'un gaz combustible, d'un liquide (huile ou mélange d'hydrocarbures) et d'un résidu solide (souvent désigné « coke » ou « char » ou « biochar ») qui contient la fraction minérale du déchet entrant, ainsi que le « carbone fixe », c'est-à-dire le carbone présent dans le déchet qui ne s'est pas transformé en gaz ou liquide. La proportion entre gaz, liquide et solide dépend de nombreux paramètres tels que la composition initiale du déchet, la température et la pression, le temps de séjour, etc.

La pyrolyse « flash », consistant à chauffer rapidement les déchets jusqu'à des températures de l'ordre de 500 à 650 °C, permet de maximiser la production de gaz et minimiser la production de coke.

Inversement, une pyrolyse lente à température basse (entre 300 et 400°C) favorisera la production de coke.

La pyrolyse génère environ 5 fois moins de volume de fumée que l'incinération standard (température d'incinération entre 800 et 1 000°C). Ces fumées contiennent très peu de dérivés du type NO_x du fait de la faible présence d'oxygène.

La pyrolyse permet de traiter des déchets ayant une fourchette de PCI plus large que ceux qu'il est possible de détruire par incinération. Cette caractéristique est importante pour le traitement des déchets contenant du caoutchouc.

La Pyrolyse reste une technique de traitement de déchet particulière ayant pour but de revaloriser des fractions de déchets contrairement à une installation d'incinération classique. De ce fait, les 2 technologies sont très différentes.

II.2. Installation actuellement en place sur le site

L'installation de pyrolyse présente sur le site de RVM est illustrée en page suivante.

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

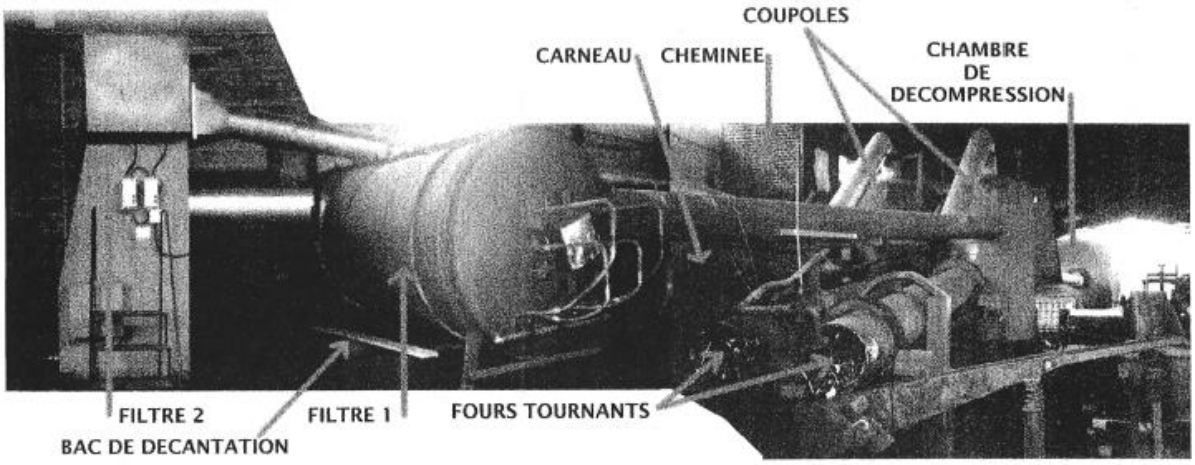

Figure 1 : Illustration de l'installation de pyrolyse

Il s'agit d'une installation à four tournant de faible diamètre. De plus, il s'agit d'une pyrolyse « Flash », c'est-à-dire une pyrolyse à environ 500 °C avec un temps de séjour des déchets dans le four relativement faible.

A noter que l'installation en place est unique et a fait l'objet d'un Brevet du 19 Novembre 1993.

Peu d'autre installation du même type existe en France. Une étude de l'ADEME datant de Janvier 2014 présentait moins d'une dizaine d'installation de pyrolyse en France et uniquement à l'état de prototype.

II.2.1. Fonctionnement de l'installation

Les déchets sont introduits dans le four au moyen d'une bande transporteuse. Un brûleur à fioul, situé en partie basse du four, permet d'initier le phénomène de pyrolyse. Les graisses, les huiles ou matières caoutchouteuses qui souillent les parties métalliques se décomposent.
La réaction de pyrolyse dans le four s'auto-entretient et les paramètres internes (teneur en O_2, CO_2, …) s'auto-régulent.

A la sortie du four (en partie basse du four tournant), les particules métalliques tombent sur une bande vibrante ayant pour fonction d'acheminer la matière vers un lit fluidisé tout en la refroidissant. Le lit fluidisé, muni d'une grille, permet la séparation des parties métalliques et des particules carbonées.

La matière traitée arrive ensuite au niveau d'un tapis magnétique qui permet la séparation des matériaux ferromagnétiques et non ferromagnétiques.

II.2.2. Traitement des gaz issu de l'installation

Actuellement 2 phases de traitement des gaz et des particules issus de la pyrolyse sont déjà en place sur le site de RVM.

En sortie de l'installation de pyrolyse, le principal produit à traiter contenu dans les gaz et fumée est le carbone, dit « carbone amorphe ». Le carbone est composé de particules de petites et de grosses granulométries captés par les filtres. Le carbone est collant ; il est donc facile à traiter.

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

Les fumées et gaz de pyrolyse sont captés par une hotte. Dans un premier temps de l'eau est injecté dans les canalisations aéraulique afin de baisser la température et traiter une partie des effluents. Dans un second temps, les gaz et fumée sont entrainées vers un ensemble de 2 filtres permettant de retenir les suies et les fines particules.

A. Principe de fonctionnement du filtre n°1

Le filtre n°1 est un filtre dans lequel le flux d'air chargé en poussières de noir de carbone se trouve mêlé à un jet d'eau horizontal. Plusieurs toiles, disposées verticalement, brisent le jet et retiennent les poussières.

Ce filtre n°1 a essentiellement pour but de refroidir les fumées et de retenir les plus grosses particules. Son action est complétée par un filtre n°2 agissant sur les plus fines particules.

B. Principe de fonctionnement du filtre n°2

Le filtre n°2 est un dépoussiéreur à manches préassemblées à décolmatage pneumatique.

Les gaz chargés de poussières sont introduits dans le caisson et viennent frapper le baffle intérieur pour se répartir dans le caisson tout en favorisant la sédimentation des plus grosses particules.

Ces gaz traversent la couche poreuse en feutre aiguilleté de l'extérieur vers l'intérieur et les poussières sont collectées sur la surface externe des éléments filtrants.

Les poussières sont éjectées de la surface du feutre et tombent dans la trémie.

La figure ci-dessous présente le principe du filtre n°2 :

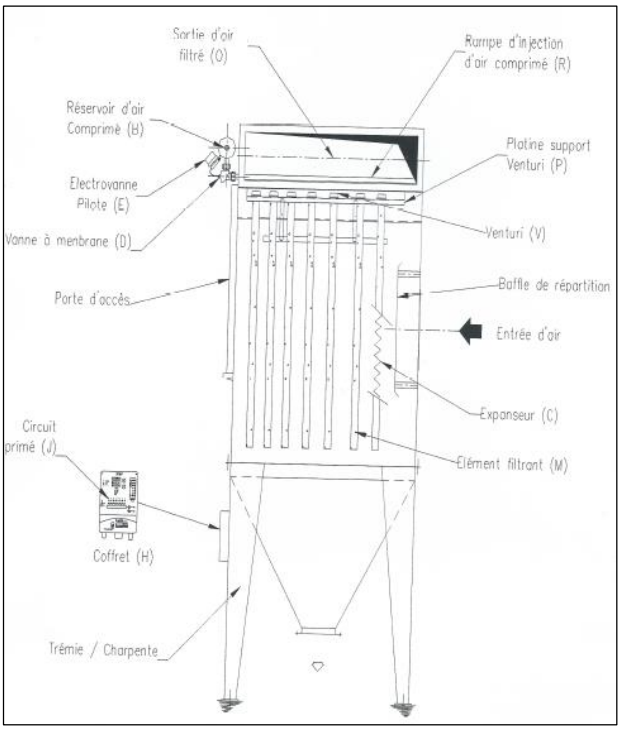

Figure 2 : Illustration du filtre n°2

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

L'avantage de ce filtre est la réduction du flux de carbone dont une partie est traité par un laveur de boue (Piéralésie) et la diminution de la température qui passe de 250° à 140°C. Le filtre est pourvu de 588 manches et d'un décolmatage manuel et automatique.

Après passage dans ce filtre, les fumées sont envoyées dans une chambre de décompression afin de les détendre. Cette chambre de décompression contient des grilles métalliques à mailles très fines favorisant la coalescence et la condensation de la vapeur d'eau. La condensation est accentuée ensuite au niveau du carneau.

Grâce à cette condensation de l'eau, le panache émis en sortie de cheminée est extrêmement faible.

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

III. CADRE REGLEMENTAIRE ET BILAN DES EMISSIONS

III.1. Cadre réglementaire

Le site RVM situé à Coulombs (28) est une installation classée soumise à autorisation. Les prescriptions applicables concernant les émissions à l'atmosphère sont précisées dans l'Arrêté Préfectoral Complémentaire du 21 janvier 2009 en vigueur pour le site. Elles correspondent en grande partie aux valeurs réglementaires fixées par l'arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération ou de co-incinération de déchets non dangereux.

Il est à noter que l'arrêté ministériel du 20 septembre 2002, servant de base à l'arrêté préfectoral du site, est établi principalement pour des installations d'incinération. Comme vu précédemment (cf II.1.), ces installations possèdent un mode de fonctionnement différent d'une installation de pyrolyse (contrôle des différents paramètres de combustion, de la température dans le four, …) et n'ont pas le même but, étant donné que la pyrolyse a pour objectif de revaloriser des fractions de déchet.

D'un point de vue réglementaire, une autre technologie est dans le même cas que la pyrolyse et il s'agit de la gazéification.

La technologie de gazéification est souvent associée à la pyrolyse car le but de cette technique est toujours la valorisation des déchets avec des procédés relativement proches.

Le conseil national de l'industrie a d'ailleurs rédigé une note stratégique sur le développement des filières de pyrolyse et de gazéification (juin 2015) au sein de laquelle il est recommandé de créer de nouvelle rubrique ICPE pour ces technologies afin que la réglementation soit plus en adéquation avec ces procédés de traitement.

Les prescriptions sur les rejets atmosphériques pour le site de RVM ne sont donc pas adaptées.

Pour rappel, les Valeurs Limites d'Emissions (VLE) sont présentées en page suivante.

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

Substances	Valeurs limites d'émissions	
	Moyennes journalières	Moyennes sur ½ heure
Monoxyde de carbone (CO)	50 mg/m^3	100 mg/m^3
Poussières totales	10 mg/Nm^3	30 mg/Nm^3
Substances organiques à l'état de gaz ou de vapeurs exprimées en carbone organique total (COT)	10 mg/Nm^3	20 mg/Nm^3
Chlorure d'hydrogène (HCl)	5 mg/Nm^3	30 mg/Nm^3
Fluorure d'hydrogène (HF)	1 mg/Nm^3	4 mg/Nm^3
Dioxyde de soufre (SO_2)	50 mg/Nm^3	200 mg/Nm^3
Monoxyde d'azote (NO) et dioxyde d'azote (NO_2) exprimés en dioxyde d'azote	50 mg/Nm^3	100 mg/Nm^3
	Moyennes sur une période d'échantillonnage d'1/2 heure minimum et 8 heures maximum	
Cadmium et ses composés, exprimés en Cd + Thallium et ses composés, exprimés en Tl	0,05 mg/m^3	
Mercure et ses composés, exprimés en mercure (Hg)	0,05 mg/m^3	
Total des autres métaux lourds (Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V)	0,5 mg/m^3	
	Moyennes sur une période d'échantillonnage De 6 heures minimum et 8 heures maximum	
Dioxines et furannes	0,1 ng/m^3	

Tableau 1 : Valeurs Limites d'Emissions pour le site de RVM

III.2. Bilan des émissions

3 campagnes de mesures ont été réalisées sur le site de RVM depuis 2013. Le tableau à suivre présente ces résultats :

Eléments contrôlés	Unité	Valeurs d'émissions fixées pour RVM	19/12/2013	20/03/2014	23/07/2015
		Moyenne journalière			
COVT	mgC/Nm$^3_{sec}$	10	30	14,7	5,9
CO	mgCO/Nm$^3_{sec}$	50	206	53	40
Poussières totales	mg/Nm$^3_{sec}$	10	4	-	0,42
HCL	mg/Nm$^3_{sec}$	5	<0,17	-	2,25
HF	mg/Nm$^3_{sec}$	1	0,3	-	0,08
SO_2	mg eqSO_2/Nm$^3_{sec}$	50	0,91	-	0,56
NO_x	mg eqNO_2/Nm$^3_{sec}$	50	18	2,2	6,1
Cd + Tl	mg/Nm$^3_{sec}$	0,05	<0,002	-	<0,0030
Hg	mg/Nm$^3_{sec}$	0,05	<0,002	-	<0,0009
Somme des métaux lourds	mg/Nm$^3_{sec}$	0,5	<0,103	-	<0,050
Dioxines et furannes	ng/Nm$^3_{sec}$	0,1	<0,012	-	0,024

Tableau 2 : Synthèse des mesures du rejet atmosphérique sur l'installation de pyrolyse

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

La légende utilisée pour l'illustration de ce tableau est présenté ci-dessous :

XX	Concentration Inférieure aux valeurs d'émissions fixées pour RVM
XX	Concentration supérieure aux valeurs d'émissions pour RVM

Pour les campagnes de 2013 et 2014, des dépassements de VLE sont relevés pour le CO et les COVT. Lors de la campagne de 2015, aucun dépassement n'est constaté.

Entre 2013 et 2015, une baisse de concentration est observée pour les paramètres COVT et CO en particulier. Ces baisses sont notamment dues à des améliorations structurelles et de procédés menées par la société RVM au cours des dernières années afin de diminuer leurs émissions (réglage débit d'eau pour le nettoyage des gaz notamment).

Historiquement, des dépassements des VLE sont relevés sur les paramètres CO et COVT. L'étude de solution de réduction des émissions portera donc sur ces composés.

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

IV. ÉTUDE TECHNICO-ECONOMIQUE

IV.1. Rappels préliminaires – Objectifs de réduction

Dans le cadre de l'étude de réduction des rejets atmosphérique de la société RVM, les paramètres concernés et retenus sont :

- CO,
- COVT.

Pour rappel, les données ci-dessous présentent les caractéristiques du rejet de l'installation de pyrolyse :

- Température : environ 140°C en sortie du filtre 2
- Humidité absolue : 1 à 3 % en volume
- Débits d'émissions : entre 10 000 et 16 000 m^3/h en fonction du nombre de four en activité,
- Process en fonctionnement discontinue,

En tenant compte du bilan des émissions actuelles et du cadre réglementaire applicable, il est envisagé les objectifs de réductions suivant pour une journée entière :

- CO : 40 $mgCO/Nm^3$,
- COVT : < 10 mgC/Nm^3.

La réduction de ces deux paramètres sera traitée de manière séparée. Toutefois, un couplage de 2 techniques de traitement peut être envisagé.

IV.2. Généralité sur les installations de traitement

Les systèmes de traitement des gaz n'ont pas d'application universelle.

Un certain nombre de paramètres doivent être observés pour déterminer l'adéquation d'un type de système de traitement pour épurer les effluents gazeux dans les conditions particulières d'exploitation du site. Il est notamment nécessaire de connaître :

- Le ou les polluants présents dans l'effluent gazeux : cette donnée permet notamment de sélectionner à priori un système adapté et d'éviter tout risque de dysfonctionnement en cas d'incompatibilité (par exemple, présence de poison pour des catalyseurs ou de produits non adsorbables ou colmatant pour les charbons actifs),
- La concentration du ou des polluants dans l'effluent et le débit à traiter : ceux-ci peuvent conditionner la possible application ou non d'une technologie au cas de l'effluent et les rendements épuratoires. Ils entrent également en compte dans la plupart des cas dans le dimensionnement du système,
- La température de l'effluent afin d'éviter toute incompatibilité avec un système de traitement pressenti (charbon actif ou traitement biologique par exemple en cas de température trop importante),
- La place disponible pour le système,
- L'objectif de rendement épuratoire attendu.

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

IV.3. Solution de réduction des émissions de CO

IV.3.1. Solution de traitement à la source

Le monoxyde de carbone est généré principalement lorsqu'une combustion n'est pas complète. De ce fait, il est présent dans les émissions des installations de combustions. Les solutions classiques de réductions du CO est la maîtrise des paramètres de combustions afin d'améliorer son rendement et donc baisser les concentrations résiduelles de CO.

Dans le cas présent, l'installation de pyrolyse étant une installation atypique, ces solutions ne sont pas applicables car la combustion s'auto-entretient une fois démarrée. De plus, la faible quantité d'oxygène dans les fours engendrant la formation de CO n'est pas contrôlée par une injection d'air appauvri mais de par la géométrie des fours.

Une solution subsidiaire afin de limiter les émissions de CO serait d'optimiser l'insertion des produits dans le four. A l'heure actuelle, les déchets à valoriser sont mis manuellement sur une bande transporteuse. Les quantités insérées dans les fours ne sont donc pas régulières. Une insertion continue d'une quantité fixe de produit permettrait de limiter les pics de monoxyde de carbone.

Cette solution permettrait de baisser les concentrations en CO mais sans toutefois garantir l'atteinte de l'objectif fixé. Une solution de traitement des émissions doit être envisagée.

IV.3.2. Solution de traitement des émissions – Catalyseur d'oxydation

Il est à noter dans un premier temps, que très peu de solution existe pour le traitement du monoxyde de carbone.

Un catalyseur d'oxydation est un système passif utilisé pour réduire les monoxydes de carbone. Lors du passage dans le catalyseur métallique, le CO est retenu sur les parois des cellules recouvertes de métaux précieux. Sous l'effet de la température, une réaction thermique le transforme alors en vapeur d'eau et en dioxyde de carbone. La réaction d'oxydation nécessite une température minimale de 280°C.

Les impacts à prendre en compte sont :

- Les émissions plus importantes en CO_2,
- Les gaz qui devront subir un réchauffement avant le passage sur le catalyseur car ils sortent du second filtre à une température d'environ 140°C.

L'encombrement du système de traitement ainsi que des essais pilote devront être pris en considération pour la validation de cette solution.

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

	Catalyseur d'oxydation
Performances	Atteinte des 40 mgCO/Nm^3 Rendement > 50%
Avantages	- Modification opérationnelle simple
Inconvénients / Contraintes	- Emissions accrues de CO_2 - Nécessite une installation de réchauffement des gaz avant passage sur le catalyseur
Coûts de fonctionnement	- Légèrement augmenté

Tableau 3 : Synthèse des caractéristiques du catalyseur d'oxydation

Conclusion :

La solution est théoriquement intéressante. Toutefois, elle nécessite le réchauffement des gaz. La place disponible sur le site pour ce système devra être validée. Des essais pilote doivent être réalisé sur ce type de technologie afin de garantir l'efficacité de cette solution de traitement.

IV.4. Solution de réduction des émissions de COV

Les différentes techniques de traitement de COV existantes actuellement sur le marché et éprouvées sont les suivantes :

- L'oxydation thermique (catalytique ou non),
- Les traitements biologiques (biofiltre, biolaveur, lit bactérien),
- L'adsorption (sur charbon actif en grains, sur tissu de charbon actif, sur autres adsorbants),
- L'absorption (colonne à garnissage, colonne à pulvérisation, …),
- La condensation.

Ces différentes technologies de traitement sont présentées en détail en ***Annexe 1***. Elles sont présentées de manière succincte dans les chapitres à suivre.

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

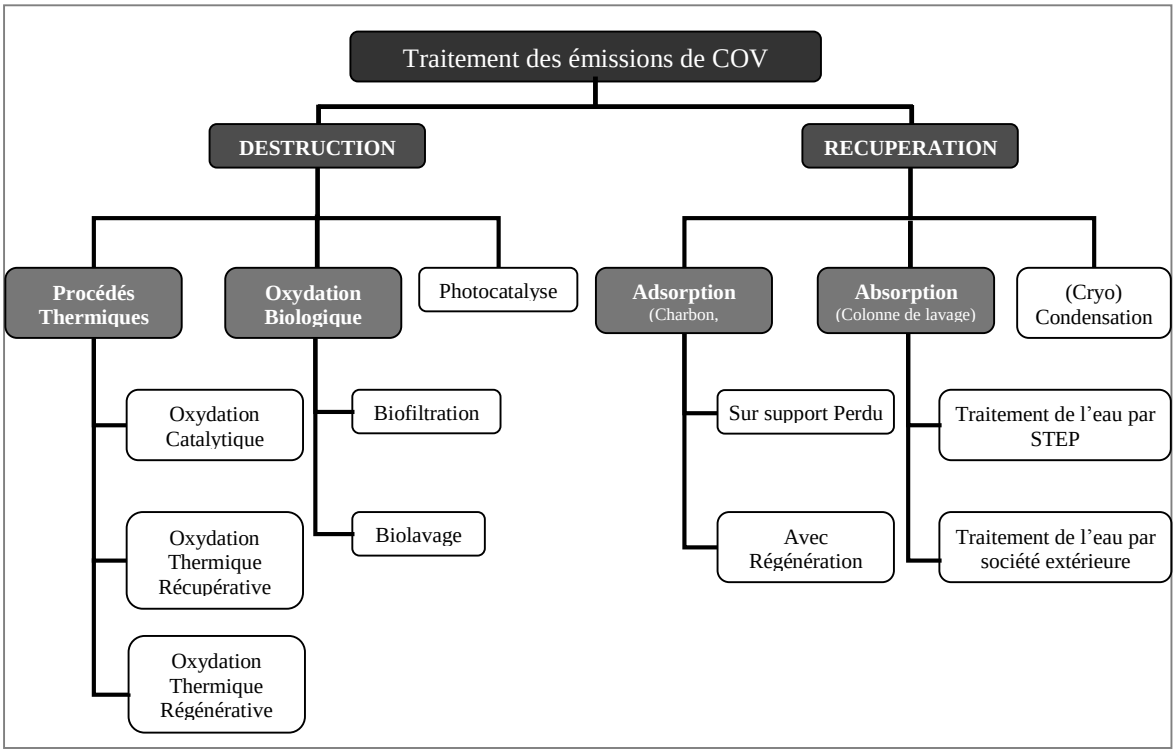

Figure 3 : Synthèse des différents systèmes de traitement existants

IV.4.1. Oxydation thermique

Différents systèmes de traitement par oxydation thermique existent sur le marché. Les deux principaux sont :

- Les systèmes récupératifs,
- Les systèmes régénératifs.

Les plages de fonctionnement correspondantes à chacun de ces systèmes sont décrites dans le tableau ci-après :

Procédés	Oxydation non catalytique		Oxydation catalytique	
	Thermique Récupérative	Thermique Régénérative	Catalytique Récupérative	Catalytique Régénérative
Concentrations (gCOV/Nm^3)	5 à 15	1 à 8	0,5 à 12	0 à 5
Autothermie (gCOV/Nm^3)	6 à 10	2 à 5	3 à 5	< 1
Débits (Nm^3/h)	< 30 000 (60 000)	1 000 et 300 000 (500 000)	< 30 000	< 100 000

Tableau 4 : Plages de fonctionnement pour les différents systèmes d'oxydation thermique

L'oxydation thermique non catalytique peut également être mise en œuvre pour des concentrations inférieures aux seuils indiqués. Cela requiert parfois l'installation d'un système de pré concentration de l'effluent avant injection dans la chambre de combustion (système de roue zéolithe par exemple).

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

Les principaux avantages et inconvénients d'un système d'oxydation thermique (régénératif non catalytique) et les performances attendues en terme d'épuration sont synthétisés dans les tableaux ci-après :

	Oxydation thermique régénérative
Performances (mg/Nm^3)	COVt < 20 ou 5 si nécessaire Rendement > 95% min
Avantages	- Pas de transfert de pollution - Récupération énergétique possible (en général meilleure que pour un système catalytique)
Inconvénients / Contraintes	- Consommation de combustible (gaz propane en général) en appoint si non atteinte de l'autothermie ou lorsque il n'y a plus d'effluents gazeux en entrée de système - Incompatibilité avec les particules / poussières et aérosols (possibilité d'installer un système de dépoussiérage en amont)
Coûts de fonctionnement	- Consommation d'électricité et combustible (donc consommation de matière première)

Tableau 5 : Synthèse des caractéristiques des systèmes d'oxydation thermique régénérative

Conclusion :

Un système d'oxydation thermique permettrait techniquement de traiter les effluents issus de l'installation de pyrolyse. De plus, un système d'oxydation thermique pourrait être couplé au catalyseur d'oxydation afin de réchauffer les gaz avant le passage sur ce dernier.

Malgré le fonctionnement discontinu de l'installation de pyrolyse, il peut être envisagé un oxydateur thermique régénératif à allumer le matin et éteindre le soir afin de limiter les coûts de fonctionnement.

La place importante prise par ce type de système de traitement doit également être prise en compte.

Une attention toute particulière doit aussi être portée sur le réglage d'un RTO pour éviter de génération du CO en complément de celui déjà présent dans l'effluent.

IV.4.2. Traitement biologique

Les traitements biologiques reposent sur l'oxydation en milieu aqueux des polluants à l'aide de micro-organismes. Dans le cas du traitement de gaz (COV), les polluants constituent la seule source de carbone utilisée par les bactéries pour leur biosynthèse (anabolisme) et comme source d'énergie indispensable à la dégradation du substrat (catabolisme). La dégradation des composés organiques volatils conduit à la formation de dioxyde de carbone et d'eau.

On distingue 2 grandes classes de bioréacteurs :

- En phase mobile : biolavage ou lit bactérien (filtres percolateurs),
- En phase fixe : biofiltre.

Le traitement biologique est bien souvent précédé d'une étape d'absorption (en film ou dans une colonne de lavage).

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

Les principaux avantages et inconvénients d'un système biologique et les performances attendues en termes d'épuration sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

	Traitement biologique
Concentrations ($gCOV/Nm^3$)	Max. 1
Débits (Nm^3/h)	4 000 à 200 000
Performances (mg/Nm^3)	COVt < 100 – Le rendement peut atteindre 90%
Avantages	- Pas de transfert de pollution - Coûts de fonctionnement relativement peu importants (par rapport à une oxydation thermique)
Inconvénients / Contraintes	- Fonctionnement avec effluent à « faible température » (<40°C) - Faible fluctuation de la concentration en entrée du système (sinon installation de lissage du flux à prévoir en amont) - Solubilité dans l'eau des produits à dégrader et biodégradabilité - Incompatibilité avec les particules / poussières et aérosols (possibilité d'installer un système de dépoussiérage en amont) - Nécessite une bonne stabilisation du pH et de l'équilibre nutritionnel et une mise hors gel de l'installation (pour que les organismes ne meurent pas) - Installations en général assez volumineuses
Coûts de fonctionnement	- Consommation d'électricité et d'eau (donc production d'eaux usées et de boues) - Coût d'élimination des déchets (boues + taxe sur eaux usées) - Ensemencement annuel et changement de lit tous les 3 à 5 ans

Tableau 6 : Synthèse des caractéristiques d'un système de traitement par voie biologique

Conclusion :

Le traitement biologique des émissions de l'installation de pyrolyse n'est pas envisageable pour les raisons suivantes :

- **Problème de variabilité des concentrations,**
- **Fonctionnement discontinu des installations,**
- **Problème d'emprise au sol sur le site,**
- **Température trop élevée de l'effluent à traiter, ce qui nécessiterait un système de refroidissement des gaz.**

IV.4.3. Absorption

Le traitement des COV peut être effectué par le lavage du gaz avec une solution liquide, l'opération consistant à transférer les composés de la phase gaz à la phase liquide (ceci correspond d'ailleurs à la première phase d'un traitement biologique).

Les principaux avantages et inconvénients d'un système par absorption et les performances attendues en termes d'épuration sont synthétisés dans le tableau en page suivante.

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

	Absorption
Concentrations (gCOV/Nm3)	2 à 50
Débits (Nm^3/h)	200 à 100 000
Performances (mg/Nm^3)	COVt < 100 Rendement > 90 à 98%
Avantages	- Compacité et modularité - Fonctionnement en passif possible
Inconvénients / Contraintes	- Transfert de pollution et génération d'eaux usées - Difficulté du choix d'un liquide adapté aux COV à solubiliser - Consommation de solvant (eau ou autre liquide)
Coûts de fonctionnement	- Coûts de solvant et coûts énergétique (faibles à élevés selon les systèmes) - Coût de déchets

Tableau 7 : Synthèse des caractéristiques d'un système de traitement par absorption

Conclusion :

Il est techniquement compliqué de traiter les effluents via une solution d'absorption car l'évaluation de la solubilité parait complexe. La température serait également à adapter (refroidissement des gaz) pour favoriser l'absorption et serait donc en contradiction avec une température importante nécessaire pour le catalyseur d'oxydation.

De plus, la technologie nécessite de maîtriser les niveaux de saturation dans le solvant de lavage (afin d'éviter tout stripping à l'atmosphère) et impose de plus de traiter ultérieurement les eaux souillées du fait du transfert de pollution.

IV.4.4. Système d'adsorption

Dans le domaine du traitement des COV, l'adsorption correspond au piégeage des molécules de gaz à la surface d'un solide (en général du charbon actif).

Les principaux avantages et inconvénients d'un système par adsorption et les performances attendues en termes d'épuration sont synthétisés dans le tableau inséré en page suivante.

Ce type de système présente plusieurs avantages :

- Les modules de traitement sont généralement compacts et modulables,
- Leur gestion sur site est relativement simple en comparaison avec d'autres technologies comme l'oxydation thermique (enlèvement et changement des lits, et gestion des déchets assurés par des prestataires externes),
- Ils admettent les fluctuations de flux de pollution et les arrêts d'installation,
- Ils sont relativement adaptables puisqu'ils sont efficaces pour un grand nombre de composés organiques.

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

	Adsorption
Concentrations (gCOV/Nm3)	0 à 50
Débits (Nm3/h)	100 à 100 000
Performances (mg/Nm3)	COVt < 75 COV chlorés < 20 Rendement > 95%
Avantages	- En général, modularité et compacité des systèmes proposés - Efficacité certaine - Flexibilité par rapport aux variations de flux à traiter - Pas besoin d'un fonctionnement continu de l'installation (prévoir quand même une ventilation permanente du lit)
Inconvénients / Contraintes	- Fonctionnement avec effluent à « faible température » (30 -40°C) - Incompatibilité avec les poussières, l'humidité (humidité relative doit être inférieure à 50%), les composés polymérisables, certaines cétones - Difficulté de séparation des solvants très miscibles à l'eau - Effluent avec humidité relative <50% - Systèmes de protection de surchauffe et incendie à prévoir (détecteur, inertage N_2 ou sprinklers, …), la réaction d'adsorption étant exothermique
Coûts de fonctionnement	- Coûts de destruction des déchets (charbon saturé) - Coûts d'achat de nouveau support charbon actif - Consommation d'électricité

Tableau 8 : Synthèse des caractéristiques d'un système de traitement par adsorption

En fonction des objectifs de traitement, il peut être nécessaire de combiner le traitement par adsorption sur charbon actif avec une autre technologie.

Plusieurs fournisseurs de systèmes proposent les services de remplacement et de traitement (réactivation) des charbons usés qui permettent de pallier à un des inconvénients majeurs du traitement sur charbon actif perdu qui est la génération de déchet (charbon actif souillé).

Par ailleurs, ce type d'installation doit être maintenu sous ventilation permanente du lit de charbon actif afin de limiter les risques de départ d'incendie. L'installation doit également absolument être équipée de système de sécurité incendie pour agir rapidement en cas d'accident.

Conclusion :

La technologie de traitement sur Charbons Actifs est techniquement compliquée à mettre en œuvre car certaines conditions seront à remplir pour assurer une bonne qualité de traitement notamment la température. Un système de refroidissement serait à mettre en œuvre et donc en contradiction avec le catalyseur d'oxydation.

Des essais pilotes seraient indispensables pour la validation technique de cette méthode.

IV.4.5. Condensation

Les procédés de captation des COV par condensation reposent sur le principe simple qui découle de l'équilibre liquide et vapeur d'un mélange air/COV ou azote/COV. Lorsque la température s'abaisse, la pression de vapeur saturante du solvant à l'équilibre diminue. La condensation d'une partie de la vapeur de solvant se produit alors dès que la pression partielle devient supérieure à cette pression de saturation. Cette transformation est exothermique et nécessite l'apport de frigories au système.

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

En ce qui concerne les systèmes de traitement d'effluent gazeux, la température de travail, souvent négative, se situe dans un grand nombre de cas entre -20°C et -80°C. Souvent, la condensation s'effectue en plusieurs étapes : par exemple, un étage de refroidissement de l'effluent et d'élimination de l'eau, un deuxième étage pour récupérer les composés les moins volatils et un troisième pour les plus volatils. Pour descendre en dessous de -40°C (limite des groupes frigorifiques à compression mécanique), on utilise les fluides cryogéniques, essentiellement l'azote liquide (-196°C), parfois le CO_2 liquide (-140°C).

Les plages de fonctionnement, les principaux avantages et inconvénients inhérents à cette technique de traitement sont synthétisés dans le tableau ci-après :

	Condensation
Concentrations (g/Nm^3)	10
Débits (Nm^3/h)	2 000
Performances (mg/Nm^3)	COVt selon composés Rendement > 80% à 90%
Avantages	- Permet la récupération de produits - Non sélectif vis-à-vis des COV à traiter
Inconvénients / Contraintes	- Difficulté de traitement si présence de vapeur d'eau
Coûts de fonctionnement	- Coûts énergétiques importants (consommation électricité)

Tableau 9 : Synthèse des caractéristiques d'un système de condensation

Cette technique est généralement employée lorsqu'une récupération de solvant est envisagée à l'issue du traitement. Elle n'est envisageable que lorsque trois solvants au maximum sont présents et en forte concentration.

Conclusion :

Compte tenu du débit à traiter, de la concentration à traiter qui nécessite de descendre très bas en température, la condensation n'est pas adaptée au traitement des effluents de l'installation de pyrolyse.

IV.5. Résumé des technologies

Pour les émissions de CO, une seule solution existe techniquement à l'heure actuelle : le catalyseur d'oxydation.

A partir de l'analyse précédente, la technologie de l'oxydation thermique régénérative semble être techniquement adaptée. Elle permettrait également un traitement couplé avec le catalyseur d'oxydation.

Le système de RTO permettrait de traiter les COV en sortie des 2 installations de traitements de particules déjà en place sur le site. Avec un réglage adapté, les gaz émis par le RTO seront à une température suffisante pour être traiter directement sur le catalyseur d'oxydation et donc éviterai d'installer un système de réchauffage des gaz.

Une présentation synthétique de ces deux technologies est insérée en page suivante.

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

Technologie	Rendement lié à la technologie	Performance attendue	Fournisseur potentiel	Contraintes particulières / Inconvénients	Avantages	Coûts	Illustration
Catalyseur d'oxydation	++ Efficacité probable	CO < 40 mgCO/Nm^3	**SEVNOX**	Production de CO_2 Réchauffement des gaz avant passage sur le catalyseur Encombrement certain avec le système de chauffe Essai pilote nécessaire pour la validation du rendement de l'installation et pour le couplage avec un RTO	Efficacité probablement élevée, atteinte de niveau d'émissions	+++ Coûts d'investissement intéressant mais autres investissement à prévoir avec notamment le système de chauffe des gaz Coût de fonctionnement faible	
Oxydation thermique régénérative	++++ Efficacité certaine, atteinte des performances attendues	COV ≤ 5 mgC/m^3 Et η > 98%	**BABCOCK WANSON** **DÜRR**	Absence de poussières, de produits halogénés, de produits polymérisant Consommation de gaz en appoint si les conditions d'autothermie ne sont pas atteintes Essai pilote nécessaire pour validation du couplage avec le catalyseur d'oxydation Système de traitement encombrant	Efficacité élevée, atteinte de niveau d'émissions	+ Coûts d'investissement important lié à la technologie Coût de fonctionnement important en cas de flux discontinus ou concentration ne permettant pas un fonctionnement autotherme	

Tableau 10 : Présentation de la solution de réduction du CO et de la solution de réduction de COV

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

V. BUDGET

Les différents chapitres à suivre présentent des tableaux de synthèse des budgets pour les différentes solutions étudiées et pour certains fournisseurs consultés dans le cadre du projet.

V.1. Traitement des rejets

V.1.1. CO

Action envisagée	Fournisseur potentiel	Solution proposée	Investissement	Coût de fonctionnement annuel (budget)
Catalyseur d'oxydation	SEVNOX	Mise en place du catalyseur d'oxydation avec caisson hermétique	Budget : **20 k€**	Budget : **1 k€/an** pour la vérification du bon fonctionnement

Tableau 11 : Budget associé à la réduction CO sur l'installation de pyrolyse

V.1.2. COV

Action envisagée	Fournisseur potentiel	Solution proposée	Investissement	Coût de fonctionnement annuel (budget)
Oxydation thermique régénérative	BABCOCK WANSON	Proposition d'un oxydateur thermique avec 3 lits céramiques	Budget : **400 k€**	Budget annuel évalué à **85 k€** (pour maintenir le système en température compte tenu du fonctionnement non continu et non autotherme du système lors de certaines phases de production)

Tableau 12 : Budgets associés à la réduction des COV sur l'installation de pyrolyse

V.2. Installations connexes

Travaux	Budget
Génie Civil	200 000
Tuyauterie et aéraulique	
Utilités (raccordement électricité + gaz)	
Total :	**200 000 €**

Tableau 13 : Budgets associés aux installations connexes du catalyseur et de l'oxydateur thermique

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

VI. CONCLUSIONS

Il nous paraît important de rappeler en début de conclusion que l'installation de pyrolyse est une installation très particulière pour le traitement de déchets. Cette technologie est complètement différente des installations classiques d'incinération. De ce fait, les valeurs d'émissions imposées à la société RVM ne sont pas adaptées.

Les premières modifications apportées par la société RVM lors de ces dernières années sur l'installation de pyrolyse démontrent une amélioration sur les niveaux d'émission du site.

En solutions complémentaires pour le traitement des gaz émis, peu de solutions sont adaptées techniquement. Seul un catalyseur d'oxydation est disponible pour le traitement du CO et pour les COV seul un oxydateur thermique régénératif semble être adapté malgré le fonctionnement discontinu de l'installation.

Dans le cadre de la réduction des émissions de l'installation de pyrolyse présente sur le site de RVM, les amortissements des matériels pourront être envisagés sur 10 ans et avec les 2 installations de traitement couplées.

Pour la technologie de traitement du CO, le gain serait d'environ 40 mg/Nm^3 au maximum soit 1,4 tonne/an.
Pour la technologie d'oxydation thermique, le gain serait d'environ 25 mg/Nm^3 soit 0,9 tonne/an. Les différents impacts financiers liés seraient les suivants :

L'amortissement annuel serait de 148 k€ ce qui revient à 63 300 € la tonne de CO+COV. Cela est très cher.

Le site de RVM traite environ 5 000 tonnes de déchets sur l'installation de pyrolyse par an. Le surcoût à la vente du produit, si ces technologies sont acquises, serait de 30 €/T.

Ces traitements nécessitent la mise en place de technologies lourdes et coûteuses. Ces solutions de traitement ne sont pas économiquement viables au regard des coûts de fonctionnement pour le peu de gain réel amenée sur la baisse des émissions.

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

Liste des tableaux :

TABLEAU 1 : VALEURS LIMITES D'EMISSIONS POUR LE SITE DE RVM 9
TABLEAU 2 : SYNTHESE DES MESURES DU REJET ATMOSPHERIQUE SUR L'INSTALLATION DE PYROLYSE 9
TABLEAU 3 : SYNTHESE DES CARACTERISTIQUES DU CATALYSEUR D'OXYDATION..... 13
TABLEAU 4 : PLAGES DE FONCTIONNEMENT POUR LES DIFFERENTS SYSTEMES D'OXYDATION THERMIQUE..... 14
TABLEAU 5 : SYNTHESE DES CARACTERISTIQUES DES SYSTEMES D'OXYDATION THERMIQUE REGENERATIVE 15
TABLEAU 6 : SYNTHESE DES CARACTERISTIQUES D'UN SYSTEME DE TRAITEMENT PAR VOIE BIOLOGIQUE 16
TABLEAU 7 : SYNTHESE DES CARACTERISTIQUES D'UN SYSTEME DE TRAITEMENT PAR ABSORPTION 17
TABLEAU 8 : SYNTHESE DES CARACTERISTIQUES D'UN SYSTEME DE TRAITEMENT PAR ADSORPTION 18
TABLEAU 9 : SYNTHESE DES CARACTERISTIQUES D'UN SYSTEME DE CONDENSATION 19
TABLEAU 10 : PRESENTATION DE LA SOLUTION DE REDUCTION DU CO ET DE LA SOLUTION DE REDUCTION DE COV 20
TABLEAU 11 : BUDGET ASSOCIE A LA REDUCTION CO SUR L'INSTALLATION DE PYROLYSE 21
TABLEAU 12 : BUDGETS ASSOCIES A LA REDUCTION DES COV SUR L'INSTALLATION DE PYROLYSE..... 21
TABLEAU 13 : BUDGETS ASSOCIES AUX INSTALLATIONS CONNEXES DU CATALYSEUR ET DE L'OXYDATEUR THERMIQUE..... 21

Liste des figures :

FIGURE 1 : ILLUSTRATION DE L'INSTALLATION DE PYROLYSE 5
FIGURE 2 : ILLUSTRATION DU FILTRE N°2 6
FIGURE 3 : SYNTHESE DES DIFFERENTS SYSTEMES DE TRAITEMENT EXISTANTS 14

Le présent document forme un ensemble indissociable. Il ne peut être utilisé et reproduit que sous sa forme intégrale.