

Rapport de Projet de Fin d'Etudes sur la valorisation des déchets de chantiers



Lieu : Paris, La Défense
Date : Mars-Août 2007

Introduction

Issu de la filière Génie des procédés et Environnement de l'ENSTA, j'ai réalisé mon Projet fin d'études au sein du service Environnement et Santé de TECHNIP, de Mars à Août 2007, dans la Tour Adria (siège social de l'entreprise) basée à la Défense.

Ce rapport présentera l'environnement de ce stage, ses objectifs scientifiques, techniques, et opérationnels, et bien sûr le travail fourni et la contribution apportée à l'entreprise.

Remerciements

Je remercie la société TECHNIP et son département HSE Design pour m'avoir permis de réaliser ce stage. Je remercie tout particulièrement Franck SENTIER, chef du service Environnement, pour son accueil chaleureux, sa disponibilité et son aide précieuse apportée au cours de ce stage.

Je tiens à remercier toutes les personnes des départements HSE Design, HSE Management, Services Généraux, et Construction de TECHNIP, avec qui j'ai eu la chance de travailler pendant ces six mois.

Enfin, j'aimerais adresser d'ultimes remerciements à Guillaume COUTURES, basé sur le chantier QCS au Qatar, qui a beaucoup contribué au bon déroulement de mon étude.

Mots clés et résumé du stage

• *Mots clés*

TECHNIP, Déchets de chantier, Déchets dangereux, non dangereux et inerte, Mise en décharge, Incinération, Valorisation, Recyclage, Réutilisation, Guide, Solutions mobiles, International, Société de service, Gestion globale des déchets, Données, Coût, Aspects environnementaux.

• *Résumé du stage*

TECHNIP souhaiterait développer la valorisation de ses **déchets de chantier** au détriment de la **mise en décharge** et de **l'incinération**.

Ce stage avait ainsi pour but de proposer des solutions permettant d'optimiser la **valorisation** des déchets de chantiers (**déchets dangereux, non dangereux et inertes**) de TECHNIP à l'**international**. Pour cela, deux grandes voies ont été retenues :

- la réalisation d'un **guide** de la valorisation (**recyclage, réutilisation...**) des déchets en recherchant des **solutions mobiles** afin d'amortir plus facilement le matériel étant donné l'aspect provisoire (2 à 3 ans) des chantiers.
- faire appel à des sociétés de service internationales spécialisées dans la gestion globale des déchets.

Mais la première étape de ce stage a consisté à récupérer des **données** de chantiers passés et actuels. S'agissant des chantiers passés, cette opération fut très limitée à cause de l'absence quasi-systématique de feedbacks. Quant aux chantiers actuels, cela fût également très difficile car les correspondants sur chantier étaient généralement très occupés et ne disposaient pas toujours des données recherchées.

Le guide de la valorisation réalisé pendant ce stage propose des nouvelles voies de valorisation intéressantes et envisageables (méthanisation, pyrolyse, co-incinération...) ainsi que leurs **coûts** d'investissements associés. La recherche de ces voies a pour vocation d'aider TECHNIP à trouver la solution répondant le mieux à ses besoins en matière de valorisation des déchets.

Au cours de ce stage, nous avons pu également rencontrer deux grandes **sociétés de service** spécialisées dans la **gestion globale des déchets** : VEOLIA PROPLETE et SECHE GLOBAL SOLUTIONS. Ces deux prises de contact avaient pour objet l'étude technico-économique d'une gestion déléguée des déchets de chantier de TECHNIP. Une prise en charge des déchets de chantiers par une société comme VEOLIA ou SECHE permettrait d'optimiser à coup sûr la valorisation de ces déchets. Pour connaître le coût d'une gestion déléguée de ses déchets de chantier, TECHNIP devra lancer un appel d'offre auprès ces deux sociétés pour un projet précis car les facteurs géographiques peuvent nettement influencer ce coût.

Enfin, ce stage a permis de mettre en avant un constat essentiel. Que ce soit par le biais du guide réalisé ou par le biais d'une société de service, l'optimisation de la valorisation des déchets et plus globalement l'amélioration de la gestion des déchets de chantier, passe inévitablement par une étude sérieuse et approfondie de la question des déchets dès le début de la phase d'étude du projet. Il faut, en effet, absolument changer la méthode actuelle qui consiste à considérer réellement la problématique des déchets qu'une fois le chantier commencé.

En conclusion, ce stage marque le début d'une réflexion sur l'amélioration de la gestion des déchets chantier à travers l'optimisation de leur valorisation. La suite logique de cette étude serait de faire appliquer les idées développées à travers ce stage sur un chantier futur précis.

J'ai également eu l'opportunité, à partir de du mois de Juillet, de travailler sur d'autres sujets. L'un d'entre eux concernait les aspects environnementaux de la Tour Adria, siège de TECHNIP. Après avoir identifié ces aspects, j'ai participé à la mise en place de mesures pour sensibiliser davantage les occupants de la Tour à ces aspects.

Key words and summary of this internship

• **Key words**

TECHNIP, Construction site waste, Hazardous, non hazardous and inert wastes, Dumping, Burning, Recovery, Recycling, Reuse, Guide, Mobile equipments, International, Service company, Waste management, Data, Cost, Environmental topics.

• **Summary of this internship**

Regarding its **construction site waste** management, the policy of TECHNIP is to prefer **recovery** to **dumping** and **burning** when this is geographically, technically and economically possible.

Thus, the purpose of my internship was to propose solutions to spread recovery to all kind of Technip construction site wastes (**hazardous, non hazardous and inert wastes**). In this view, we selected two main ways:

- To write a **guide** showing innovative and economical solutions of recovery (**recycling, reuse...**). Given that the TECHNIP construction sites last only between two and three years, this guide would also present **mobile equipments** that could be transported from one construction site to another one. The goal of this guide is to enable TECHNIP to find the most appropriate solution to its needs in terms of wastes recovery.

- To contact and meet **international service companies** specialized in **waste management**. The aim of these meetings is to know the ability of these companies to manage our construction site wastes and to optimize waste recovery.

But the first step of this internship was to collect waste **data** from current and former construction sites. This exercise was quite difficult. We had to face the lack of feedbacks from former construction sites. Furthermore, we had a lot of difficulties contacting and getting accurate data from current construction sites.

I prepared a guide presenting new and interesting ways of recovery, with their associated **costs**. This guide will be useful for TECHNIP engineers to select the best waste treatments.

We have contacted and met two service companies: SECHE GLOBAL SOLUTIONS and VEOLIA. These companies could fit our needs. But to know the cost of this solution, TECHNIP will have to express a call for tender on one particular project.

To conclude, this training period represents a first work on the improvement of the TECHNIP construction site waste management. The logical next step would be to apply the solutions presented in this report, on a future TECHNIP project.

At the end of my training period, I have also worked on other subjects such as the environmental issues in the Adria tower. After I had identified the current situation and practices in the tower, I helped to find means to enhance the environmental awareness of its residents.

SOMMAIRE

Introduction.....	2
Remerciements	2
Mots clés et résumé du stage.....	2
Key words and summary of this internship	3
SOMMAIRE.....	4
I. Contexte.....	6
I.1 TECHNIP.....	6
I.1.1 Technip, société d'ingénierie mondiale	6
I.1.2 Activités.....	6
I.1.3 Travail en projet.....	8
I.1.4 Travail sur chantier	9
I.2 HSE Design.....	9
I.2.1 Présentation des trois services constitutifs de HSE design	10

I.2.2	Enjeu environnemental.....	10
II.	Stage.....	11
II.1	But du stage.....	11
II.2	Collecte de données « déchets de chantier »	12
II.2.1	Quantité de déchets.....	12
II.2.2	Coût des traitements de déchets actuels.....	17
II.2.3	Filières de traitement actuelles	19
II.3	Guide de la valorisation des déchets de chantier avec recherche d'unités mobiles	20
II.3.1	Les boues de STEP	21
➤	Option 1 : épandage direct, boue = engrais	21
➤	Option 2 : épandage après compostage, boue = amendement organique	22
➤	Option 1 : Méthanisation	23
➤	Option 2 : Incinération avec récupération de chaleur.....	24
➤	Option 2.a : four mobile d'incinération -> production d'eau chaude.....	25
➤	Option 2.b : unité fixe d'incinération -> production d'électricité	25
➤	Conclusion	25
II.3.2	Déchets d'alimentation et papier/cartons.....	26
➤	NEOS, compostage en container	26
➤	SEDE.....	29
➤	TERRALYS (EX - AGRO DEVELOPPEMENT).....	29
II.3.3	Déchets de bois	34
➤	Option 1 : Structurant pour compostage	34
➤	Option 2 : Réutilisation sur site	34
II.3.4	Déchets plastiques.....	35
➤	Option 1 : Tri automatique	36
➤	Option 2 : Centre de tri manuel.....	36
➤	Option 3 : Collecte sélective avec tri à la source.....	36
➤	Option 1: Valorisation matière par recyclage mécanique	37
➤	Option 2 : Valorisation énergétique par incinération ou co-incinération	37
II.3.5	Pneumatiques usagés.....	39
➤	Option 1 : Pneus usagés réutilisables (PUR) -> Occasion/Rechapage.....	39
➤	Option 2 : Pneus usagés non réutilisables (PUNR) -> Co-incinération/génie civil... ..	39
➤	Conclusion	41
II.3.6	Contenants en tôle souillés.....	42
➤	Option 1 : Four à pyrolyse	42
➤	Option 2 : Autres techniques	44
II.3.7	DASRI.....	44
II.3.8	Conclusion	45
II.4	Gestion des déchets déléguée à une société de service internationale	45
II.4.1	VEOLIA PROPRETE.....	45
II.4.2	SUEZ ENVIRONNEMENT	46
II.4.3	Autres sociétés.....	46
II.4.4	Conclusion	48
	Conclusion sur le stage.....	48
	Bibliographie – Contacts	49
	ANNEXE 1.....	50
	ANNEXE 2.....	51
	ANNEXE 3.....	52

I. Contexte

I.1 TECHNIP

I.1.1 Technip, société d'ingénierie mondiale

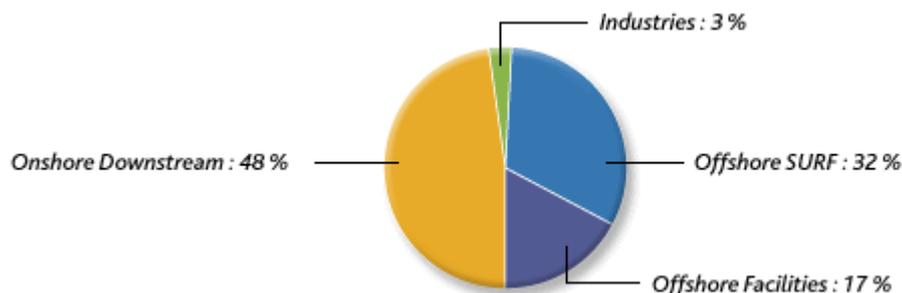
Avec un effectif de 22 000 personnes dans le monde, un chiffre d'affaires annuel de près de 7 milliards d'euros, TECHNIP est une entreprise française qui se classe parmi les 5 premiers groupes mondiaux d'ingénierie et de construction offrant une gamme complète de services dans les domaines des hydrocarbures et de la pétrochimie.

Grâce à une expérience de près de 50 ans dans la conception et la construction d'importantes installations industrielles, à sa maîtrise d'une large gamme de technologies et à ses bases opérationnelles sur les cinq continents, le Groupe est en mesure de prendre en charge tous les aspects d'un projet majeur, depuis l'ingénierie de base jusqu'à la réalisation clé en main.

Avec plus de 4000 salariés répartis entre les centres de Lyon et de Paris (créés respectivement en 1967 et 1958), Technip France est un des principaux centres d'ingénierie du Groupe, capable d'intervenir dans les quatre segments d'activités couverts par ce dernier.

I.1.2 Activités

Technip réalise des prestations dans quatre principaux secteurs d'activités :



I.1.2.1. *SURF (Subsea, Umbilicals, Risers and Flowlines)*

SURF désigne l'ensemble des conduits et ombilicaux sous marins, posés sur le fond ou reliant le fond à la surface. Ce segment d'activités consiste principalement à concevoir, fabriquer, assembler et enfin poser les composants des systèmes sous marins. Le groupe possède ses propres actifs industriels pour la fabrication d'équipements essentiels tels que les conduites flexibles (transport sous-marins d'hydrocarbures, de fluides ou de gaz d'injection) et les ombilicaux (contrôle à distance des équipements sous-marins de production à partir d'une unité fixe ou flottante). Une flotte actuellement composée de 15 navires permet de réaliser la plupart des travaux d'installation en mer, comme la pose de conduites ou la construction marine.



Figure 1 : L'apache, un des navires du groupe qui assure les opérations en mer

I.1.2.2. ONSHORE/DOWNSTREAM

L'onshore/downstream désigne l'ensemble des unités réalisées à terre, dans les domaines du pétrole et du gaz :

- Raffinage/hydrogène (ex : raffinerie de Gonfreville l'Orcher, Seine maritime)
- Pétrochimie
- Gaz, GNL, GTL
- Pipelines terrestres



Figure 2 : Vue 3D d'un terminal de réception de GNL

I.1.2.3. OFFSHORE

Les compétences de Technip dans le domaine de l'offshore couvrent une large gamme d'installations :

- Plates-formes pour mer peu profonde (TPG 500, Unideck)
- Plates-formes pour mer profonde (Spar, FPSO, EDP, semi-submersibles)

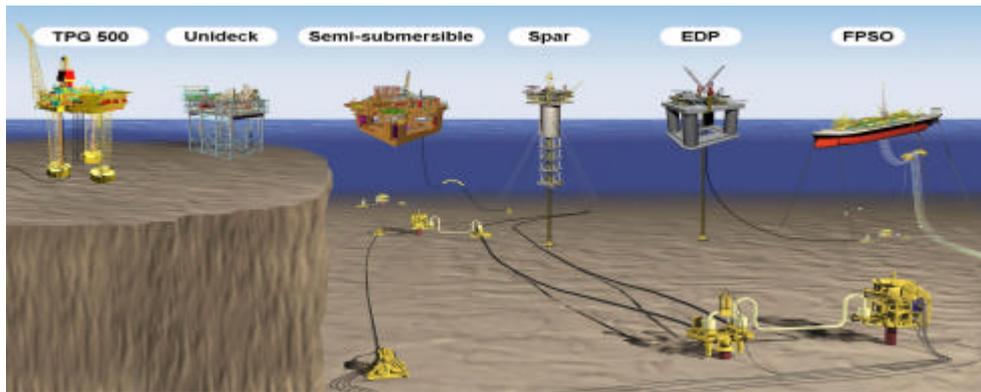


Figure 3 : Compétences de Technip en offshore

1.1.2.4. INDUSTRIE

Technip a conçu et réalisé des centaines de projets industriels dans le monde :

- Installations de chimie fine et pharmaceutiques,
- Usines dans le domaine des engrais de la chimie et de l'agrochimie,
- Unités de biodiesel,
- Installations dans le domaine des mines et du traitement des métaux.



Figure 4 : Unité de biodiesel - Compiègne (Oise)

1.1.3 Travail en projet

Pour chaque contrat signé par Technip, une équipe projet est constituée. Des « leaders » appartenant aux différents services de spécialités sont nommés (procédés, planning, évaluation des coûts, maîtrise des risques...). Ces leaders sont les interlocuteurs privilégiés du client sur leur spécialité, et travaillent ensemble sous la direction d'un directeur de projet. Ils mobilisent et coordonnent les personnes de leurs services d'origine qui sont nommées en fonction des besoins du projet.

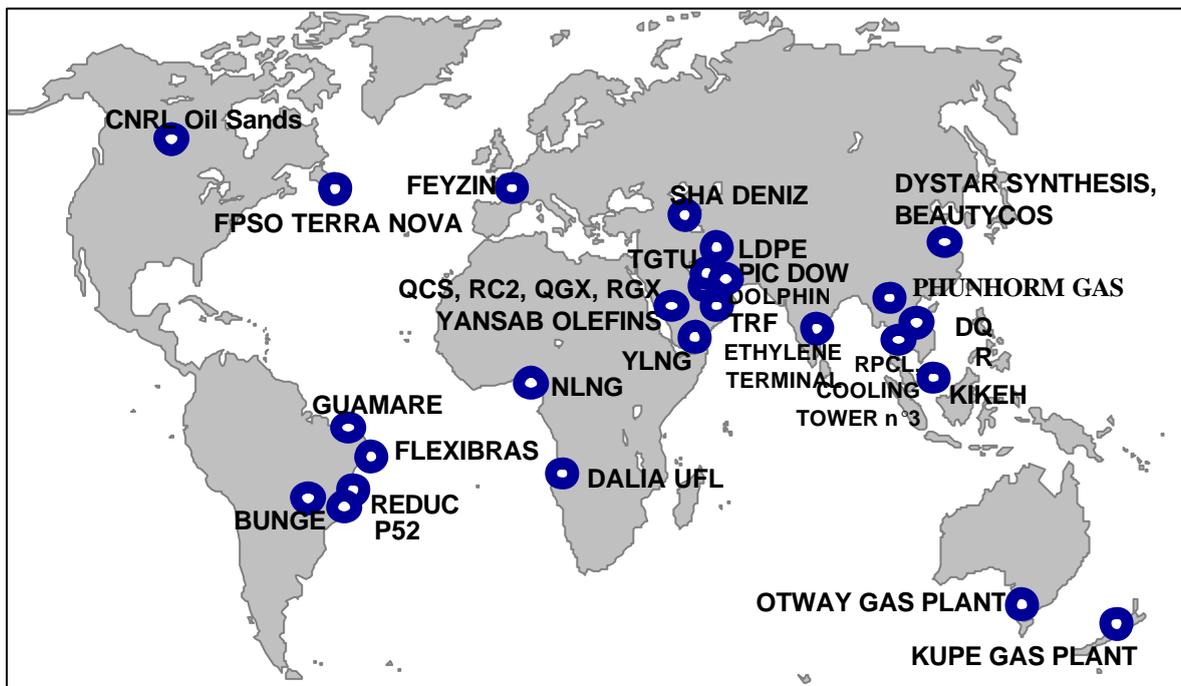
L'organisation concrète du travail est donc fortement marquée par cette structure projet. En effet, les personnes mobilisées sur un contrat sont regroupées physiquement sur des « task forces », avec l'ensemble des acteurs de chaque spécialité. Les services sont donc en constant mouvement, et les ingénieurs physiquement dispersés.

Technip dispose de plusieurs centres d'ingénierie qui lui permettent d'affirmer sa présence dans le monde entier :



1.1.4 Travail sur chantier

Pour ses chantiers, Technip engage et supervise des sous-traitants chargés de réaliser les travaux de construction. Sur chaque chantier, plusieurs corps de métiers sont représentés et par conséquent plusieurs sous-traitants sont présents. Les principaux chantiers de Technip sont représentés sur la carte ci-dessous :



1.2 HSE Design

Le département HSE design intervient au niveau de la conception sur les projets, en proposant des solutions techniques aux clients industriels en matière de sécurité traditionnelle, d'évaluation des risques accidentels et de protection de l'environnement. Sur un projet, un leader «HSE design» est nommé sur l'ensemble de ces enjeux, avec à sa disposition les compétences et ressources de trois services.

Parallèlement, il existe un département HSE management, qui s'occupe plus particulièrement des impacts de l'ensemble des activités de Technip sur le plan de l'environnement, de la santé et de la sécurité.

I.2.1 Présentation des trois services constitutifs de HSE design

Le département HSE design est constitué de 3 services :

I.2.1.1. Environnement et santé

Ce service a pour spécialité la réalisation d'études environnementales, la vérification de la conformité aux législations en vigueur et la quantification des impacts sur le plan de la santé/environnement (quantification et simulation de la dispersion des effluents) ainsi que sur le plan acoustique. C'est au sein de ce service que s'est déroulé mon stage.

I.2.1.2. Quantification des risques

Ce service a pour missions les analyses de risques réalisées pour les clients en amont des contrats, ainsi que les plans de classement de zone.

I.2.1.3. Sécurité industrielle

Ce service a en charge les études d'ingénierie de sécurité sur les contrats, la détection feu et gaz, le design du réseau incendie, la protection au feu active et passive.

Même si les ingénieurs sont physiquement dispersés, la cohérence des actions est assurée par au niveau des services et du département. Parallèlement au travail sur les projets, des missions sont menées au sein des services en matière de méthodes, d'organisation, de coordination et d'amélioration continue. C'est dans ce cadre, en marge des projets, que mon étude a été menée.

I.2.2 Enjeu environnemental

Comme la plupart des grands groupes actuels, TECHNIP doit soigner son image de marque. Pour cela, la société aimerait développer son service HSE et investir davantage dans des solutions respectueuses de l'environnement. Mon étude s'inscrit dans cette dynamique puisqu'elle émane d'une volonté d'améliorer la gestion des déchets générés sur les chantiers.

L'étude, entreprise au cours de ce stage, contient des **éléments confidentiels** et ne peut donc être transmise telle quel à des membres extérieurs à la société. Le rapport présenté ici est donc privé de certains résultats jugés confidentiels.

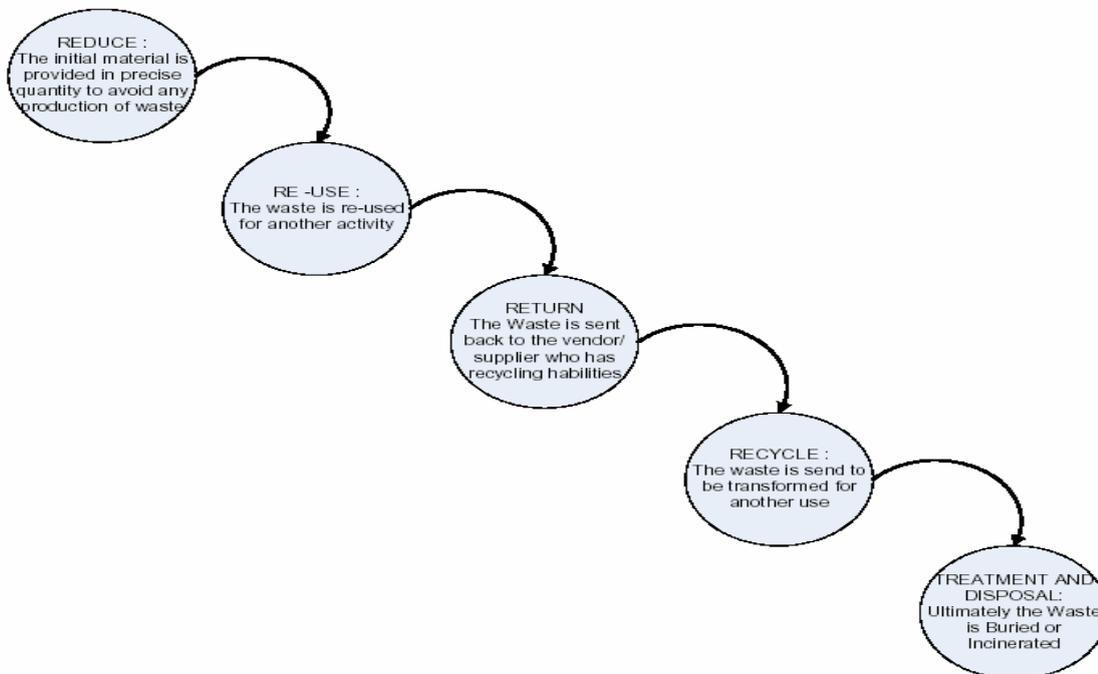
II. Stage

II.1 But du stage

Pour cerner le but de mon étude, il faut tout d'abord comprendre la politique de Technip en matière de gestion des déchets de chantier.

La gestion des déchets générés sur un chantier est définie à travers un document appelé le **Waste Management Plan (WMP)**. Chaque projet a son propre WMP mais leur trame générale reste toujours la même.

Ce document révèle que la politique de Technip en matière de gestion des déchets est très avancée. A titre d'illustration, voici une charte extraite de l'un d'entre eux, et qui résume bien l'état d'esprit des WMP en général :



L'un des piliers de cette politique est donc de préférer une **valorisation des déchets** aux solutions classiques mais peu écologiques, que sont la mise en centre d'enfouissement technique et l'incinération. Le choix d'une valorisation des déchets doit être réalisé chaque fois que les conditions techniques, économiques et géographiques le permettent.

Or, actuellement, la problématique d'élimination des déchets ne fait pas l'objet d'une étude approfondie en phase d'études d'un projet. En effet, elle n'est prise réellement en compte que sur place, lorsque le chantier a débuté. Par conséquent, la valorisation des déchets de chantier n'est pas du tout optimisée.

Ainsi, l'objectif de mon stage est d'optimiser la valorisation des déchets produits sur les grands chantiers onshore de TECHNIP à l'étranger. Pour cela, nous allons développer deux grandes pistes :

- La réalisation d'un guide de la valorisation des déchets, en étudiant l'option d'utiliser des unités mobiles afin de s'affranchir du manque de débouchés locaux. Etant donné la courte durée de nos chantiers (2 à 3 ans), le caractère mobile de ces unités est essentiel pour pouvoir amortir le matériel et offrir une solution économiquement viable. Si l'unité n'est pas mobile alors son coût d'investissement doit être minime. Un tel guide viendrait en aide aux ingénieurs HSE de TECHNIP chargés d'étudier la question des déchets sur un projet.
- Connaître les services proposés par des sociétés internationales spécialisées dans la gestion globale des déchets. La prise en charge de nos déchets de chantier par ces l'une de ces sociétés de service devrait se faire dans l'optique d'une valorisation optimale des déchets, soit en faisant appel aux filières disponibles localement quand elles existent, soit en prévoyant de manière temporaire des installations permettant de valoriser certains déchets quand il n'y a pas de filière disponible sur place.

Néanmoins cette étude nécessite au préalable la récupération de données chantiers telles que :

- les quantités générées sur chantier pour chaque type de déchets. Ces données nous permettront de dimensionner les solutions techniques envisagées et les moyens à mettre en œuvre pour gérer ces déchets.
- les coûts actuels de traitement des déchets. Ces informations nous serviront de référence pour juger de la viabilité économique des solutions que nous proposerons.
- les filières d'élimination employées sur nos projets actuels pour chaque type de déchets. Ces renseignements nous aideront à mieux cibler les types de déchets dont les voies de valorisation sont à étudier en priorité.

Après avoir réalisé la collecte de ces données, qui constitue la première partie du stage, nous développerons, dans une seconde partie, les deux pistes d'optimisation des déchets de chantiers TECHNIP citées auparavant.

II.2 Collecte de données « déchets de chantier »

Notre étude concerne uniquement les chantiers « onshore » de TECHNIP. Ces chantiers regroupent généralement une zone de construction, un campement et une station d'épuration d'eaux usées (STEP). Les déchets provenant de ces trois lieux seront donc pris en compte.

II.2.1 Quantité de déchets

Le premier type de données « déchets de chantier » à collecter sont les quantités de déchets générés. Nous avons collecté des quantités issues de différentes sources d'informations puis nous avons essayé de vérifier la fiabilité de ces dernières pour pouvoir au final retenir des ordres de grandeurs corrects et réalistes.

II.2.1.1. Chantiers terminés

Nous nous sommes tout d'abord intéressés aux chantiers déjà réalisés par TECHNIP. Afin de connaître les quantités de déchets générés sur ces chantiers, nous avons exploité deux sources d'informations potentielles :

- Les documents internes à TECHNIP, que sont les rapports de fin de chantiers conservés par le Service Construction et les divers documents détenus par le Service HSE Design.
- Les rapports d'activité détenus par les sociétés de service en charge de l'enlèvement des déchets sur chantier.

- Données issues des documents internes

Nous avons procédé à une lecture attentive de tous les rapports (76 au total) de fin de chantiers conservés par le service Construction.

Nous avons pu constater que le pourcentage de rapports de fin de chantier précisant les quantités de déchets générés est très faible, inférieur à 4%. Nous pouvons expliquer ce reporting défaillant par deux raisons principales :

- Pendant la phase de construction, le reporting des déchets a été fait avec un support en papier. Les feuilles de papier se perdent ou se tachent facilement et rendent ce type de reporting très fragile. Pour résoudre ce problème, TECHNIP a prévu d'informatiser son système de reporting.
- Le reporting des déchets n'a pas été pris au sérieux sur ces chantiers.

Nous avons donc tout de même des données sur trois chantiers « onshore » terminés :

- chantier passé 1 : usine de production de fertilisants au Moyen Orient
- chantier passé 2 : unité de traitement de gaz au Moyen Orient
- chantier passé 3 : développement de champ de gaz au Moyen Orient

Dans ce rapport de stage, nous ne mentionnerons aucun nom de chantier pour des raisons de confidentialité.

Pour les chantiers passés 2 et 3, les données chiffrées sont trop succinctes pour être vraiment exploitables. En revanche, sur le chantier passé 1, nous avons pu récupérer par le biais du service HSE Design, les quantités mensuelles de déchets générées. Pour des raisons de confidentialité, ces quantités ne seront divulguées dans ce rapport.

Les données sur certains déchets dangereux (filtres à huile, fûts d'huile et de produits chimiques, pots de peintures vides) et les papier/cartons, issues du chantier passé 1 sont très précieuses puisque nous verrons qu'il s'agit de notre unique source d'information sur ces déchets.

- Données issues de la société de service en charge de l'enlèvement des déchets sur site

Le deuxième moyen d'acquérir des données sur les chantiers passés est de contacter une société de service qui était en charge de l'enlèvement des déchets. De telles sociétés offrant un rapport d'activité clair, précis et accessible ne sont intervenues que sur des chantiers se déroulant dans des pays développés, et principalement en France.

Nous avons donc contacté la société IPODEC (filiale de VEOLIA) qui était en charge de l'enlèvement des déchets non dangereux sur le chantier passé 4 (construction d'unités d'hydrocracking) à Gonfreville (France). Cette société nous a fourni son compte rendu d'activité avec les tonnages mensuels des déchets enlevés. Pour des raisons de confidentialité, ce compte rendu ne sera pas présenté dans ce rapport.

- Comparaison des chantiers passés 1 et 4

Pour les chantiers passés 1 et 4, nous possédons donc des quantités de déchets précises.

Nous pouvons dès lors nous demander comment vérifier la pertinence et la fiabilité de ces quantités afin de pouvoir par la suite justifier des ordres de grandeurs valables et réalistes.

La meilleure solution est de procéder à une comparaison des quantités issues de ces deux chantiers.

En cas de similitudes dans les résultats, nous saurons que nous disposons de quantités fiables et nous pourrions extraire des valeurs correctes.

En cas de résultats divergents, nous serons obligés d'admettre que le reporting a été mal réalisé et que les données collectées sont inutilisables. Mais avant d'accuser le reporting, nous devons nous assurer que nous avons neutralisé tous les paramètres pouvant influencer notre comparaison des différentes quantités collectées. Ainsi, pour être certain de comparer des valeurs comparables, nous respecterons les critères suivants :

- **Le choix de l'unité : m³ ou kg**

L'unité doit être la même, le mètre cube (m³) ou le kilogramme (kg). Nous avons décidé d'utiliser le kilogramme, plutôt que le mètre cube car le coût de traitement des déchets en aval est basé sur des tonnages.

Remarque : pour certains déchets comme les fûts ou les batteries, nous exprimerons les quantités en pièces plutôt qu'en kg.

- **La taille du chantier**

Les quantités de déchets générés dépendent de la taille du chantier. Pour le chantier passé 4, il y a eu jusqu'à 1 500 travailleurs sur le chantier. Sur le chantier passé 1, le nombre d'ouvriers sur chantier a atteint les 18 000.

Pour neutraliser l'influence de la taille du chantier, nous devons exprimer les quantités de déchets en :

- kg par un certain nombre d'heures travaillées

Ou, en :

- kg par jour et par personne.

- **Le rythme de travail**

Le rythme de travail est différent d'un pays à l'autre. Sur le chantier passé 4, les ouvriers travaillaient 35 heures par semaine. Sur le chantier passé 1 (situé au Moyen Orient), ils travaillaient 60 heures par semaine.

Or, cette variabilité dans le rythme de travail a une influence sur l'interprétation des quantités relevées. Afin de neutraliser cette influence, nous devons affiner le choix de l'unité en fonction du type de déchet considéré :

- les déchets dont la production dépend du nombre d'heures de construction (par exemple le bois, le métal, le plastique, le béton..) doivent être exprimés en kg par un certain nombre d'heures travaillées.

- les déchets dont la production ne dépend pas du nombre d'heures de construction mais de l'occupation de la base vie (ordures ménagères et boues de STEP), doivent être exprimés en kg par jour et par personne.

- **La nature du chantier**

La quantité de déchets générés dépend également de la nature du chantier. A ce niveau-là, il est impossible de jouer sur les unités pour neutraliser l'influence de ce paramètre. Nous ne pouvons donc pas comparer les chantiers passés 1 (construction d'une usine de production de fertilisants) et 4 (construction d'unités d'hydrocracking).

• Conclusion sur les chantiers passés

En conclusion, les données issues des chantiers passés sont très limitées faute d'un reporting efficace et sérieux. Les rares données collectées ne permettent pas, à partir d'une comparaison des quantités

collectées, d'extraire des ordres de grandeurs valables. Nous manquons en effet pour cela de données sur des chantiers de même nature.

Cependant, le suivi des déchets sur le chantier le chantier passé 1 a permis de récupérer des données précieuses concernant certains déchets, en particulier les papiers/carton, les fûts d'huile vides, les pots de peinture vides et les filtres à huile.

Nous allons maintenant nous concentrer sur les chantiers en cours de TECHNIP France et essayer de comparer des informations provenant de chantiers de même nature.

II.2.1.2. Chantiers en cours

- **Bases de la comparaison de chantiers actuels**

Une volonté de transparence émanant du siège HSE, relayé sur chantier par les managers HSE, a permis de récupérer davantage de données sur les chantiers en cours. Ainsi, nous avons pu collecter les quantités cumulées de déchets générés pendant les années 2005 et 2006, sur plusieurs grands chantiers à l'étranger. Ces données ont été à la base saisies pour la rédaction du rapport annuel sur le développement durable réalisé par le service HSE.

Parmi les chantiers renseignés, nous en avons sélectionné quatre de même nature, qui sont :

1. **chantier actuel 1** au Qatar, taille actuelle (Avril 2007) : 20 000 personnes, avancement : 39 %
2. **chantier actuel 2** au Qatar, taille actuelle : 8 000 personnes, avancement : 4 %
3. **chantier actuel 3** au Qatar, taille actuelle : 11 000 personnes, avancement : 17 %
4. **chantier actuel 4** au Yémen, taille actuelle : 3 000 personnes, avancement : 10 %

Tous ces chantiers sont des constructions d'usines de liquéfaction de gaz naturel. Parmi les grands chantiers actuels de TECHNIP à l'étranger, il s'agit en fait du type de chantier le plus fréquent, et c'est le seul pour lequel nous avons suffisamment de données disponibles pour pouvoir réaliser une comparaison sérieuse et intéressante.

Pour les chantiers actuels 2, 3 et 4, nous disposons des quantités moyennes de déchets générés sur l'année 2006. Quant au chantier actuel 1, qui a débuté dès 2005, nous disposons des quantités moyennes de déchets générés sur l'année 2005 et sur l'année 2006. Nous disposons ainsi de 5 valeurs moyennes au maximum par type de déchets.

Le principe de notre démarche est toujours de comparer les quantités de déchets issues de ces chantiers. Cette comparaison doit respecter les critères précisés dans le chapitre « Comparaison entre les chantiers passés 1 et 4 » :

- Les chantiers sont bien de même nature
- Etant donné que les projets comparés se déroulent tous dans des pays où les ouvriers travaillent 60 heures par semaine, le rythme de travail n'aura pas d'influence sur l'interprétation des quantités de déchets collectées. Pour des raisons d'homogénéité, nous exprimerons donc toutes les quantités en kg par jour et par personne (préférée à l'autre unité possible, le kg par un certain nombre d'heures travaillées, qui s'avère moins « parlante » pour le lecteur).

Mais cette comparaison doit tenir compte d'un facteur supplémentaire dû au fait que nous comparons des chantiers en cours. Ce nouveau facteur est l'avancement du chantier.

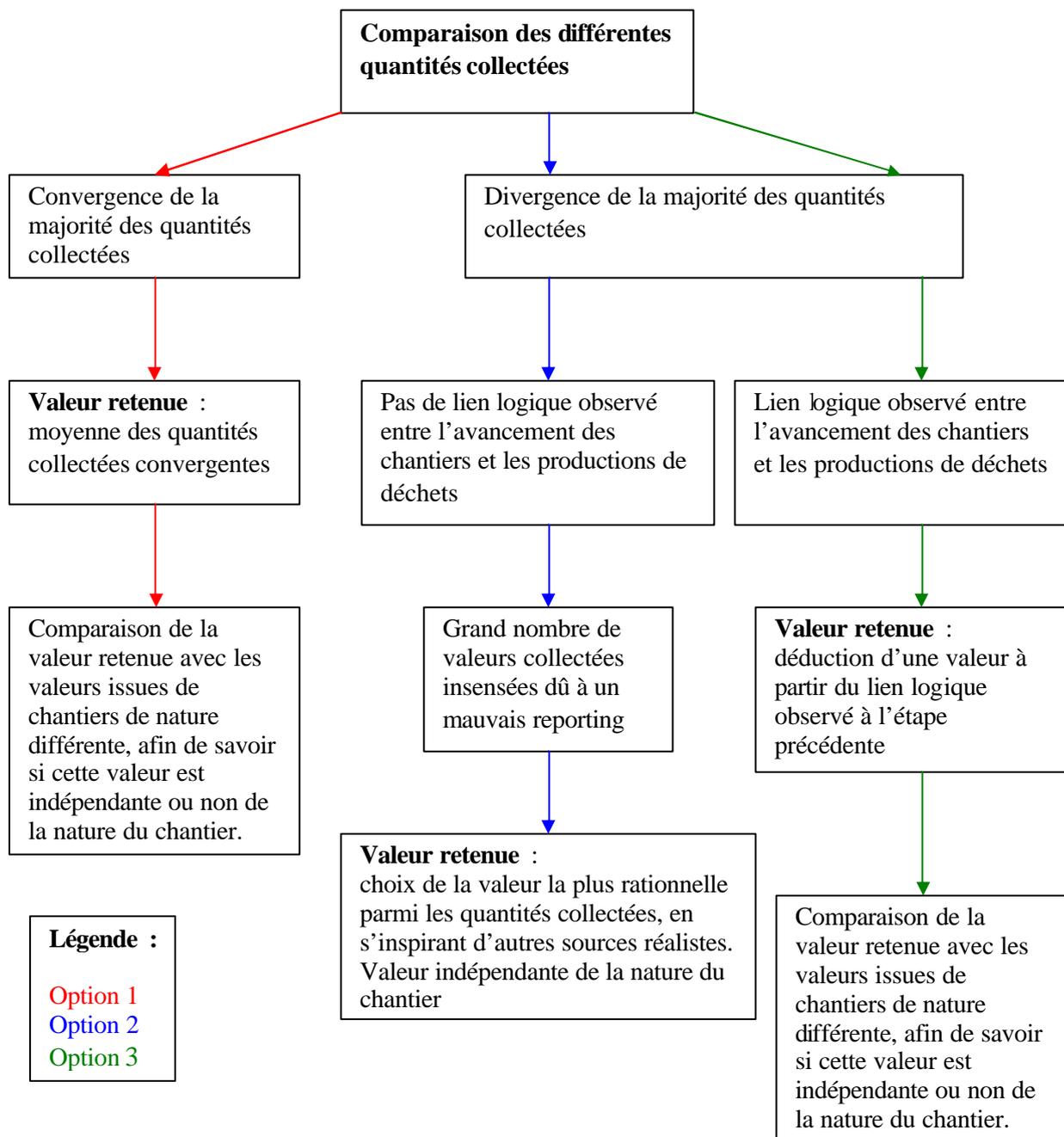
En effet, le déroulement d'un chantier est composé de différentes phases produisant certainement chacune des déchets spécifiques. La production de certains déchets peut donc dépendre fortement de l'avancement du chantier.

Pour mettre en évidence l'influence de ce paramètre et pouvoir en tenir compte dans l'interprétation des données collectées, nous exprimerons les quantités de déchets relevées en fonction de l'avancement du chantier associé (lui-même exprimé en pourcentage de la réalisation complète de l'ouvrage).

Maintenant que nous avons posé les bases de la comparaison, nous allons détailler les interprétations possibles de cette comparaison.

- Interprétations possibles de la comparaison de chantiers actuels

Suivant l'existence ou non de similitudes entre les quantités collectées, nous pouvons suivre différents raisonnements et déduire différentes conclusions, qui sont présentées à travers le schéma suivant :



Nous avons utilisé ce schéma en choisissant une des trois options présentées ci-dessus pour chaque type de déchets étudié (c'est-à-dire ceux pour lesquels nous disposons de données).

- Résultats de la comparaison de chantiers actuels

Pour des raisons de confidentialité, les ordres de grandeur obtenus à partir de la comparaison des quantités de déchets produits sur les chantiers actuels de TECHNIP seront absents de ce rapport.

- Conclusion

Nous avons donc comparé les quantités de déchets issues de quatre chantiers en cours d'usine de liquéfaction de gaz naturel, en prenant soin de neutraliser les facteurs pouvant influencer et fausser cette comparaison.

Nous avons essayé d'extraire, à partir de cette comparaison, des ordres de grandeurs fiables et pertinents en choisissant la meilleure interprétation possible (option 1, 2 ou 3). Cette étape d'extraction n'a pas été évidente compte tenu du nombre important de données erronées dû à un reporting défaillant.

II.2.1.3. Récapitulatif

Après avoir exploité les données des chantiers passés et actuels, nous pouvons maintenant dresser un tableau reprenant les ordres de grandeurs retenus pour la production de chaque type de déchets.

Pour des raisons de confidentialité, ce tableau ne sera pas divulgué. Par contre nous avons dressé un tableau présentant les types de déchets pour lesquels nous disposons des quantités :

Déchets non dangereux :	Déchets inertes :	Déchets dangereux :
Déchets d'alimentation	Béton	Huiles et graisses usagées
Papier/carton		Batteries usagées
Bois		Filtres à huiles
Métal		Fût de produits chimiques vides
Plastique		Pots de peintures vides de 20L
Pneumatiques usagés		DASRI
Boues de STEP à 20%		Fûts d'huile vides

II.2.2 Coût des traitements de déchets actuels

Le deuxième type de « données de chantier » à collecter est le coût économique des méthodes actuellement employées pour traiter les déchets générés sur chantier.

Pour cela, nous allons distinguer deux cas :

- Le traitement des déchets est à la charge du sous-traitant.
- Le traitement est à la charge de TECHNIP
-

II.2.2.1. Traitement à la charge du sous-traitant

D'une manière générale, le coût du traitement des déchets doit être supporté par le sous-traitant. Le Waste Management Plan, établi pour chaque chantier, indique clairement que les sous-traitants présents sur le site doivent assurer l'enlèvement et le traitement des déchets qu'ils génèrent.

Ainsi, dans le contrat passé par TECHNIP avec ses sous-traitants, le coût de gestion des déchets est incorporé dans les coûts indirects.

Pour mieux comprendre, le département des Marchés nous a transmis l'exemple d'un bordereau de prix d'un sous-traitant de piping (présent sur le projet passé 4) où l'on voit bien la séparation entre coûts directs (travail concret – construction) et coûts indirects (support nécessaire à ces travaux – non productif mais indispensable). Ce bordereau ne sera pas présenté dans ce rapport pour des raisons de confidentialités.

Comme nous pouvons le voir dans ce contrat, il n'existe aucun budget clairement dédié à la gestion des déchets.

Le coût du traitement des déchets est en fait inclus dans les postes «**General field expenses**», «**Temporary SITE facilities cost**» et «**HSE cost**». L'**annexe 1** explique comment sont définis ces coûts dans le contrat passé avec le sous-traitant.

Il est donc impossible de repérer le montant provisionné pour le traitement des déchets par le sous-traitant. Afin de responsabiliser et surligner l'importance de ces dépenses, il serait judicieux de créer un nouveau poste spécifique à cela.

Il faut savoir aussi, que le montant global de dépenses indirectes est directement lié au montant total des coûts directs. En fin d'affaire, le montant des indirects est recalculé est fonction de l'évolution des coûts directs. Donc, on peut dire que le coût du traitement des déchets évolue également en fonction des coûts directs (du travail réalisé).

II.2.2.2. Traitement à la charge de Technip

Il arrive que TECHNIP prenne en charge certains coûts relatifs au traitement des déchets. Ce fonctionnement est adopté dans trois situations bien précises que nous allons maintenant détailler.

- **Dépenses « communes »**

Certaines dépenses, considérées comme « communes » et sont supportées par TECHNIP. Ces dépenses concernent la gestion des boues de STEP et des ordures ménagères ainsi que la location des bennes utilisées sur chantier.

Pour connaître le montant de ces dépenses, nous avons contacté des « cost-controllers » de plusieurs grands chantiers. Les seules données chiffrées que nous avons pu obtenir proviennent du chantier actuel 2. Pour ce chantier, TECHNIP a opté pour l'achat de cinq broyeurs fournis par la société SOMAT. Ces broyeurs permettent de réduire de 80% le volume des déchets de restaurant. Le broyage consiste à déshydrater au maximum les déchets de cantine. Il en résulte un volume d'eau extrait contaminé qu'il faut ensuite diluer avant rejet. Une fois broyés, ces déchets sont envoyés vers une décharge située à 80 km du chantier. Les boues de STEP, elles, sont directement transférées vers cette même décharge. Les différentes dépenses liées à la gestion de ces déchets et à la location des bennes sur ce chantier sont jugées confidentielles, et ne seront donc pas présentées dans ce rapport.

- **Défaillance des sous traitants**

Les sous-traitants refusent parfois de se charger de l'enlèvement des déchets du site. TECHNIP n'a alors d'autres choix que d'engager une société de service spécialisée dans la gestion de déchets, pour faire le travail à la place des sous traitants. Ce fût le cas sur le chantier passé 4 à Gonfreville.

TECHNIP a alors fait appel à la société IPODEC pour l'enlèvement des déchets solides non dangereux.

Le montant des dépenses liées à la gestion de ces déchets est confidentiel et sera donc absent de ce rapport. Ce montant est bien sûr très dépendant de la taille et de la durée du chantier. Il faut savoir que le chantier passé 4 a duré deux ans et a regroupé jusqu'à 1 500 personnes.

Ce coût est également très lié à la situation géographique du chantier et aux filières de traitement retenues et ne peut donc être extrapolé à des chantiers plus importants se déroulant à l'étranger.

- Absence de filières de traitement locales

Il peut arriver que dans certains pays, il n'existe pas de filières de traitement pour tous les types de déchets générés sur chantier. Dans ce cas, l'une des solutions retenues peut être d'installer une unité de traitement provisoire sur le chantier.

C'est le cas pour le projet actuel 4 au Yémen. Sur ce chantier, il est prévu d'installer un incinérateur provisoire qui permettra de brûler 24 tonnes par jour de déchets banals. Le coût de cet incinérateur fourni par la société anglaise GENCOR est de **1 300 000 €**. Le coût de cet incinérateur est relativement peu élevé car il ne possède pas de système de traitement des fumées.

II.2.2.3. Conclusion

En conclusion, il est très difficile d'estimer le coût de gestion des déchets de chantier car les contrats passés avec les sous-traitants ne sont pas assez détaillés pour connaître le budget réel qu'ils allouent au traitement des déchets.

Néanmoins, nous avons pu récupérer les montants de certaines dépenses supportées par TECHNIP. Ces coûts pourront nous servir de référence dans l'estimation de la viabilité économique des voies de valorisations que nous envisagerons dans la deuxième partie de notre étude.

II.2.3 Filières de traitement actuelles

Les dernières données «déchets de chantier» à collecter sont les filières de traitement de déchets utilisées par les chantiers de TECHNIP à l'étranger.

Pour la collecte de ces données, nous disposons uniquement de deux sources fiables qui sont :

- Guillaume Coutures, responsable Environnement sur le chantier actuel 2 au Qatar
- Antoine Fort, stagiaire Environnement sur le chantier actuel 4 au Yémen.

Nous avons essayé de contacter d'autres chantiers mais sans succès.

II.2.3.1. Tableau récapitulatif

		Mise en décharge	Incinération	Recyclage		Pas encore défini
				recycleur local	Réutilisation sur site	
Déchets non dangereux :						
Déchets d'alimentation		chantier 2	chantier 4			
Papier/cartons		chantier 2	chantier 4			
Boues de STEP		chantier 4				chantier 2
Bois	Non traité		chantier 4	chantier 2	chantier 2	
	Traité		chantier 4			
Metal				chantier 2 et 4		
Plastique		chantier 2		chantier 4		
Pneumatiques usagés		chantier 2		chantier 4	chantier 2	
Déchets inertes :						
Béton					chantier 2	chantier 4
Déblais					chantier 2	chantier 4
Déchets dangereux :						
Huiles/grais sées usagées				chantier 2 et 4		
Filtres à huile				chantier 2 et 4		
Fûts d'huiles et produits chimiques		chantier 4		chantier 2		
Pots de peintures vides		chantier 4		chantier 2		
DASRI			chantier 2 et 4			
Batteries				chantier 2 et 4		

II.2.3.2. Conclusion

En conclusion, nous avons pu identifier les filières de traitement actuellement utilisées sur deux grands chantiers de TECHNIP se déroulant dans des pays aux débouchés limités. Certains types de déchets sont déjà valorisés alors que d'autres sont encore incinérés ou mis en décharge. La liste suivante répertorie les déchets non valorisés :

- Les boues de STEP
- Les déchets d'alimentation
- Le papier/carton
- Le bois
- Les plastiques
- Les contenants souillés : pots de peinture vides, fûts d'huile vides
- Les pneumatiques usés
- Les DASRI

Les déchets cités ci-dessus vont constituer la cible de notre guide de la valorisation que nous allons maintenant présenter.

II.3 Guide de la valorisation des déchets de chantier avec recherche d'unités mobiles

L'expression « **valorisation** » est un terme générique désignant le réemploi, la réutilisation, le recyclage, le compostage, ou la récupération énergétique du contenu combustible des déchets.

II.3.1 Les boues de STEP

Le premier chapitre de ce guide a pour objectif de proposer des modes de valorisation des boues de STEP générées sur les chantiers de TECHNIP. Ces boues sont des boues pâteuses présentant une siccité de 20 % (sortie centrifugeuse).

II.3.1.1. Valorisation agronomique

La valorisation des boues en agriculture, par épandage direct ou après traitement spécial (compostage), se justifie par la présence de matières organiques et d'éléments fertilisants (azote et phosphore, potassium, calcium...) dans ces boues.

➤ Option 1 : épandage direct, boue = engrais

Les boues d'épuration peuvent être directement utilisées en agriculture à la façon d'un engrais.

Cette première option consiste en effet à épandre la boue, soit sur un sol agricole pour augmenter le rendement des cultures, soit sur un lieu dégradé pour le revégétaliser.

Cet épandage se fait par le biais de machines d'épandage traditionnelles comme celles utilisées pour épandre les lisiers. Plus la boue est hydratée, plus elle est facile à épandre.

En France, les épandages de boues issues du traitement des eaux usées sont soumis à des procédures d'autorisation ou de déclaration pour vérifier la compatibilité d'un tel épandage avec les contraintes environnementales. Il est donc nécessaire de prévoir des études pédologiques, des plans d'épandage et de suivis agronomiques.

L'épandage est autorisé si les boues répondent à certaines contraintes : concentrations, consistance, ajout d'adjuvant comme la chaux. La présence de substances toxiques, de métaux ou d'agents pathogènes élimine la solution de l'épandage.

- Epandage sur sol agricole

Etant donné le stade de développement des pays dans lesquels se déroulent les chantiers de Technip visés par cette étude (pays du Moyen Orient et d'Afrique), ce débouché ne semble pas exploitable pour une raison majeure.

En effet, le dispositif de contrôle requis en France pour ce type d'épandage n'est certainement pas imposé dans ces pays. Néanmoins, nous ne pouvons nous permettre de réaliser ce type d'épandage sans s'assurer qu'il n'y ait aucun risque de contaminations des plantes par des métaux lourds ou des agents pathogènes. Une contamination serait catastrophique puisqu'elle impacterait au final sur la santé de l'homme. Les suivis agronomiques étant difficilement réalisables dans les pays évoqués (absence de laboratoires spécialisés et d'organismes expérimentés dans le domaine), nous pouvons difficilement envisager un épandage sur sol agricole.

- Epandage sur sol dégradé

Il s'agit toujours d'une valorisation agronomique, et l'exigence de traçabilité liée au statut déchet des boues reste totale en France (étude préalable, programmation, analyses, suivi, enregistrement).

Néanmoins, nous pouvons certainement nous accorder plus de souplesse dans le dispositif de contrôle si l'utilisation des boues s'inscrit dans le cadre d'un plan de revégétalisation.

Cette filière pourrait donc être étudiée et la qualité des boues analysée de manière à déterminer leur aptitude à l'épandage agricole. Mais, au préalable, il faudrait savoir si des plans de revégétalisation sont prévus pas trop loin de la zone du chantier concerné.

En conclusion, les débouchés restent quand même limités pour l'utilisation des boues comme engrais. Il paraît peu probable que cette filière puisse accepter l'intégralité de notre gisement de boues.

➤ **Option 2 : épandage après compostage,
boue = amendement organique**

Cette deuxième option repose sur le procédé de compostage, qui consiste en une fermentation des boues organiques par voie aérobie. Les boues compostées constituent un amendement organique, beaucoup plus appréciable qu'un simple engrais puisqu'il permet la conservation de la teneur du sol en matières organiques stables ("humus") et l'amélioration de ses propriétés biologiques, physiques et chimiques (structure, perméabilité, activité des micro-organismes, augmentation de la rétention des nutriments,...).

- Avantages du compostage

Cette option présente plusieurs avantages :

- Le compost obtenu est un terreau inodore (stabilisation de la boue) et dépourvu d'agents pathogènes (stérilisation de la boue).

- Le compostage permet une réduction du volume des boues de l'ordre de 50 % par évaporation de l'eau et rejet de CO₂.

- La qualité et la valeur agronomique fort appréciable du produit obtenu offre des débouchés de réutilisation plus larges que l'option 1. En effet, le compost pourrait être utilisé dans des parcs publics, des jardins de particuliers, des golfs, des terrains de foot...même au Qatar ! Sa valeur marchande est de l'ordre de 20 €/la tonne en France.

Dans le cadre de plan de revégétalisation, il serait beaucoup plus apprécié qu'un simple engrais.

En revanche, nous ne destinerons pas ce compost à la filière agricole pour les mêmes raisons que celles évoquées dans l'option 1 (voir paragraphe « épandage sur sol agricole »).

- Conditions d'exploitation

Le compostage des boues nécessite un structurant carboné afin de faciliter la circulation de l'air et l'évacuation du CO₂. Ce structurant permet également d'équilibrer le taux d'humidité initial des boues. En début de compostage le taux d'humidité se situe autour de 60 à 65 %. En fin de compostage le taux d'humidité se situe entre 45 et 55 %.

Comme structurant, nous pourrions utiliser les copeaux de bois disponibles sur place issus des déchets de bois. Pour le mélange, le ratio habituellement utilisé est de 4 volumes de bois pour 1 volume de boues à traiter. Le structurant peut être recyclé à 95% après chaque cycle.

Le bois doit être sous forme de morceau de taille raisonnable comprise entre 80 et 150 mm. La qualité du bois est également importante. En effet, celui-ci doit se défibrer au fur et à mesure. Ceci permet d'augmenter les surfaces d'échanges (et d'améliorer la qualité du compost final). Le pin est généralement un bon produit.

Le bois utilisé ne doit pas être traité car il risquerait d'inhiber l'activité des micros organismes responsables de la dégradation des boues. Un tri préalable des déchets de bois est donc indispensable.

La boue et le structurant, seuls, ne suffisent pas pour obtenir un bon compost rapidement. En effet, un bon structurant bois est trop dur pour diffuser suffisamment de carbone dans le mélange et ainsi remonter le C/N des boues biologiques qui est naturellement trop bas (environ 5). Il faut savoir que pour démarrer le compostage il faut tendre vers un ratio C/N de 35. En fin de compostage le C/N se situe autour de 15. Un ratio de 35 permet d'assurer une biodégradation du carbone de la matière organique. Il faut donc rajouter un additif riche en carbone disponible et facile à doser et à stocker. Généralement, il est préconisé d'utiliser des huiles issues de la restauration. Le papier et le carton finement broyés (< 10 mm) sont également un excellent additif carboné. Il faut en rajouter, en fonction du C/N des boues, de 5 à 10% en masse de la quantité de boue par cycle de compostage.

Au début de la phase de fermentation, le compost nécessite un apport d'eau afin de compenser les pertes par évaporation. Cette humidité est vitale pour les micros organismes assurant la dégradation des boues. Nous pourrions utiliser une partie des eaux traitées issues de la STEP.

Après la phase de fermentation aérobie, le procédé se termine par une phase de maturation de deux à trois mois. Durant cette phase, le compost doit être protégé d'éventuelles pluies.

Le compost obtenu devra être soumis à un contrôle qualité afin de garantir son innocuité et son efficacité en conditions d'emploi.

- Techniques proposées

Afin de connaître les techniques de compostage développées par les sociétés d'ingénierie spécialisées dans le domaine, nous avons contacté plusieurs de ces sociétés.

Nous développerons les techniques proposées par ces trois sociétés dans le chapitre suivant dédié aux déchets d'alimentation. Nous verrons, en effet, que le compostage peut également traiter ce type de déchet. Nous poursuivrons donc l'étude de cette voie de valorisation dans le chapitre consacré au traitement des déchets d'alimentation.

II.3.1.2. Valorisation énergétique

Les boues peuvent faire l'objet d'une valorisation énergétique. Il existe deux voies possibles : la méthanisation et l'incinération avec récupération de chaleur.

➤ Option 1 : Méthanisation

La méthanisation est un procédé de dégradation par voie anaérobie de déchets organiques sous l'action de bactéries. Ce procédé dégage deux sous-produits :

- un biogaz (généralement 30 m³ par tonne de déchets traitée) constitué essentiellement de méthane, qui peut être valorisé sous forme de production d'énergie (électricité et/ou chaleur).
- un digestat sous forme de boues liquides.

Nous avons voulu réaliser une comparaison entre le compostage et la méthanisation afin de déterminer quel est le meilleur procédé pour traiter nos boues de STEP. Pour cela, nous avons contacté la société française SEDE, filiale de VEOLIA. SEDE (contact : le directeur industriel de SEDE) fournit clé en main (et gère également derrière) des unités de compostage et de méthanisation. Ainsi, nous avons pu remarquer que la méthanisation présentait beaucoup d'inconvénients :

- La méthanisation peut traiter des déchets organiques tels que les boues de STEP, les papiers/cartons et les déchets de restaurants. En revanche, la méthanisation ne traite pas les déchets de bois, ce qui

représente un premier désavantage par rapport au procédé de compostage (notre but étant de valoriser un maximum de déchets).

- La méthanisation, contrairement au compostage, ne réduit que très peu le volume de déchets. Elle ne fait que transformer en biogaz environ 50 % de la fraction organique des déchets, ce qui représente seulement 5 % du volume total de déchets. Rappelons que le compostage permet de réduire de 50 % le volume de déchets.

- La méthanisation génère des boues liquides (équivalent à un engrais) qu'il faut traiter. Un procédé de séchage ou de compostage en aval de la méthanisation est généralement requis.

- La gestion d'une unité de méthanisation est difficile et demande un certain savoir faire, sans quoi, le procédé peut très vite mal fonctionner.

- Plusieurs procédés de méthanisation existent mais tous nécessitent un digesteur. Un digesteur est une grande cuve fixe et ne répond pas au souci de mobilité recherché qui permettrait d'amortir plus facilement le matériel.

- La production de biogaz est intéressante d'un point de vue économique si le coût de l'énergie est élevé. Or, dans la plupart des pays où se déroulent les chantiers de Technip, l'énergie est à un prix très avantageux puisque ces pays disposent en quantités importantes de ressources en combustibles fossiles.

La méthanisation est donc clairement une mauvaise option dans notre cas.

➤ **Option 2 : Incinération avec récupération de chaleur**

Cette option nécessite un pré-traitement des boues. Ce pré-traitement consiste à déshydrater les boues afin d'augmenter leur PCI. Plusieurs procédés de séchage existent mais le plus économique est le lit de séchage naturel. Cette solution est celle qui a été retenue pour le projet Koniambo en Nouvelle Calédonie. Ce dernier permettra d'obtenir une siccité de 65 %. Généralement, l'aire de séchage est composée d'une couche supérieure de sable de 5 à 10 cm (calibre 0,5 à 15 mm), d'une couche intermédiaire de 10 cm de gravier fin (calibre 5 à 15 mm) et d'une couche inférieure de 20 cm de gros graviers (calibre 10 à 40 mm) reposant sur le sol imperméabilisé et soigneusement nivelé. Des drains en ciment ou en plastique sont disposés, avec une légère pente, dans la couche de base. Les boues épandues liquides sur une épaisseur de 10 à 20 cm perdent d'abord une partie de leur eau (jusqu'à 80%) par drainage à travers le sable. Un séchage atmosphérique par évaporation se produit ensuite et achève la déshydratation des boues qui pourront alors être enlevées manuellement.

Néanmoins, cette technique dépend beaucoup des conditions climatiques du pays où se déroule le chantier.

Une nouvelle technique très prometteuse se développe de plus en plus actuellement. Il s'agit du séchage solaire. Pour le séchage solaire, les boues sont réparties sur le sol d'une serre et sont régulièrement retournées. Le renouvellement systématique et la circulation de l'air de la serre favorise l'évaporation. Ce procédé permet d'obtenir des boues avec une siccité atteignant 80 %. Le rendement de ce procédé est de 0,6 m² par tonnes de boue traitée et le temps de séjour des boues dans la serre est de l'ordre d'un an.

Pour un chantier de 10 000 personnes, la surface de serre nécessaire serait en France de 440 m² (dans un pays plus ensoleillé, la surface requise est bien sûr moindre).

Nous avons contacté la société française ATI INCINERATEURS MULLER (contact : le directeur d'ATI Muller), leader en France et en Europe dans le domaine de la fabrication d'incinérateurs. Cette société propose des fours d'incinération pour tout type de déchets (boues de STEP incluses) et a déjà plusieurs références à l'international et notamment en Arabie Saoudite.

Nous avons demandé à cette société les solutions de valorisation énergétique qu'elle pouvait nous offrir. Ainsi, deux types d'incinérateur avec récupération d'énergie nous ont été proposés.

➤ **Option 2.a : four mobile d'incinération -> production d'eau chaude**

Le premier type d'incinérateur est un four mobile d'incinération. La capacité d'un tel four peut aller jusqu'à 500 kg de déchets par heure et pourrait donc traiter l'ensemble des boues produites sur un chantier de 12 000 personnes ainsi que d'autres déchets tels que les plastiques. Ces fours sont mobiles et donc peuvent être déplacés d'un chantier à l'autre.

La valorisation énergétique réalisée par ce type de four est la suivante : grâce à un simple échangeur de chaleur, la chaleur dégagée par la combustion est récupérée pour réchauffer un flux d'eau et permettre ainsi la production d'eau chaude. Cette valorisation n'est donc intéressante que si l'on a besoin d'eau chaude sur chantier. Or, les pays où se déroulent les grands chantiers actuels de TECHNIP sont des pays réputés pour le climat chaud. L'eau chaude n'y est donc pratiquement pas utilisée ou est très facile à obtenir par chauffage solaire.

En conséquence, bien que mobile, ce premier type d'incinérateur avec récupération de chaleur ne représente pas une bonne solution de valorisation des boues de STEP produites sur les chantiers actuels de TECHNIP. Malgré cela, si un jour TECHNIP développe des chantiers dans des pays avec un climat froid comme la Russie, ces fours mobiles pourraient se révéler très intéressants.

➤ **Option 2.b : unité fixe d'incinération -> production d'électricité**

Le deuxième type d'incinérateur proposé par ATI MULLER est une unité fixe équipée d'un échangeur de chaleur et d'un générateur (turbine à vapeur). La production d'électricité à partir de la combustion des déchets produits sur chantier est à première vue une solution de valorisation prometteuse mais elle se heurte en fait à un problème de rentabilité économique certain justifié par trois facteurs :

- tout d'abord, pour des questions d'amortissement des coûts d'investissement, ce type d'incinérateur est mis en place seulement si les quantités de déchets à traiter sont importantes. Ces quantités sont généralement de l'ordre de 50 000 tonnes/an, ce qui largement supérieur à la production de déchets de chantier.

- ensuite, ce type d'incinérateur est fixe et ne peut être déplacé d'un chantier à l'autre. Or, un tel incinérateur, qui présente un coût d'investissement élevé, ne pourra être amorti en 3 ans (durée maximale d'un chantier de TECHNIP). Le seul cas envisageable serait d'installer cet incinérateur dans une zone particulière comme Ras Laffan au Qatar, où TECHNIP enchaîne chantier sur chantier depuis quelques années.

- enfin, nous retrouvons l'une des raisons qui nous a poussés à écarter la méthanisation comme voie de valorisation. Il s'agit du faible prix des combustibles fossiles dans les pays où se déroulent les chantiers de TECHNIP. Ce faible prix implique un prix très bas de l'électricité (produite à partir de ces combustibles) et s'avère donc très défavorable à la mise en place de systèmes de production d'électricité alternatifs.

En conséquence, cette deuxième et dernière option de valorisation énergétique proposée par ATI MULLER ne s'avère pas économiquement viable.

Le recours à ce type d'incinération n'est envisageable que si le pays où se déroule le chantier dispose déjà d'un tel incinérateur.

➤ **Conclusion**

Comme la méthanisation, la valorisation des boues de STEP par incinération avec récupération de la chaleur ne représente pas une bonne solution en comparaison au compostage. Cette voie de

valorisation est donc à écarter sauf si le pays, où se déroule le chantier, dispose déjà d'un incinérateur avec récupération de chaleur.

II.3.2 Déchets d'alimentation et papier/cartons

Comme les boues de STEP, les déchets d'alimentation et les papier/cartons peuvent être valorisés par compostage, méthanisation ou incinération avec récupération de chaleur. Nous avons vu au cours du chapitre précédent que la méthanisation et l'incinération avec récupération d'énergie étaient beaucoup moins adaptés à notre besoin que le compostage.

Nous allons donc poursuivre notre étude sur le compostage en détaillant les techniques proposées par des sociétés d'ingénierie spécialisées dans le domaine. Nous avons contacté trois d'entre elles :

- SEDE, filiale de VEOLIA ENVIRONNEMENT
- NEOS, filiale du groupe Allemand HORTSMANN
- TERRALYS, filiale de SUEZ ENVIRONNEMENT

Nous avons demandé à chacune de ces sociétés de nous fournir une solution technique répondant à notre besoin. Pour cela, nous leur avons transmis les quantités mensuelles de déchets organiques (boues de STEP, bois, papier/carton, déchets d'alimentation) générés en période de pointe sur les chantiers moyens actuels (12 000 personnes) et sur les chantiers futurs de TECHNIP (36 000 personnes).

➤ **NEOS, compostage en container**

Voici la réponse donnée par le directeur de NEOS :

Hypothèse de départ

Le bois utilisé est putrescible.

Principe de traitement

Compostage en mélange des FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères), boues et bois et fibreux. Le bois, les cartons et les biodéchets sont pré broyés et mélangés avant d'être déposés en andain directement (très faible tonnage) ou de passer 2 semaines dans un conteneur ventilé puis 6 semaines en andin (tonnage plus élevé).

Capacité de traitement

Pour des chantiers de 12 000 personnes en pointe ou 36 000 personnes en pointe, la particularité est que le tonnage mensuel à traiter évolue sans cesse. Une optimisation de l'investissement passe donc par un compromis entre la capacité de dimensionnement nominale et le taux de charge réel (acceptation d'une sous-charge ou d'une surcharge). Il est aussi nécessaire de faire évoluer le nombre des équipements au fur et à mesure de la montée en puissance du chantier. La solution en conteneurs + maturation en andin me semble la plus appropriée.

Equipements

Dans un premier temps (peu de tonnage) préparation d'andains avec une chargeuse sur pneus, un broyeur à bois et une mélangeuse ; le tout sur une dalle béton avec un simple drainage vers un bassin de rétention. Ces équipements mobiles représentent un investissement d'environ **720 k€HT** (en France) ils seront utilisés tout au long du chantier, ce sont 3 engins à moteurs thermiques.

Dès que le tonnage mensuel total passe à 100T/mois, il faut rajouter un crible mobile d'affinage, soit **140 k€HT**.

Dès que le tonnage dépasse 200 T /mois, un module de traitement intensif en conteneur (8 caissons, un biofiltre, une station de ventilation) s'avère nécessaire car le risque d'odeurs en compostage en andins est trop élevé. Le mélange séjourne 2 semaines en conteneurs et est mûri en andin pendant 4 à 6 semaines. Le coût d'un module de conteneurs est de **700 k€HT** (en France).

De 300 à 600T par mois prévoir un second module de caissons, prix idem premier module.

De 500 à 800T/m, un troisième module. Et ainsi de suite. La capacité d'un module de 8 conteneurs + biofiltre + station de ventilation est de 250/mois pour un temps de séjour en conteneur de 2 semaines. Disons donc de 200 à 300 T/mois.

Tous ces équipements sont démontables en fin de chantier et transportables sur un autre chantier. Un module de compostage consomme environ 30 kW/h.

Ne pas oublier aussi le camion ampliroll pour la manutention des conteneurs.

Interprétation de l'offre de NEOS :

D'après la société NEOS, la solution adaptée pour nos gisements de déchets organiques serait probablement le compromis suivant :

- Réception des déchets sur une dalle couverte, contrôle qualité et traitement en continu.
- Pré-tri, puis broyage à la maille de 80 mm éventuellement mélange.
- Mise en conteneur pour un compostage intensif et hygiénisation pendant 2 semaines (avec traitement d'odeurs)
- Maturation sur dalle couverte pendant 6 semaines avec retournement toute les semaines
- Affinage (criblage).

La surface d'une telle unité serait à minima de 10 000 m².

Cette solution repose donc sur un compostage en container soumis à une ventilation.

La ventilation est nécessaire car certains déchets très actifs se dégradent en très peu de temps (déchets d'alimentation, dans une certaine mesure boues de STEP), et requièrent pour rester en phase aérobie, une ventilation forcée qui apportera l'oxygène et le refroidissement en quantités suffisantes.

D'après NEOS, seul un système fermé équipé d'une ventilation forcée et d'un traitement d'air piloté permet de contrôler les nuisances olfactives dès que la quantité de déchets devient trop importante (c'est-à-dire supérieure à 200T/mois).

Le dimensionnement de l'unité, c'est-à-dire le nombre de modules de conteneurs nécessaires, dépend de la charge totale de déchets entrant dans le processus de compostage. Il nous faut donc calculer la quantité de déchets organiques à traiter. Nous savons que :

- Quantité de boues de STEP en entrée = 0,2 kg/jour.personne
- Quantité de déchets alimentaires en entrée = 0,3 kg/jour.personne
- Quantité de déchets papier/cartons en entrée = 0,02 kg/jour.personne
- Quantité de déchets de bois en entrée = 4 x la quantité de boues en entrée, soit 0,8 kg/jour.personne

La charge totale de déchets organiques est donc de 132 kg/jour.personne, ce qui représente :

- 475 tonnes de déchets par mois pour un chantier de 12 000 personnes
- 1425 tonnes de déchets par mois pour un chantier de 36 000 personnes

Ainsi, s'il s'en réfère aux indications de NEOS, il faudrait deux modules de conteneurs pour composter les déchets organiques d'un chantier de 12 000 personnes et 6 modules pour un chantier de 36 000 personnes.

REMARQUE :

Il y a une remarque importante à faire sur la quantité de bois traitée par l'unité de compostage. Nous savons qu'à la fin d'un cycle de compostage, 95% du bois utilisé comme structurant peut être recyclé. Par conséquent, une fois le premier cycle lancé, l'unité de compostage ne traitera que $0,05 \times 0,8 = 0,06$ kg/jour.personne de déchets de bois. Mais la charge de bois dans le processus de compostage sera toujours de 0,8 kg/jour.personne.

Le grand intérêt de la solution proposée par NEOS est son format container qui la rend mobile. En effet, les containers utilisés sont facilement transportables sur camion et peuvent donc être déplacés d'un chantier à un autre. Voici une photographie d'un module de containers :



En conclusion, le coût HT (en France) d'investissement de la solution proposée par NEOS est de (en supposant que nous disposons déjà sur chantier d'un camion porte-bennes) :

	Chantier moyen actuel (12 000 personnes)	Chantier futur (36 000 personnes)
Chargeuse sur pneus + broyeur à bois	720 k€	720 k€
+ mélangeuse		
Crible d'affinage	140 k€	140 k€
Modules de conteneurs	700x2 = 1 400 k€	700x6 = 4 200 k€
TOTAL	2260 k€	5060 k€

Voici une photographie d'une unité installée par NEOS en Nouvelle Calédonie. Cette unité est en tout point (procédé de compostage, dimensions de l'unité) similaire à celle qui serait nécessaire pour nos chantiers de 12 000 personnes :



Nous pouvons comparer, en termes de coûts d'investissements, cette solution de compostage à l'incinérateur utilisé actuellement sur le chantier actuel 4 au Yémen. Pour cela, nous allons considérer deux scénarii :

- **1^{er} scénario** : cas actuel du traitement par incinération sur le chantier actuel 4 Rappelons que l'incinérateur disposé sur ce chantier a été conçu pour traiter les déchets combustibles générés par un chantier de 11 400 personnes, soit 720 tonnes de déchets par mois (source : SPEC sur l'incinérateur).
- **2^{ème} scénario** : cas où les déchets organiques générés sur le chantier actuel 4 seraient traités par compostage. La quantité de déchets que l'unité de compostage traiterai, serait de $0,56 \times 30 \times 11400 = 192$ tonnes/mois.

Pour chacun de ces scénarii, nous allons calculer un cout du traitement de la tonne de déchets (unité : €/tonne de déchet) qui est obtenu en divisant le cout d'investissement de chacun de ces procédés par la quantité mensuelle de déchets traités :

- **1^{er} scénario** : L'incinérateur peut traiter 720 tonnes de déchets par mois. Son coût est de 1 300 000 € Le cout de traitement est donc de $1300000/720 = 1805$ €/tonne de déchets

- **2^{ème} scénario** : Une unité de deux modules NEOS serait nécessaire pour traiter les 192 tonnes de déchets mensuels. Le prix d'une telle unité est de 2 260 000 € Le cout de traitement est donc de $2260000/192 = 11770$ €/tonne de déchets.

Il y a donc un rapport de 6,5 entre les deux couts de traitement, en défaveur de la solution de compostage.

En conclusion, la solution de NEOS n'est absolument pas compétitive par rapport à la solution de l'incinérateur en termes de couts d'investissement. Etant donné que les coûts d'exploitation de l'incinérateur et de la station de compostage sont du même ordre de grandeur (relativement faible), le coût de la solution proposée par NEOS est donc trop élevé.

Nous avons alors consulté d'autres sociétés d'ingénierie afin de savoir si elles pouvaient nous proposer une solution de compostage plus rentable.

➤ **SEDE**

La société SEDE, filiale de VEOLIA PROPLETE, n'est pas parvenue à formuler une offre dans les délais malgré nos relances incessantes. Nous ne pouvons donc comparer sa solution de compostage avec celle proposée par NEOS.

➤ **TERRALYS (EX - AGRO DEVELOPPEMENT)**

La société TERRALYS, filiale de SUEZ ENVIRONNEMENT, nous a fait parvenir une offre détaillée juste avant la fin de mon stage. L'offre de TERRALYS se compose de deux options.

Les deux options sont précédées d'un pré-traitement consistant en :

- une phase de broyage assurée par un broyeur de type rapide :



- et une phase de mélange assurée par un chargeur équipé d'un godet mélangeur :



La première option de compostage proposée par TERRALYS ressemble beaucoup à celle de NEOS. Il s'agit, en effet d'un compostage basé sur un **système modulaire en bennes mobiles** :



Chaque benne est équipée d'un système autonome de ventilation.

Le coût de cette première option n'est pas précisé dans l'offre de TERRALYS. Certainement parce qu'elle est beaucoup moins intéressante d'un point de vue économique que leur deuxième option.

La deuxième option de compostage proposée par TERRALYS est basée sur un **système fixe, démontable et déplaçable**. Il s'agit du système **Atout Compost** dont nous allons maintenant présenter les caractéristiques.

Le système Atout compost est un système de compostage en andains ventilés. Il est démontable et transportable et ne nécessite pas d'engins particuliers de déplacement. Ce système pourrait donc être déplacé à la fin d'un chantier vers un autre chantier. La couverture matériau semi-perméable lui permet de limiter les impacts de la pluie lors de la phase de fermentation.

Une unité mobile est constituée généralement :

- D'une bâche TOP-TEX permettant de recouvrir complètement l'andain
- D'un équipement aéraulique permettant d'assurer la ventilation forcée dans l'andain composé de :
 - L'aéraulique au sol : tubes perforés en PE 110 mm
 - L'aéraulique aérienne : collecteur principal
 - 1 ventilateur centrifuge (2,2 KW pour 1 à 4 andains)
 - 3 instruments de mesures (sonde température, anémomètre, manomètre)
 - D'une armoire électrique d'alimentation
 - D'une unité de régulation de la ventilation.



Dans les contextes climatiques concernés (Moyen Orient et Afrique), la durée de fermentation est comprise entre 3 et 4 semaines.

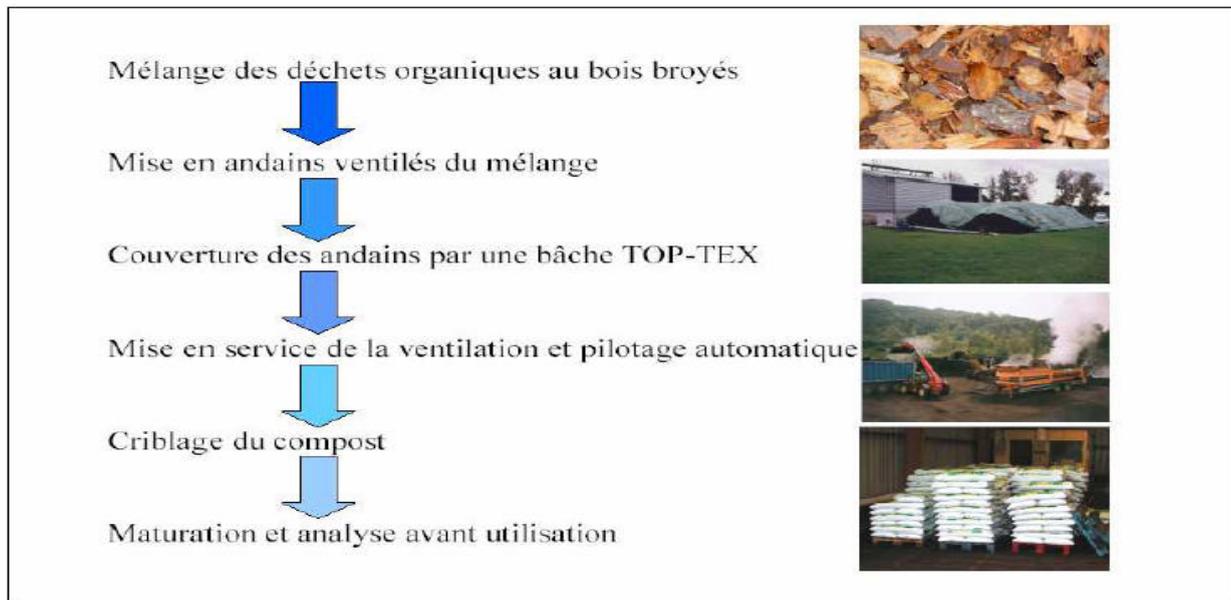
Les dimensions du système sont les suivantes :

- Longueur de l'andain : variable 6 à 15 mètres
- Hauteur de l'andain : 2,5 mètres
- Largeur l'andain : 6 mètres
- Volume de l'andain : 60 à 150 m³
- Surface au sol nécessaire par andain 7m x longueur

Compte tenu du gisement à traiter sur nos chantiers, seront nécessaires :

- pour les chantiers moyens : 5 andains de 12 m de long
- pour les chantiers maximum : 15 andains de 12 m de long

Voici les étapes du compostage Atout compost :



Les deux options de compostage proposées par TERRALYS se terminent par une phase de criblage qui permet d'affiner le compost et d'éliminer les éléments étrangers. Le criblage se fait au moyen d'un cribleur :



Le budget suivant reprend les principaux postes présentés précédemment pour la solution en andains ventilés (prix départ France) pour le compostage des déchets organiques de chantier de 12 000 personnes :

Poste	Nombre	Prix unitaire (en euros)	Prix total (en euros)
Broyeur (estimation)	1	120 000	120 000
Godet mélangeur	1	30 000	30 000
Unité atout compost	1	45 000	45 000
Mise en service & formation	1	15 000	15 000
Crible	1	130 000	130 000
Total départ France			340 000

Ce budget ne prend pas en compte les frais de livraison sur place, les éventuels aménagements de terrain ainsi que les éventuels frais de dédouanement.

Le coût d'investissement de la solution de compostage proposée par la société TERRALYS est donc de **340 000 €**. Nous pouvons constater que cette solution est beaucoup moins coûteuse que la solution proposée par NEOS.

Le compostage en andains ventilés est en effet beaucoup plus intéressant d'un point de vue économique que le compostage en container. Il présente logiquement moins d'avantages que le compostage en containers :

- le compostage en andains ventilés mobilise une surface au sol pendant toute la durée de la fermentation. Néanmoins cette durée est relativement courte (3 à 4 semaines).
- le compostage en andains ventilés dégage des odeurs nauséabondes et doit donc être éloigné des habitations. Néanmoins, il y a généralement suffisamment d'espace autour du chantier pour créer une zone tampon.

Nous allons maintenant voir si elle s'avère compétitive par rapport à la solution de l'incinérateur utilisée au Yémen, en procédant à la comparaison des deux scénarii suivants :

- **1^{er} scénario** : cas actuel du traitement par incinération sur le chantier actuel 4 Rappelons que l'incinérateur disposé sur le chantier a été conçu pour traiter les déchets combustibles générés par un chantier de 11 400 personnes, soit 720 tonnes de déchets par mois (source : SPEC sur l'incinérateur).
- **2^{ème} scénario** : cas où les déchets organiques générés sur le chantier actuel 4 seraient traités par le système Atout Compost de TERRALYS. La quantité de déchets que l'unité de compostage traiterai, serait de $0,56 \times 30 \times 11400 = 192$ tonnes/mois.

Pour chacun de ces scénarii, nous allons calculer un cout du traitement de la tonne de déchets (unité : €/tonne de déchet) qui est obtenu en divisant le cout d'investissement de chacun de ces procédés par la quantité mensuelle de déchets traités :

- **1^{er} scénario** : L'incinérateur peut traiter 720 tonnes de déchets par mois. Son coût est de 1 300 000 €. Le cout de traitement est donc de $1300000/720 = 1805$ €/tonne de déchets

- **2^{ème} scénario** : L'unité Atout compost dont nous connaissons le cout, serait largement en mesure de traiter les 192 tonnes de déchets mensuels. Le prix d'une telle unité est de 340 000 € (en réalité, le cout que nous devrions considérer devrait être légèrement inférieur car l'unité Atout compost prise en compte est un peu surdimensionnée). Le cout de traitement est donc de $340000/192 = 1770$ €/tonne de déchets.

Nous constatons que la solution de TERRALYS est compétitive par rapport à la solution de l'incinérateur en termes de coûts d'investissement. Etant donné que les coûts d'exploitation de l'incinérateur et de la station de compostage sont du même ordre de grandeur, la solution de TERRALYS s'avère économiquement viable.

De plus, cette compétitivité devrait se renforcer à l'avenir car la réglementation des pays dans lesquels se déroulent les chantiers de TECHNIP risque de devenir de plus en plus contraignante au niveau des émissions de polluants gazeux. Ainsi, les futurs incinérateurs utilisés devront certainement être équipés de dispositifs de contrôle et de traitement des fumées, ce qui n'est pas le cas actuellement pour l'incinérateur utilisé au Yémen. Leur coût sera ainsi beaucoup plus élevé et rendra la solution de compostage encore plus intéressante.

Enfin, n'oublions pas que le système Atout compost proposé par TERRALYS est plus facilement démontable et déplaçable que l'incinérateur du Yémen. L'amortissement du matériel est donc encore plus aisé.

En conclusion, la solution de compostage en andains ventilés proposé par TERRALYS est la solution la plus intéressante parmi celles qui nous ont été proposées. Cette solution est économiquement viable et largement meilleure sur le plan environnemental que l'incinération. Elle mériterait donc que TECHNIP, sous l'impulsion et le contrôle de son service Environnement, expérimente cette solution sur l'un de ses futurs chantiers

II.3.3 Déchets de bois

➤ Option 1 : Structurant pour compostage

Nous avons vu que le compostage des boues de STEP nécessitait un structurant. Les déchets de bois, broyés et transformés en copeaux, pourraient très bien servir de structurant. Néanmoins, le bois utilisé doit être putrescible et ne pas comporter d'agents de préservation (métaux lourds en particulier) qui pourraient inhiber les réactions biologiques par une action nocive et toxique à l'égard des micro-organismes.

Les spécifications techniques liées à l'emballage des matériels (éditées par le Bureau Technique de l'Emballage Industriel) précisent que les traitements utilisés pour préserver les emballages ligneux sont deux de types :

- traitement Haute Température, en autoclave au dessus de 56°C, qui est terminé par une injection de pesticide.
- traitement par fumigation, avec injection de vapeurs de bromure de méthyle.

Ces deux types de traitements peuvent être complétés par une application de pesticides.

Le traitement à cœur CCA (Cuivre, Chrome, Arsenic), qui est incompatible avec le compostage, n'est donc pas retenu.

De plus, les emballages utilisés par TECHNIP respectent le décret du 20 Juillet 1998 qui impose des exigences sur les teneurs en métaux lourds, à savoir : la somme des niveaux de concentration en plomb, cadmium, mercure et chrome présent dans l'emballage ne doit pas dépasser la teneur de 100 ppm.

De toute manière, des tests préalables devront être effectués. Suite aux résultats de ce test, un tri efficace des déchets de bois pourra être préconisé et devra être impérativement respecté sur le chantier.

➤ Option 2 : Réutilisation sur site

La deuxième piste de valorisation envisageable est une réutilisation des déchets de bois sur site. En effet, les déchets de bois issus des emballages pourraient servir à construire :

- des postes de garde et des lotissements pour les ouvriers qui exploiteront après le chantier l'unité en construction
- des panneaux de signalisation, toujours utiles sur un chantier

Cette réutilisation des déchets de bois est déjà réalisée sur un chantier de la compagnie japonaise JGC, au Qatar (chantier Dolphin). Sur ce chantier, une équipe, composée de trois ingénieurs et huit travailleurs, se charge de recycler directement les déchets de bois comme le montre les photographies suivantes :



Ces photographies nous ont été transmises par Guillaume Coutures, en mission sur le chantier actuel 2 au Qatar.

II.3.4 Déchets plastiques

II.3.4.1. Tri des déchets plastiques

Le principal obstacle à la valorisation des déchets plastiques est le mélange car chaque matière plastique (PET, PP, PSE, PVC..) a des caractéristiques physiques qui lui sont propres, la rendant adaptée à des applications spécifiques. La valorisation des matières plastiques nécessite donc un tri préalable.

Nous avons voulu savoir si ce tri pourrait être réalisé sur le site par TECHNIP. Cette opération de tri présenterait les avantages suivants :

- faciliter le recyclage des déchets plastiques en rendant plus attractif notre gisement de déchets de plastiques auprès d'éventuels recycleurs.
- permettre une réduction du coût d'enlèvement de ces déchets par un recycleur local.

Nous avons donc étudié plusieurs options de séparation des différents types de plastiques.

➤ **Option 1 : Tri automatique**

La première option étudiée est un tri automatisé des déchets de plastiques. Il existe des machines complexes capables de séparer les différents types de plastiques par spectrométrie infrarouge. L'une d'entre elles est le Dibop de Sydel qui sépare les matières plastiques en fonction de leur type (PVC, PET, PEHD) et de leur couleur. Le taux d'erreur serait inférieur à 1%. Le coût de cet appareil est relativement élevé : **152 000 €**. Etant donné ce coût élevé et la faible valeur ajoutée représentée par l'opération de tri, le tri automatique s'avère ne pas être une solution économiquement viable.

➤ **Option 2 : Centre de tri manuel**

La deuxième option possible consisterait à mettre en place un centre de tri manuel en périphérie de la zone de construction. Les déchets produits sur le chantier seraient collectés (sans tri à la source) puis envoyés vers ce centre et enfin triés dans le but d'extraire les différents types de déchets plastiques. Cette option est facile à mettre en œuvre et ne générerait pas le déroulement du chantier. En revanche, elle prend du temps et nécessite de la main d'œuvre (qui serait être de la main d'œuvre locale).

➤ **Option 3 : Collecte sélective avec tri à la source**

La collecte sélective avec tri à la source est certainement la solution la plus efficace. Mais elle demande de l'organisation et de la place sur chantier pour pouvoir disposer des bennes et des poubelles spécifiques à chaque type de déchets plastiques. Pour se rendre compte de l'ampleur de la tâche, nous avons dénombré les principales sources de production de déchets plastiques sur un chantier. Il en existe en fait six :

- des bâches (« tarpaulin ») qui servent à protéger le matériel entreposé en extérieur. Ces bâches sont faites généralement en polyéthylène mais peuvent également comporter du PVC :



- des bouchons de tuyaux (« pipes end caps »), fabriqués à partir de LDPE (« low density polyéthylène ») :



- des bouteilles (polyéthylène téréphtalate) et des gobelets (polystyrène ou polypropylène)

- des emballages (polystyrène et mousses polyuréthane)

Etant donné le nombre relativement limité de sources différentes de déchets plastiques, une collecte sélective avec un tri à la source apparaît comme une solution techniquement faisable.

II.3.4.2. Voies de valorisation des déchets plastiques

Nous allons présenter maintenant les principales voies de valorisation pour les déchets plastiques.

➤ Option 1: Valorisation matière par recyclage mécanique

Seules les résines thermoplastiques peuvent faire l'objet d'une valorisation matière par recyclage mécanique.

Les déchets sont tout d'abord lavés, broyés et fondus. La matière est alors mise sous forme de granulés pour être ensuite remise sur le marché. Simple lorsque les plastiques sont constitués d'une seule résine, le recyclage mécanique présente des difficultés lorsque l'on a affaire à différents types de plastiques. Les températures de transformation sont en effet différentes et le mélange de plusieurs plastiques entraîne une diminution de la qualité des caractéristiques mécaniques du produit final. Deux polymères de même nature chimique mais de configuration différente peuvent également être incompatibles. A titre d'exemple, deux bouteilles de PVC suffisent à rendre un lot d'une tonne de PET inutilisable : le point de fusion du PVC et son début de décomposition étant inférieur à ceux du PET, il en résulte des colorations dans la masse du PET.

Etant donné la taille relativement faible de notre gisement de déchets plastiques, il ne serait pas économiquement viable d'envisager l'achat d'une ligne d'extrusion mobile permettant de réaliser ce recyclage mécanique sur chantier.

Les résines recyclées, vendues donc sous formes de granulés, servent à faire des produits secondaires. Les plastiques recyclés sont utilisés dans les secteurs :

- textile (oreillers, sac de couchage, fibres pour couettes, fibres polaires..),
- automobile (moquettes, revêtement interne de porte, pare-chocs..),
- du BTP (géotextiles d'étanchéité, panneaux d'isolation,, tuyaux d'eaux usés, dalles de sol..)

En revanche, les matières plastiques recyclées ne présentent pas non plus les mêmes garanties alimentaires que les matières d'origine. C'est pourquoi, leur emploi dans les emballages alimentaires est généralement interdit.

La valorisation matière des thermoplastiques met donc en jeu une chaîne d'activités et de professionnels spécialisés :

- les récupérateurs, qui assurent la collecte et le pré-tri des plastiques,
- les régénérateurs, qui réceptionnent les plastiques ci-dessus, les lavent, les broient, les trient et les régénèrent avec éventuellement différents additifs,
- les transformateurs, qui utilisent les résines recyclées, seules ou en mélange avec des résines vierges.

Quant aux autres matières plastiques, les plastiques thermodurcissables (résine époxy, polyuréthane), ils ne sont pas recyclés dans le sens d'une matière réutilisable : on se contente de les broyer et de les réintroduire comme charge dans le bitume, le ciment ou d'autres composites.

➤ Option 2: Valorisation énergétique par incinération ou co-incinération

Le plastique est doté d'un important pouvoir calorifique inférieur : PCI ~18 000 kJ/kg. Ainsi, les déchets plastiques peuvent être valorisés énergétiquement par incinération, sous réserve de mise en œuvre d'équipements spécifiques à la récupération d'énergie et au traitement des fumées (la combustion du PVC libère de l'acide chlorhydrique).

Comme nous l'avons vu dans le chapitre sur la valorisation des boues de STEP, l'incinération des déchets avec récupération de chaleur n'est pas une solution adaptée au besoin des chantiers actuels de TECHNIP. Nous ne chercherons donc pas à développer cette voie de valorisation.

En revanche, il serait intéressant de valoriser par co-incinération les déchets plastiques produits sur chantier. La co-incinération consiste en une incinération de déchets industriels utilisés comme combustible d'appoint dans des installations dont la vocation principale n'est pas l'incinération. Ce sont principalement les cimenteries (mais aussi les fours à chaux et les centrales thermiques).

La co-incinération des déchets en cimenterie permet d'éliminer les résidus solides générés par les déchets dans le clinker produit. Contrairement à l'incinération, le problème de stabilisation du mâchefer obtenu en sortie est donc résolu. Il convient de limiter l'apport de déchets combustibles afin de ne pas perturber la qualité du ciment produit. Dans certaines usines le taux de substitution des combustibles traditionnels peut atteindre 50 % de la consommation thermique du four.

La coïncinération permettrait de valoriser également les fûts en plastique souillés.

Ce débouché est particulièrement intéressant pour deux raisons :

- une raison géographique. Il existe des cimenteries dans quasiment tous les pays du monde. La probabilité de trouver une cimenterie située dans la région du chantier est importante.
- une raison économique. Le poste «énergie» est prépondérant dans le prix de revient du ciment. En effet, la consommation énergétique représente 20 à 30% du coût du ciment. Or l'utilisation de déchets comme combustible de synthèse peut permettre aux cimentiers d'économiser jusqu'à 25% de combustibles traditionnels. Nous pouvons donc supposer que les cimenteries situées près du chantier seront intéressées par notre gisement de combustibles de synthèse.

Néanmoins, il faut être vigilant sur l'impact environnemental de cette voie de valorisation.

En France, l'arrêté du 20 septembre 2002 impose, aux cimenteries qui incinèrent des déchets, les mêmes limites de pollution que pour les incinérateurs de déchets ménagers. Les sites autorisés à valoriser énergétiquement des déchets sont soumis à des normes et contrôles stricts.

Si nous souhaitons exploiter ce débouché pour valoriser certains déchets de chantier, il faudra donc s'assurer que la cimenterie vers laquelle seront envoyés ces déchets soit équipée :

- d'un système de traitement des fumées permettant de maintenir les rejets atmosphériques à des niveaux inférieurs aux seuils réglementaires.
- d'un appareil de mesure en continu placé sur les cheminées permettant d'assurer la surveillance des émissions atmosphériques.

L'utilisation des déchets plastiques comme combustible dans les fours de cimenteries nécessite généralement un conditionnement des déchets. En effet, ces derniers subissent une double préparation :

- la quantité de chlore présente est contrôlée. Les excès de chlore sont néfastes à la qualité du ciment produit, c'est pourquoi, les cimentiers ne tolèrent pas plus de 1% de chlorure de polyvinyle (PVC) dans les déchets combustibles utilisés.
- les déchets sont transformés physiquement en fonction du type de four de cimenterie (architecture du brûleur, entrée de la chambre de combustion..) utilisé. Le plus souvent, il s'agit d'un broyage mécanique. Nous développerons les caractéristiques d'un tel broyeur dans le chapitre suivant dédié à la valorisation des pneus. Nous verrons, en effet, que les pneus usés peuvent également être valorisés par co-incinération.

II.3.5 Pneumatiques usagés

Les chantiers produisent des pneumatiques usagés (PU) issus pour la plupart de camions. Les voies de valorisation de ces pneus sont mal connues et finalement rarement exploitées.

Nous avons donc établi un guide présentant les voies de valorisations possibles pour ces PU.

➤ Option 1: Pneus usagés réutilisables (PUR) -> Occasion/Rechapage

Parmi l'ensemble des pneus usagés, il faut tout d'abord distinguer les pneus réutilisables (PUR) des pneus non réutilisables (PUNR). Chacun de ces deux types de PU possède ses propres filières de traitement. La première étape du processus de valorisation des PU est donc un tri (manuel) de ces derniers.

Les PUR comprennent :

- les pneus pouvant être rechapés. Le rechapage consiste à poser une bandelette de gomme neuve. Après que la gomme soit appliquée sur sa circonférence, le pneu est introduit dans un moule. La pression et la chaleur vont à la fois cuire la gomme (la vulcanisation), former le dessin de la sculpture et assurer la liaison intime de la bande de roulement avec le support.

- les pneus en bon état comportant des sculptures dont la profondeur est supérieure à 1,6 mm qui peuvent être directement orientés vers le marché de l'occasion.

Le rechapage, qui permet de prolonger la durée de vie d'un pneu (et donc de consommer moins de caoutchouc), est une activité courante en poids lourds. Ce recyclage s'effectue dans des ateliers, qui en France doivent être obligatoirement homologués. Le coût de cette opération revient à la moitié de celui d'un pneu neuf, ce qui fait du rechapage un business très profitable dans les pays émergents.

Une unité de rechapage de pneus nécessite des investissements importants, de **350 000 à 500 000 €** (www.golden-trade.com). Étant la taille modeste de notre gisement de PUR, un tel investissement ne représente pas une solution économiquement viable.

➤ Option 2: Pneus usagés non réutilisables (PUNR) -> Co-incinération/génie civil...

Nous allons maintenant présenter les différentes voies de valorisation possibles des PUNR.

- Co-incinération en cimenterie :

La co-incinération est une voie de valorisation qui a déjà été explorée pour le traitement des déchets plastiques.

Le PCI des pneus est compris entre 25 000 et 30 000 kJ/kg suivant que la carcasse est métallique ou textile.

En France, les PUNR représentent à peu près 50 % du flux de déchets non dangereux valorisés dans des unités de co-incinération (principalement des fours de cimenteries).

L'avantage de cette solution est qu'elle est relativement facile à mettre en œuvre puisqu'il existe des cimenteries dans la plupart des régions du monde. Néanmoins, le recours à ce débouché n'est possible que si la cimenterie, choisie pour co-incinérer les PUNR, dispose de systèmes de traitement et de

contrôle de ses rejets atmosphériques, lui permettant de garantir des émissions inférieures aux seuils réglementaires.

Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre sur la valorisation des déchets plastiques, la co-incinération des déchets peut nécessiter un pré-broyage même si dans certaines cimenteries, des pneus entiers peuvent être directement enfournés.

Nous avons contacté la société PRECIMECA, leader en Europe dans le recyclage des pneumatiques et fournisseur de matériel pour la préparation de combustibles de synthèse. Cette société nous a proposé une cisaille rotative mobile capable de broyer des pneus usés et des déchets plastiques. L'achat de cette machine, présentée dans l'**annexe 2**, coûte **818 000 €**. Ce prix élevé se justifie par la cadence importante de broyage de cette machine. Etant donné la faible taille de notre gisement de déchets, il est clair que cette cisaille n'est pas adaptée à notre besoin. Il n'existe pas sur le marché de cisailles plus petites.

PRECIMECA ne loue pas ces machines. Par conséquent, l'option de stocker les déchets plastiques et les pneumatiques usages sur site puis de louer une cisaille pour tous les broyer en une seule opération n'est pas envisageable.

La seule solution restante est donc de voir si la cimenterie choisie pour co-incinérer nos déchets de chantiers, peut prendre nos déchets en vrac (c'est-à-dire non broyés) ou dispose elle-même d'un broyeur.

- Réhabilitation de carrières :

Une technique très encadrée alternant des couches de pneus de grandes dimensions (issus du génie civil) et de couches de remblais, permet de réaménager le profil des carrières en fin d'exploitation.

Notre gisement de PUNR pourrait donc intéresser des sociétés d'excavation travaillant dans la région du chantier considéré.

- Acierie :

Le pneu contenant une grande quantité de carbone, il peut remplacer l'anthracite que les aciéries électriques utilisent pour réduire la rouille des ferrailles usagées.

Cette valorisation a fait l'objet d'essais par le groupe ARCELOR : 1 tonne de pneu remplace 600 kg d'anthracite.

Afin de pouvoir exploiter ce débouché, il faudrait savoir si une telle aciérie se situe à proximité du chantier considéré.

- Usage agricole :

L'usage agricole comme support et moyen de fixation des bâches d'ensilage est relativement répandu.

Ce débouché est particulièrement intéressant si le chantier considéré se déroule dans un pays où l'agriculture est relativement développée.



- Fabrication de granulats :

Les PUNR peuvent être destinés à la fabrication de granulats et poudrette qui trouvent leurs applications dans les domaines suivants :

- réalisation d'enrobés routiers et construction de routes à faible émission sonore

- fabrication de sols amortissant et de sols sportifs
- production de pièces moulés : les roulettes (employées pour des échafaudages, des brouettes, des diables), les conteneurs de déchets urbains, les bourrelets et accessoires routiers, les ralentisseurs...

- Génie civil :

Il existe plusieurs techniques de génie civil ayant recours à des PUNR pour retenir des talus. La plus connue d'entre elles est la technique PNEUSOL développée par le laboratoire des Ponts et Chaussées.

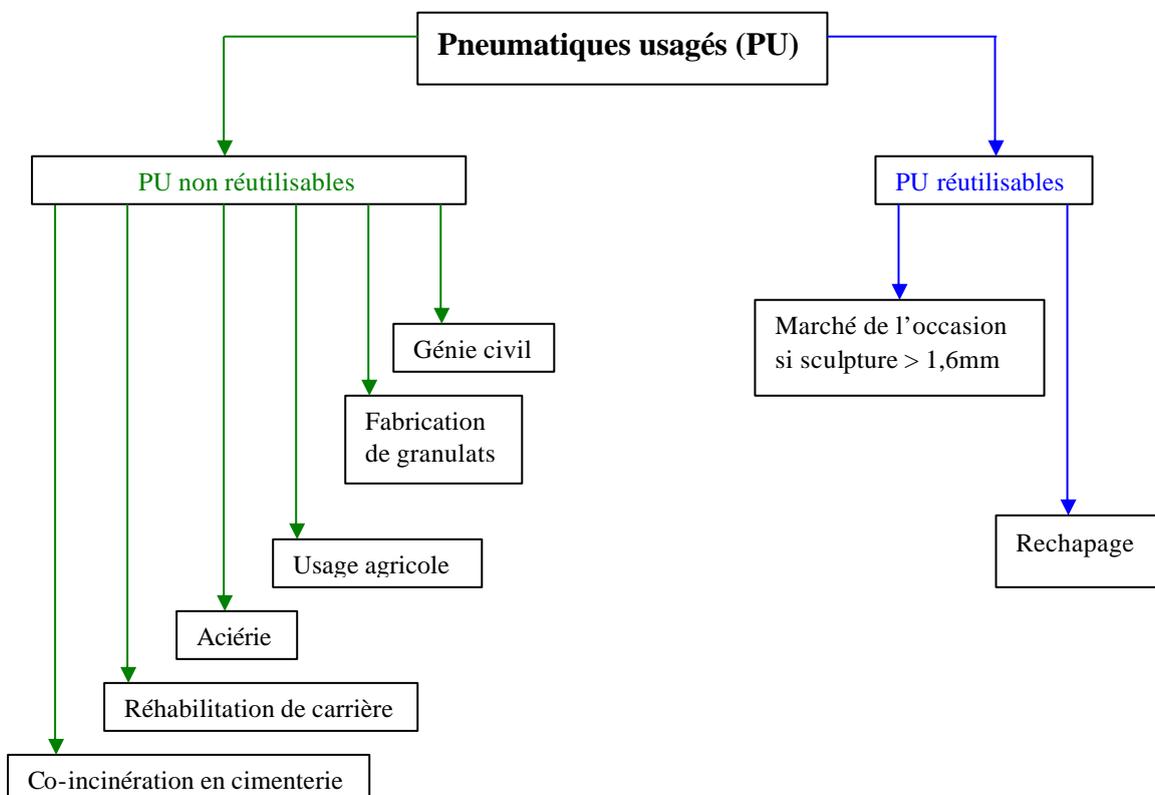
PNEUSOL consiste en une association de pneus entiers partiellement découpés (enlèvement d'un flanc) ou totalement découpés (deux flancs et une bande de roulement) et de sols. Les éléments de pneus sont utilisés comme renforts du massif de sol rapporté. Les bandes de roulement ou les flancs sont découpés et associés en nappe par des attaches. Ces bandes peuvent être posées sur champ ou aplaties. Dans le cas de l'emploi des flancs, ceux-ci sont posés à plat. Le montage étant simple et économique, cette technique est largement diffusée depuis 1982 : plusieurs centaines d'ouvrages ont été construits en France et à l'étranger.



➤ **Conclusion**

En conclusion, voici un schéma récapitulatif des différentes options présentées dans cette étude.

Schéma récapitulatif :



II.3.6 Contenants en tôle souillés

Sur le chantier OMIFCO (Oman), l'ensemble des contenants en tôle souillés n'ont pas pu faire l'objet d'un traitement spécifique à cause de l'absence de filière locale. Ces déchets se sont donc entassés sur le chantier comme nous pouvons le voir sur les photographies ci-dessous :



Ces contenants sont des pots de peinture vides de 20L en grande majorité, et des fûts d'huile vides de 200L.

Sur les grands chantiers actuels de TECHNIP situés à l'étranger, ces contenants sont soit mis en centre d'enfouissement technique, soit envoyés vers des aciéries où ils sont fondus et utilisés comme matière première secondaire.

Le but de notre étude est de proposer des techniques de nettoyage de ces contenants qui permettraient :

- soit de revendre à un prix plus élevé ces contenants à des aciéries
- soit de réutiliser de nouveau ces contenants

Il existe plusieurs techniques de décapage que nous allons présenter une à une en mettant en évidence leurs avantages et leurs limites.

➤ **Option 1 : Four à pyrolyse**

Des fours à pyrolyse sont spécialement étudiés pour le décapage des peintures, huiles et graisses. L'avantage de la pyrolyse par rapport à l'incinération (procédé thermique plus connu) est qu'elle évite l'oxydation et donc la destruction des métaux.

Le décapage s'effectue par la montée en température, jusqu'à 500 degrés, d'une masse d'air fixe (pas d'apport d'oxygène), permettant la décomposition de la peinture (et huile) en deux parties distinctes, à savoir :

- Des effluents gazeux qui sont traités dans une chambre de post combustion entre 850 et 1000°C.
- Des cendres inertes qui représentent 4% du volume de peinture (et huile) introduits dans le four. Ces cendres, classées comme déchets dangereux, doivent être envoyées en centre d'enfouissement technique de classe 1

Nous avons contacté deux fournisseurs de fours à pyrolyse :

- la société AATEC Rhône Alpes
- la société ATI Muller, qui nous a communiqué une fiche technique (voir **annexe 3**) présentant les caractéristiques de ses fours à pyrolyse (principe de fonctionnement, dimensions, consommation de combustibles...).

Le nombre de pièces admissibles par chargement est fonction d'une part des dimensions intérieures de la chambre de pyrolyse, et d'autre part de la charge des résidus.

AATEC propose des fours présentant un volume de chambre de combustion allant de 1,5 m³ à 30 m³.

La charge des résidus dépend de deux facteurs :

- la quantité de peinture (et huile) résiduelle. Les fours proposés par AATEC ont une capacité de charge allant de 15 kg à 100 kg de peinture. Avant d'enfourner les contenants souillés, il faut vérifier que la quantité de peinture (et huile) résiduelle soit minimale. En effet, un reste important de peinture (et huile) pourrait entraîner un phénomène de surpression transformant le four à pyrolyse en mini bombe. Un système de sécurité est prévu sur tous les fours mais la répétition de ce phénomène dégrade vite la bonne marche de ces derniers. Afin d'éviter ce problème, un contrôle (pesée ou simple contrôle visuel) doit être systématiquement effectué avant chaque fournée. De toute manière, les sous-traitants ont tendance à minimiser les gaspillages pour des raisons économiques et la probabilité de retrouver des restes importants de peinture (ou huile) dans les contenants est très faible.

- le PCI des résidus. Plus les résidus présentent un PCI élevé, moins le four pourra traiter de déchets par cycle. Le PCI des différents résidus sont présentés dans le tableau suivant.

	PCI (kcal/kg)
Peintures thermodurcissables (époxy, polyuréthane...)	5000
Peintures liquides classiques	8000
Huiles moteur	9000

Les peintures thermodurcissables sont les peintures les plus utilisées sur les chantiers de TECHNIP et notamment les chantiers d'usines de liquéfaction de gaz naturel. Néanmoins, des peintures liquides sont également utilisées sur des chantiers de construction de procédés présentant des températures élevées, tels que des raffineries.

Les fours sont équipés de systèmes de traitement de fumée, qui garantissent un rejet de polluants conforme aux seuils d'émissions exigés par la réglementation française. Ces systèmes sont efficaces pour tous les types de polluants excepté les résidus chlorés. Dans notre cas, les peintures utilisées ne contiennent pas de résidus chlorés.

La société ATI Muller nous a proposé un four qui répondrait parfaitement à notre besoin. Les caractéristiques de ce four sont les suivantes :

- Coût d'investissement : **45 000 €**
- Coût d'exploitation : **3€par cycle**
- Capacité : ~ **4 fûts par cycle (3h)**
- Poids : **5 tonnes**
- Dimensions (m) : **2,6x1,35x10**



Le caractère mobile de ces fours permettrait d'amortir facilement le matériel en déplaçant le four d'un chantier à l'autre. Les coûts d'exploitation, raisonnables, sont présentés dans l'annexe technique fournie par ATI Muller. Ces coûts dépendent en grande partie du prix du gaz naturel. Or la plupart des

grands chantiers de Technip se déroulent dans des pays où le prix de ce combustible est très faible par rapport à celui que nous connaissons en France.

➤ **Option 2 : Autres techniques**

- Nous avons comparé la pyrolyse aux procédés de décapage suivants :
- Les décapants liquides (solvants organiques et décapants à base d'eau)
 - La vapeur sèche
 - Le cryodécapage
 - Le sablage

Le tableau suivant pointe les points faibles de ces procédés par rapport à la pyrolyse :

CRITERES	Prédécoupage nécessaire	Coûteux	Efficace sur peintures thermo-durcissables	Dégradation du métal	Réduction du volume de déchets
TECHNIQUES					
Pyrolyse	non	non	oui	non	oui
Solvant organique		oui			non
Décapage à base d'eau liquide			non	oui	
Vapeur sèche	oui		non		
Cryodécapage	oui	oui			
Sablage	oui				non

En conclusion, le procédé de décapage le mieux adapté à notre besoin semble être le four à pyrolyse.

II.3.7 DASRI

Les DASRI sont les déchets d'activités de soins à risque infectieux. Sur nos chantiers actuels, ces déchets sont généralement incinérés pour éviter tout risque d'infection.

Nous ne connaissons pas de modes de valorisations possibles pour les DASRI. Néanmoins, il existe des solutions alternatives à l'incinération, plus écologiques. En effet, il est possible de traiter ces déchets au moyen d'appareils de désinfection, appelés « banaliseurs », qui sont capables de stériliser de tels déchets que l'on peut ensuite placer en centre d'enfouissement technique de classe 2.

Plusieurs types d'appareils de désinfection sont commercialisés. Certains reposent sur un traitement à base de vapeur, d'autres à base de micro-ondes. Ces appareils ont des capacités de traitement allant de quelques kg de DASRI par cycle (la durée d'un cycle étant généralement de deux heures) à plus d'une centaine de kg par cycle.

Etant donné notre faible gisement de déchets, le banaliseur le plus approprié à notre besoin est le plus petit présent sur le marché. Il s'agit du Medister 10 (voir photo ci-contre) fabriqué par METEKA. Cet appareil est un micro onde pouvant traiter 8 litres de déchets par cycle. Son coût est de **10 000 €**



II.3.8 Conclusion

Nous avons donc établi un guide de la valorisation pour chaque type de déchet qui pose encore problème sur nos chantiers actuels. Nous avons pu constater que certains modes de valorisations tels que le compostage et le four à pyrolyse semblent plus prometteurs que d'autres. Avec ce guide, nous n'avons pas la prétention de connaître toutes les voies de valorisations possibles. Il ne s'agissait pas de lister toutes les voies possibles mais de présenter des voies intéressantes et innovantes, méritant une étude technique et économique.

Ce guide pourra aider les ingénieurs Environnement de TECHNIP à trouver les meilleures solutions de traitement possibles pour les déchets produits sur chantier. Il serait intéressant d'expérimenter sur un chantier futur la solution de compostage en andains ventilés proposée par TERRALYS. Pour cela, le service Environnement devrait convaincre la direction de TECHNIP de proposer cette solution à l'un de ses clients dans le cadre d'un projet précis.

Nous allons maintenant nous pencher sur le deuxième axe de réflexion de notre étude. Il s'agit de se renseigner sur les services proposés par des sociétés internationales spécialisées dans la gestion de déchets. Le but de cette enquête est de savoir si ces sociétés pourraient prendre en charge la gestion des déchets générés sur nos grands chantiers onshore à l'étranger. Cette prise en charge devrait se faire dans l'optique d'une valorisation optimale des déchets, soit en faisant appel aux filières disponibles localement quand elles existent, soit en prévoyant de manière temporaire des installations permettant de valoriser certains déchets quand il n'y a pas de filière disponible sur place.

II.4 Gestion des déchets déléguée à une société de service internationale

Dans le domaine de la gestion globale des déchets, le marché est dominé par deux compagnies françaises : **VEOLIA PROPRETE** et **SUEZ ENVIRONNEMENT**.

II.4.1 VEOLIA PROPRETE

Après plusieurs mois d'échanges, nous avons enfin réussi à obtenir un rendez-vous avec un représentant de VEOLIA PROPRETE pouvant répondre à nos questions.

Ainsi, le 2 Juillet, nous avons rencontré le directeur des zones Afrique et Moyen-Orient (AMO) de VEOLIA PROPRETE. Cette rencontre nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- VEOLIA est capable de répondre à notre besoin.
- VEOLIA possède deux gros avantages. Le premier est sa proximité. En effet, l'entreprise est implantée dans de nombreux pays du Moyen-Orient (Qatar, Oman, EAU, Arabie Saoudite) et d'Afrique (Maghreb, Cameroun, Angola). Cette proximité permet de limiter le transport des déchets et donc de réduire les coûts de traitement de ces déchets. Cette proximité permet également d'assurer un service de qualité. Le deuxième avantage de VEOLIA est son réseau politique marqué par ses nombreux partenariats avec des entreprises, des organisations, ou des pouvoirs publics locaux. A titre d'exemple, dans un pays comme le Qatar, où les autorités sont très présentes sur la zone des chantiers, les relations privilégiées de VEOLIA avec ces mêmes autorités

permettraient de faciliter grandement la prise en charge des déchets sur site. Ainsi ce réseau garantirait une certaine sécurité politique.

- La stratégie de VEOLIA est la suivante :
 - recherche d'un exutoire local. Par exemple, une cimenterie.
 - recours à un exutoire Veolia. Par exemple, création d'un CET avec récupération de biogaz, ou mise en place d'une plateforme de compostage avec ventilation.
 - exportation des déchets vers un centre de traitement. Par exemple, Marseille.

Suite à cette réunion, le chargé du développement des projets de VEOLIA dans la zone AMO, nous a fait parvenir une présentation de l'activité de VEOLIA sur cette zone. En voici les grandes lignes :

« Au travers de contrats de collecte et traitement de déchets, à moyen et long terme, Veolia Propreté compte des implantations dans les pays suivants: Maroc, Tunisie, Sénégal, Egypte, Emirats Arabes Unis, Qatar, Afrique du Sud et Cameroun.

Informations clés zone AMO (2006):

- Implantations dans 8 pays
- 8 000 collaborateurs
- 1,9 million de tonnes de déchets collectées
- Direction régionale basée à Paris
- Direction technique/projet basée à Paris

Il est à souligner la particularité de notre récente structure au Qatar. En effet, VES-IS Qatar est une entité spécialisée en prestations de services pour les industriels Oil & Gas: nettoyage THP, nettoyage chimique, pompes spéciaux, maintenance de capacités-colonnes-échangeurs, etc. L'équipe locale, qui jouit d'une longue expérience dans le domaine, à également pour mission de supporter nos implantations sur la zone dans le développement de ce type d'activité sur leurs marchés respectifs.

Nous assurons également, dans les pays de la zone, jouissant d'une implantation VP ou non, et ayant signé la Convention de Bâle, des prestations de préparation, collecte, exportation et traitement de déchets spéciaux, aussi bien pour le compte d'entités publiques que privées.

Pour votre information, nous envisageons de pénétrer l'Algérie, l'Arabie Saoudite, Oman et l'Angola.

La Direction VP AMO est prête à explorer tous projets de collaboration avec Technip et vous fournir notre expertise dans la collecte/traitement de déchets et services industriels. »

II.4.2 SUEZ ENVIRONNEMENT

Nous avons tenté d'entrer en contact avec SUEZ par différents fronts mais à chaque fois sans succès. Jean-Pierre Languy, chef du département HSE Design, nous a quand même transmis un contact au sein de ce grand groupe. Il s'agit du directeur Sécurité Environnement de SUEZ. Malheureusement, étant en congés jusqu'au 20 Août, il n'a pu nous mettre en relation avec le responsable Afrique/Moyen-Orient de SUEZ avant la fin de ce stage.

II.4.3 Autres sociétés

Il existe bien sur d'autres sociétés internationales, qui sont très présentes dans leur pays d'origine mais sont peu développées dans les pays étrangers. Il s'agit de :

- WASTE MANAGEMENT, société américaine
- FCC, société espagnole
- REKMAN, société allemande
- WATCO, société belge
- SECHE GLOBAL SOLUTIONS, société française

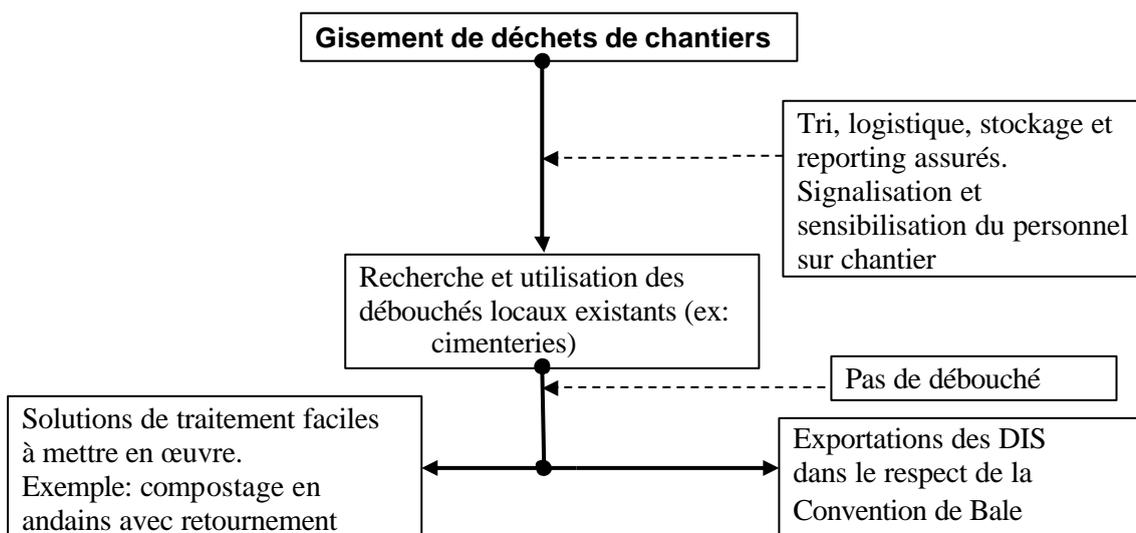
Malgré leur manque d'expérience au Moyen Orient, en Afrique et en Asie, nous avons voulu rencontrer l'entreprise Séché Global Solutions afin de savoir si elle serait en mesure de répondre à notre besoin. Nous allons donc présenter le compte rendu de la réunion du 27 Juin avec le responsable des Offres Globales chez SECHE.

II.4.3.1. Présentation de l'entreprise SECHE :

- entreprise créée il y a 20 ans par Joël SECHE.
- PME de 1 500 personnes
- CA de 380 millions d'euros
- 2 pôles d'activités : - Traitement DIS, installations implantées uniquement en France
- Gestion globale des déchets, missions réalisées en PED
Exemple : dépollution de site en Côte d'Ivoire

II.4.3.2. Réponse à notre besoin

SECHE se dit intéressé et capable de répondre à notre besoin. La stratégie préconisée par SECHE est représentée à travers le schéma suivant :



II.4.3.3. Prochaine étape

Connaissant nos quantités moyennes de déchets générés sur nos grands chantiers onshore à l'étranger, SECHE nous communiquera en Septembre un pré-projet présentant les moyens (personnel sur chantier, camions, bennes, plateforme de stockage...) nécessaires à la gestion de nos déchets de chantiers ainsi qu'une estimation du coût global de cette prise en charge. Ce pré-projet sera certainement très sommaire car SECHE aurait souhaité être payé pour une étude approfondie et détaillée. De plus, il sera difficile pour SECHE d'estimer un coût réaliste sans connaître la localisation et la dimension du chantier dont il faut gérer les déchets.

II.4.4 Conclusion

Veolia et Séché ne sont pas en mesure de nous donner le coût général d'une gestion déléguée des déchets de chantier car ce coût est en fait très dépendant de la situation géographique du chantier considéré. Nous leur avons donc demandé de prendre le cas d'un chantier précis mais le problème est qu'une telle étude n'est pas gratuite. Or, il n'est pas possible pour le Service Environnement de TECHNIP de commander une étude payante si cette dernière ne s'inscrit pas dans le cadre d'un projet particulier.

La principale conclusion à tirer des rencontres organisées avec ces sociétés de service est que si nous voulons aller plus loin dans notre démarche, TECHNIP devra lancer, lors de la phase d'étude de l'un de ses projets, un appel d'offre auprès de ces sociétés.

TECHNIP pourra alors étudier les réponses faisant suite à cet appel d'offre et ainsi connaître le coût réel d'une gestion déléguée de ses déchets de chantier. Nous serons en mesure aussi de constater à ce moment-là quelle est la société offrant le meilleur service.

Conclusion sur le stage

Ce rapport ne présente pas l'intégralité du travail réalisé pendant ce stage puis que j'ai eu l'occasion de travailler sur d'autres études qui ne sont pas mentionnées dans ce rapport. La plus importante d'entre elles est un travail sur les aspects environnementaux de la tour Adria. Ce travail m'a beaucoup plu car il avait pour objectifs de proposer et de mettre en place des mesures concrètes pour réduire les impacts environnementaux de l'activité au sein de la Tour et notamment de sensibiliser ses occupants à ces impacts. Le fruit de ce travail fut la réalisation d'un petit guide de l'EcoTechnipien qui sera disposé sur chacune des tables de réunion de la Tour, et l'intégration des enjeux environnementaux dans les livrets de sensibilisation et les formations HSE délivrées aux occupants de la Tour.

Ce stage a été pour moi très enrichissant. J'ai pu observer de l'intérieur le fonctionnement d'une entreprise d'envergure internationale. Ce stage a aussi été l'occasion de rentrer en contact avec plusieurs grandes sociétés d'ingénierie et de service, et de discuter avec des gens expérimentés connaissant très bien les techniques de l'Environnement.

Le bon déroulement de ce stage a été facilité par une intégration réussie au sein du service HSE. L'ambiance de travail était très bonne, et je remercie pour cela mes voisins d'open space.

Au cours de ce stage, j'ai eu l'occasion de travailler avec des personnes issues de services différents, ce qui m'a permis à la fois de développer mon goût pour le travail en équipe et de découvrir plusieurs des nombreuses facettes qui constituent une grande entreprise comme TECHNIP.

Concernant les actions en faveur de l'Environnement au sein de TECHNIP, j'ai pu remarquer que beaucoup de choses restaient à faire. J'espère que mon tuteur de stage, qui partage les mêmes convictions que moi dans ce domaine, parviendra à faire évoluer les mentalités et réduire les impacts environnementaux de l'entreprise.

Bibliographie – Contacts

Sources internes :

- Données sources des rapports « Développement durable » 2005 et 2006, détenus par Sabine Flamant et Sirine Atalah

Sources externe :

- Guide du traitement des déchets, L'USINE NOUVELLE, Alain Damien.
- ALIAPUR, filière française de valorisation des pneus usagés, www.aliapur.fr
- Chambre de commerce et d'industrie de Paris, www.environnement.ccip.fr

Mais mes principales sources étaient les fournisseurs et les sociétés d'ingénierie que j'ai contacté pendant ce stage:

- NEOS HORTSMANN, www.neos-solutions.com,
Contacts : le directeur de NEOS et son directeur technique
- SEDE ENVIRONNEMENT, filiale de VEOLIA, www.sede.fr
Contact : le directeur industriel de SEDE
- TERRALYS, filiale de SITA, www.terralys.fr
Contacts : le directeur industriel de TERRALYS et sa Chef de marché
- ATI INCINERATEUR MULLER, www.ati-incinerateurs.com
Contact : le directeur d'ATI Muller
- SECHE GLOBAL SOLUTIONS, www.groupe-seche.com,
Contact : le responsable des Offres globales de SECHE
- VEOLIA PROPLETE, www.veolia-proporeté.fr
Contacts : le directeur Afrique - Moyen-Orient (AMO) de VEOLIA PROPLETE et l'un de ses business development managers pour la zone AMO
- SUEZ ENVIRONNEMENT, www.suez-environnement.com,
Contact : le directeur Sécurité Environnement de SUEZ ENVIRONNEMENT

ANNEXE 1

a. Temporary SITE facilities cost

Temporary SITE facilities costs are deemed to include all SUBCONTRACTOR's costs for the supply, installation and dismantling of the SUBCONTRACTOR's temporary facilities (excluding camp) such as, but not limited to:

- site furnished offices,
- personnel and goods transportation (vehicles and relevant running costs),
- equipped warehouse and storage areas,
- fabrication and maintenance workshops,
- temporary networks (electricity, industrial water, drinking water, air, sewers, telecommunications, etc.),
- secondary benchmarks necessary to set up of the works,
- canteen facilities,
- sanitary facilities,
- first aid facilities,
- temporary tracks and roads, fencing and parking,
- gas, fuel and water storage installation,
- safety devices,
- works associated with the execution of the temporary site facilities, their dismantling and site reconditioning to the original condition at the completion of works.

b. General field expenses

General field expenses are deemed to include all SUBCONTRACTOR's field expenses (excluding those related to the camp) such as but not limited to:

- stationery, forms, documentation, photos, cleaning products, pharmaceutical products,
- communications (telephone, telex, telefax, mail, courier),
- consumption of utilities (electricity, water, air, fuel, lubricants),
- site and offices cleaning,
- site security,
- administrative permits, medical examinations,
- agency and/or local representation,
- safety challenge schemes.

c. HSE cost

HSE cost are deemed to include all SUBCONTRACTOR's cost associated with the implementation of the HSE requirement required for the performance of the WORK.

ANNEXE 2

La cisaille mobile

Deux machines mobiles fonctionnent actuellement au Mexique en plus de la cisaille fixe pour produire du combustible 30 x 40 mm



Phénix-industries Précimeca S.E.M

Quelques coûts pour la machine mobile (en 2004)

La ligne complète, départ usine	: 818 000 €
Coût des consommables/Tonne (sans énergie)	: 9,54 €
Production demandée par le client	: 4 tonnes /heure
Production réalisée par la machine	: 7 tonnes /heure
Granulométrie 30 x 40 mm (à 85%).	
Durée de vie des couteaux	: 2.500 tonnes
Puissance installée	: 368 kW
Énergie installée par tonne	: 52,57 kW
Encombrement de l'installation	: 14 m x 3 m x 4,20 m

ANNEXE 3



INCINERATEURS MULLER

FOUR DE DECAPAGE PAR PYROLYSE

GENERALITES

Les fours de décapage permettent :

- ☞ de nettoyer par pyrolyse, les enrobages de peintures, époxy, polyester, liquide, cataphorèse recouvrant les balancelles et supports divers, utilisés dans les chaînes de traitement de surface.
- ☞ de nettoyer par pyrolyse, les enrobages de plastiques ou de caoutchoucs recouvrant des pièces métalliques récupérables.

Le nombre de pièces admissible par chargement est fonction d'une part des dimensions intérieures de la chambre de pyrolyse, et d'autre part de la charge des enrobages.

Le temps de séjour dans le four étant conditionné par la nature des enrobages, peintures, époxy, plastiques, caoutchoucs, etc..., par leur épaisseur, ainsi que par la température de traitement.

En principe, le temps de séjour est compris entre 30 et 120 minutes maximum et la température de traitement entre 350°C et 500°C.

Ces fours spécialement étudiés pour répondre à ce problème de décapage, comportent :

- Une chambre de pyrolyse avec :

- ⇒ Une sole comportant un chemin de roulement constitué de 2 rails munis de galets en fonte.
- ⇒ Un brûleur automatique au fuel domestique ou gaz naturel, ou propane, pour la mise en température de la chambre.
- ⇒ Une porte d'accès.
- ⇒ Un indicateur-régulateur de température à affichage digital.
 - Une chambre de recombustion des fumées avec :
- ⇒ Un brûleur automatique au fuel domestique, au gaz naturel ou propane, pour la recombustion des fumées.
- ⇒ Une chambre de détente des gaz.
- ⇒ Une admission d'air de refroidissement des gaz après recombustion.
- ⇒ Une minuterie de régulation du brûleur.
 - Une cheminée d'évacuation des gaz brûlés
 - Un chariot de manutention avec chemin de roulement
- ⇒ Pouvant recevoir un plateau de service supportant les rateliers d'accrochage des pièces à traiter (le plateau de service et les rateliers n'étant pas de notre fourniture).
 - Une armoire électrique
- ⇒ Regroupant les appareils de commande, de protection, de signalisation et de régulation de l'ensemble.
- ⇒ La température de recombustion se situe entre 900°C et 1100°C.
- ⇒ La température des gaz brûlés, à la sortie de la chambre de détente, se situe entre 400°C et 450°C.
 - Système d'injection de vapeur
- ⇒ Permet de réguler l'auto-inflammation dans la chambre de pyrolyse au cas où il y aurait une quantité de peinture plus importante que prévue, ce système de régulation est entièrement automatique et fonctionne avec de l'eau de ville à 3 bars.

Le dispositif de recombustion, d'une grande efficacité, teneur en poussières inférieure à 40 mgr/Nm³, indice 1 de l'échelle de Bacharach en marche normale, permet dans la plupart des cas d'éviter de recourir à un autre dispositif d'épuration des fumées.

Toutefois, pour certains cas spéciaux, nous pouvons adjoindre à l'installation notre dépoussiéreur-laveur des fumées, du type à précipitation permettant entre autre de fixer les gaz solubles dans l'eau, le chlore, en particulier lors de la combustion de revêtement à base de P.V.C.

CHAMBRE DE PYROLYSE

⇒ Carcasse monobloc en panneaux assemblés de tôle ADX de 3 mm d'épaisseur avec des fers profilés soudés par des spécialistes.

⇒ Isolation interne composée de :

- une première couche de laine minérale de 50 mm d'épaisseur,
- une deuxième couche de fibre céramique ayant une densité de 128 Kg/m³ et une température pyroscopique de 1300°C,
- une protection par rigidizer permettant le durcissement de la fibre céramique à la première mise en chauffe,
- une protection par grillage métallique en acier réfractaire.

⇒ Un chemin de roulement constitué de 2 rails en A.D.X. de forte épaisseur munis de galets en fonte, servira à recevoir le support de charge et à la manutention du four au chariot extérieur.

⇒ Le brûleur de pyrolyse placé sur l'arrière de la chambre sera disposé de façon à éviter que la flamme soit en contact avec les pièces. Ce dernier sera placé dans une chambre de combustion pour rayonner sur les pièces à décaper.

CHAMBRE DE RECOMBUSTION DES GAZ

⇒ Gaine cylindrique en tôles ADX de 4 mm assemblées par brides.

⇒ Garnissage interne composé de :

- 1ère couche : 50 mm de laine minérale,
- 2ème couche : 25 mm de fibre céramique de 128 Kg/m³,
- 3ème couche : 100 mm de béton réfractaire à 42 % AL₂O₃ permettant une température maxi d'utilisation de 1550°C.

⇒ Le brûleur de recombustion sera placé de façon perpendiculaire pour intéresser en permanence la masse gazeuse. Ainsi, les gaz composés de CH₄, CO et CO₂ seront passés par la flamme du brûleur et enflammés à une température de 950°C à 1000°C, permettant d'éviter tous risques de fumivortité, d'odeurs et de poussières.

CHEMINEE D'EVACUATION DES GAZ BRULES

⇒ Placée sur le dessus de la chambre de recombustion, embase de cheminée en tôle d'acier.

⇒ Cheminée métallique en forte tôle d'acier avec garnissage en béton réfractaire et isolant thermique. Hauteur standard de la cheminée, mesurée depuis le niveau du sol de pose du four : 10 mètres.

EQUIPEMENT DE CHAUFFE

⇒ Brûleur automatique au fuel domestique ou au gaz naturel ou au propane.

⇒ Type Monobloc à air soufflé, avec allumage électrique, sécurité d'allumage électronique, post-ventilation permanente.

⇒ Les brûleurs fuel sont à pulvérisation mécanique et comportent des flexibles de raccordement.

⇒ Les brûleurs gaz comportent un pressostat gaz mini-maxi, un pressostat d'air, un filtre et une vanne de barrage.

⇒ Chaque four comporte un brûleur de pyrolyse et un brûleur de recombustion.

COFFRET D'APPAREILLAGE ELECTRIQUE

⇒ Coffret métallique en tôle d'acier avec porte étanche et fermant à clef. Fixation sur le châssis du four et comprenant :

- un sectionneur général à commande extérieure,
- les discontacteurs de protection et de commande des moteurs,
- les commandes et les signalisations,
- un indicateur régulateur à affichage digital de la température de pyrolyse,
- une minuterie d'arrêt automatique du brûleur de recombustion,
- un dispositif d'arrêt automatique de fin de cycle.

⇒ Câblage entre le coffret et les différents appareils électriques.

⇒ Sonde à couple Chromel/Alumel avec protecteur inox, placée dans le foyer et raccordée à l'indicateur-régulateur de température, par un câble blindé.

MANUTENTION DES PIECES

Dans le foyer de pyrolyse :

- ☞ Un chemin de roulement fixe, constitué de 2 rails en acier munis de galets en fonte.

A l'extérieur du four :

- ☞ Un chariot constitué d'un châssis en fers profilés monté sur 4 galets en acier avec paliers à billes. Sur ce chariot est fixé un chemin de roulement muni de galets en fonte, identique et placé au même niveau que le chemin de roulement du foyer de combustion.

SYSTEME D'INJECTION DE VAPEUR

Cet ensemble comprend :

- ☞ 1 collecteur général d'arrivée d'eau
- ☞ 3 buses de pulvérisation de vapeur
- ☞ 1 électrovanne d'arrivée d'eau
- ☞ 1 manomètre
- ☞ 2 robinets d'arrêt
- ☞ 1 régulateur de température électronique

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

	P. 800	P. 1200	P. 2400	P.3000
DIMENSIONS UTILES DE LA CHAMBRE DE PYROLYSE				
- Longueur	1000	1600	2500	3100
- Largeur	800	1000	1000	1000
- Hauteur	900	1500	1500	1500
DIMENSIONS UTILES DE LA PORTE DE CHARGEMENT				
- Largeur	800	1000	1000	1000
- Hauteur	900	1500	1500	1500
DIMENSIONS EXTERIEURES				
- Longueur	1950	2600	3550	4150
- Largeur	1150	1350	1350	1350
- Hauteur	1400	1800	2000	2000
CHARGE THERMIQUE MAXI	165 Kw/h	220 Kw/h	260 Kw/h	390 Kw/h
DUREE DU CYCLE STANDARD DE DECAPAGE D'UNE CHARGE	30 à 120	30 à 120	30 à 120	30 à 120
CONSOMMATION EN COMBUSTIBLE <i>(donnée a titre indicatif)</i> ☞ Pour un cycle de 30 mn	65 Kw	85 Kw	110 Kw	130 Kw
TEMPERATURES				
- Pyrolyse auto-régulée	250/450°C	250/450°C	250/450°C	250/450°C
- Postcombustion	850/1000°C	850/1000°C	850/1000°C	850/1000°C
PUISSANCE DES BRULEURS				
- De pyrolyse	115 Kw	175 Kw	210 Kw	255 Kw
- De postcombustion	115 Kw	175 Kw	210 Kw	255 Kw
PUISSANCE ELECTRIQUE INSTALLEE	2,5 Kw	2,5 Kw	2,5 Kw	2,5 Kw
POIDS	2,5 T	5 T	7 T	9 T
HAUTEUR DE LA CHEMINÉE	10,00 m	10,00 m	10,00 m	10,00 m

COUTS D'EXPLOITATION

	P. 800	P. 1200	P. 2400	P. 3000
Consommation en gaz naturel	130 Kw/H x 0,016 E. = 2,080 E / H	170 Kw/H x 0,016 E. = 2,720 E./ H	220 Kw/H x 0,016 E = 3,520 E./ H	260 Kw/H x 0,016 E. = 4,160 E./ H
Consommation électrique	2 Kw/H x 0,077 E. = 0,154 E / H	2 Kw/H x 0,077 E. = 0,154 E. / H	2 Kw/H x 0,077 E. = 0,154 E. / H	2 Kw/H x 0,077 E. = 0,154 E. / H
Entretien et pièces de rechange	0,305 E / H	0,427 E / H	0,496 E / H	0,572 E / H
TOTAL	2,539 E / H	3,301 E / H	4,170 E / H	4,886 E / H

REJETS ATMOSPHERIQUES

- Concentration en poussières (mg/Nm³ à 11 % O²) : < 40
- Concentration en Hcl (mg/Nm³ à 11 % O²) : < 50
- Concentration en Hcn (mg/Nm³ à 11 % O²) : < 5
- Concentration en métaux lourds (mg/Nm³ à 11 % O²) : < 5
- Concentration en NOX (mg/NO₂/Nm³) : < 500
- Concentration SO² (mg/Nm³ à 11 % O²) : < 300
- Concentration en hydrocarbures volatils (COV) (mg/Nm³ sec) : < 20
- Concentration en O² sur gaz secs : > à 7 %
- Concentration en CO (mg/Nm à 11 % O²) : < 100
- Température minimum des gaz de combustion : > à 850°C
- Vitesse des gaz en sortie de cheminée : > à 8 m/seconde

NOTA :

- Chiffres donnés pour des revêtements essentiellement composés de peinture liquide, cataphorèse, époxy, polyester... (ne contenant ni PVC ni soufre) et pour une utilisation du matériel conforme à nos directives d'exploitation.
- Rejets conformes aux limites imposées par l'arrêté général du 2 février 1998 relatif aux rejets de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement.