



**HAL**  
open science

# Étude de l'impact du recyclage des plastiques sur l'analyse de cycle vie des VHU

Mohamed Zernoufi

► **To cite this version:**

Mohamed Zernoufi. Étude de l'impact du recyclage des plastiques sur l'analyse de cycle vie des VHU. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2020. dumas-03609392

**HAL Id: dumas-03609392**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03609392>**

Submitted on 15 Mar 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## MEMOIRE DE STAGE DE FIN D'ETUDE

*Presenté par*

**ZERNOUFI Mohamed**

**Specialité : Mastère Spécialisé Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets Industriels**

---

### Étude de l'impact du recyclage des plastiques sur l'analyse de cycle vie des VHU

---



Re-source Engineering Solutions

**Encadrant Universitaire : M. Philippe SESSIEQ**

**Encadrant Entreprise : M. Nicolas PAQUET**

04 Novembre 2020

## REMERCIEMENTS

---

Au terme de ce projet de fin d'études, je tiens tout d'abord à adresser mes sincères remerciements à mon tuteur académique M. SESSIEQ et l'ensemble de l'équipe pédagogique du Mastère spécialisé GEDE à l'école des mines de Nancy et l'ENGES de Strasbourg qui a contribué à ma formation tout au long de cette année universitaire.

Je remercie également M. Olivier Gaudeau, directeur du site d'ingénierie de m'avoir accueilli dans son établissement et de m'avoir donné la possibilité de réaliser ce stage dans de bonnes conditions.

Mes vifs remerciements à mon encadrant de stage M. Nicolas Paquet responsable du pôle Méthodes et recherche pour ses efforts, son temps très précieux, sa grande expérience qui m'a guidée tout au long de ce stage, sa disponibilité exceptionnelle et son soutien permanent.

Mes remerciements vont aussi à M. Christian Chausset, et M. Bertrand Mellili, et tout le personnel d'Indra et Re-Source pour leurs aides, leurs écoutes et leur soutien.

## Table des matières

<i>Table des figures</i> .....	4
<i>Table des tableaux</i> .....	5
<i>Résumé</i> .....	6
<i>Liste des abréviations</i> .....	7
<i>Introduction</i> .....	8
<b>1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE</b> .....	<b>9</b>
1.1. Les chiffres d'Indra .....	9
1.2. Une histoire et une croissance .....	10
1.3. Les métiers.....	11
1.4. Re-source Engineering Solutions.....	11
1.5. Trois enjeux majeurs .....	12
<b>2. PRESENTATION DU PROJECT ET OBJECTIFS DE L'ETUDE</b> .....	<b>13</b>
<b>3. LA REGLEMENTATION DE LA FILIERE VHU</b> .....	<b>14</b>
<b>4. COMPOSITION ET PROCESS DE TRAITEMENT DES VHU</b> .....	<b>16</b>
4.1. La composition des VHU.....	16
4.2. Composition et boucle courte/fermée d'un parechoc recyclé .....	17
4.3. Process du traitement des VHU .....	19
<b>5. ANALYSE DES SCENARIOS DU TRAITEMENT DES VHU</b> .....	<b>21</b>
5.1. Les scénarios actuels du traitement des pare-chocs.....	21
5.2. Critères d'évaluation et paramètres d'études .....	23
<b>6. ENJEUX ECONOMIQUES : COMPARAISON DES SCENARIOS</b> .....	<b>25</b>
6.1. Les cas d'études.....	25
6.2. Résultats du bilan économique .....	27
<b>7. ENJEUX SOCIAUX : EVALUATION DES RISQUES SOCIETAUX</b> .....	<b>30</b>
7.1 Méthode de calcul .....	30
7.2. Résultats de l'évaluation des risques professionnels.....	32
<b>8. Enjeux environnementaux : Evaluation des impacts</b> .....	<b>34</b>
8.1. Définition des objectifs.....	34
8.2. Définition du champ de l'étude.....	34
8.3. Inventaire des données et hypothèses .....	35
8.4. Évaluation des impacts environnementaux .....	41
<i>Conclusion</i> .....	47
<i>Bibliographie</i> .....	48
<i>Annexes</i> .....	49

## Table de Figures

Figure 1: les chiffres clés d'INDRA.....	9
Figure 2: Le réseau "IINDRA" .....	10
Figure 3: Schéma du site de Re-Source .....	12
Figure 4: Les objectifs du Projet .....	13
Figure 5: Les enjeux du système.....	14
Figure 6: Les objectifs de la nouvelle réglementation .....	15
Figure 7: La composition moyenne en pourcentage du VHU .....	16
Figure 8 : La composition moyenne massique du VHU.....	17
Figure 9: La répartition des métaux et des polymères dans un VHU.....	17
Figure 10: Composition du bouclier avant du Renault Captur .....	18
Figure 11: Chaîne de valeur du PP recyclée selon la boucle courte.....	18
Figure 12: schéma illustratif des étapes de traitement d'un VHU .....	20
Figure 13: Les scénarios de traitement des VHU d'INDRA .....	21
Figure 14: Schéma du scénario 1.....	21
Figure 15: Schéma du scénario 2.....	22
Figure 16: Schéma du scénario 3.....	22
Figure 17: Schéma du démontage manuel .....	22
Figure 18: Schéma du démontage destructif .....	23
Figure 19 : Bilan économique de traitement des VHU.....	28
Figure 20: listes des risques professionnelles .....	30
Figure 21: Seuils l'évaluation des risques professionnels .....	31
Figure 22: Bilan des résultats d'évaluation des risques .....	33
Figure 23: le périmètre du système étudié .....	35
Figure 24: Les déchets solides après le désassemblage du pare-chocs .....	40
Figure 25: Bilan" Impact effet de serre" pour le cas 1 .....	42
Figure 26: Bilan" Impact effet de serre" pour le cas 2 .....	43
Figure 27: Bilan" Consommation des ressources" pour le cas 1.....	45
Figure 28: Bilan" Consommation des ressources" pour le cas 2.....	46

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les enjeux majeurs .....	12
Tableau 2: Les critères de comparaison des scénarios .....	23
Tableau 3: Les paramètres d'étude.....	24
Tableau 4: Les dépenses et les recettes du bilan économique.....	25
Tableau 5: Les 3 scénarios de "INDRA" .....	26
Tableau 6: Les 2 scénarios du partenaire.....	26
Tableau 7: Un extrait du tableau de calcul économique .....	27
Tableau 8: Bilan de coût des recettes et des dépenses en euro/tonne de parechocs .....	28
Tableau 9: Valeurs de référence de la gravité des risques professionnels (anses).....	31
Tableau 10: Valeurs de référence de l'exposition et de la probabilité d'occurrence (anses).....	31
Tableau 11: Un extrait du tableau de synthèse de EVRP .....	32
Tableau 12: Résultat de l'évaluation des risques.....	32
Tableau 13: Scénarios du Cas d'étude 1.....	36
Tableau 14: Scénarios du Cas d'étude 2.....	37
Tableau 15: Les masses des flux de matières et des déchets .....	38
Tableau 16: Les valeurs des puissances électriques des machines utilisée .....	38
Tableau 17: les distances intersites des camions de livraison .....	39
Tableau 18: Les consommations du carburant des transport et des engins .....	39
Tableau 19: Déchets des procédés et leurs modes de traitement .....	40
Tableau 20: Résultats" Impact effet de serre" pour le cas 1.....	41
Tableau 21: Résultats" Impact effet de serre" pour le cas 2.....	42
Tableau 22: Résultats" Consommation des ressources" pour le cas 1 .....	44
Tableau 23: Résultats" Consommation des ressources" pour le cas 2 .....	45

## RESUME

---

Afin de déterminer les principaux leviers qui permettraient d'améliorer la gestion des plastiques issus des véhicules en fin de vie dans des conditions socio-économiques et environnementales acceptables, différents scénarios de démantèlement des pare-chocs des VHU ont été réalisés et comparés dans des sites de déconstruction des VHU. Deux cas d'étude ont été réalisés afin de comparer différents scénarios de traitement des parechocs des VHU au regard des critères techniques et technologiques. Les scénarios différaient les uns des autres dans le mode des opérations de démantèlement (Manuel et Destructif), et dans le type du centre de VHU (petite, moyenne et grande taille).

Une méthodologie d'évaluation adaptée au système « démantèlement / réduction de volume / compoundage/ injection » a été mise en place. Elle repose sur 4 indicateurs (le bilan économique, l'évaluation des risques professionnels, l'impact GES et la consommation des ressources en énergie) qui évaluent des performances au regard des enjeux socio-économiques et environnementales.

Les résultats obtenus ont été analysés selon ces indicateurs, de ce fait, ils révèlent que le scénario du centre VHU de petite taille et celui qui utilise une méthode de démantèlement manuel seraient optimal vis-à-vis de l'ensemble des critères sélectionnés.

**Mots clés :** Véhicules hors d'usage (VHU) ; Démantèlement ; Déchiquetage ; Broyage ; Réutilisation ; Récupération ; recyclage ; valorisation

## Liste des abréviations

---

ACV : Analyse de Cycle de Vie

B2B : Business to consumer

B2C : Business to consumer

CML 2001: Nom de la méthode de calcul des impacts environnementaux de l'Institut des sciences de l'environnement de la faculté des sciences de Leiden

COV : Composés organiques volatils

CVHU : Centre de Véhicule Hors usage

EVRP : Evaluation des Risques Professionnels

GABI : Logiciel ACV

GES : Gaz à Effet de Serre

INDRA : Industrie Nationale de Déconstruction et de Recyclage Automobile

INRS : l'Institut national de recherche et de sécurité

LCA : Life Cycle Assessment

LCC : Life Cycle Cost

Life Circle ELV: Cycle de vie des véhicules en fin de vie

PEHD : Polyéthylène Haute Densité, matière plastique

PP : polypropylène

RBA : Résidus de broyage Automobile

VFV : Véhicule en fin de vie

VHU : Véhicule Hors usage



## INTRODUCTION

---

Ce stage de fin d'études s'inscrit dans le cadre du Master spécialisé en Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets industriels (GEDE), il s'est déroulé au sein de « Indra Re-Source » Spécialiste en déconstruction et recyclage automobile.

L'étude présentée dans ce rapport vise à mettre en place une analyse du cycle de vie des plastiques des VHU de l'enlèvement à la transformation en matière recyclée. Cette étude permettra d'optimiser la valorisation des plastiques dans la mesure où cela est techniquement et économiquement possible.

Le recyclage des plastiques des VHU présente un gros potentiel pour une nouvelle source d'approvisionnement du domaine automobile, notamment le polypropylène PP qui présente un enjeu majeur par rapport au volume qu'il présente dans un VHU. A cet égard, on focus sera fait sur le pare-chocs automobile qui fait l'objet de développements permanents et d'un recyclage en boucle courte depuis quelques années.

Une première partie sera consacrée à la présentation de l'entreprise, son histoire, ses métiers et l'organisation de la filière des VHU. Ensuite on procédera à une description de la réglementation relative au traitement des VHU. La deuxième partie abordera le schéma actuel du traitement des VHU et les acteurs impliqués dans cette filière, ainsi qu'une description de la composition des véhicules en fin de vie.

Dans un troisième point, on s'appuie sur l'analyse des scénarios de traitement des parechocs adoptés par Indra et ses partenaires qui seront comparés en tenant compte des opérations de démantèlement, réduction de volume, broyage et recyclage, afin de déterminer les paramètres qui contribuent à l'amélioration des aspects économiques, sociaux et environnementale sur l'ensemble de cycle de vie.

Enfin, les résultats de l'analyse des études de cas sont présentés et les remarques finales sont tirées pour identifier les améliorations possibles des performances socio-économiques et environnementales.

## 1. Présentation de l'entreprise [1]

INDRA est une société à actions simplifiées basée à Vaulx-Milieu dans le 38090. Sa principale activité repose sur la fin de vie des véhicules terrestres.

INDRA joint-venture de SUEZ et de RENAULT Environnement est le précurseur de cette filière qui est devenue indispensable dans le cycle de vie des véhicules. En effet, grâce à sa vision à 360° du recyclage de véhicules en fin de vie et de ses activités de consulting, INDRA a su organiser et coordonner cette filière entre tous les acteurs impliqués.

Sa structuration contribue à la maîtrise du gisement de matières sur le territoire national afin de les recycler et les réutiliser localement pour favoriser l'émergence d'une économie circulaire. Son engagement dans la voie responsable du développement durable en a fait la référence dans le recyclage automobile en France.

Grâce à son centre de recherche, INDRA participe à l'écoconception des véhicules avec les producteurs pour optimiser le recyclage de ces mêmes véhicules 10 à 20 ans plus tard. L'entreprise dotée d'une expertise de plus de 30 ans développe des business innovants qui font d'INDRA un acteur précurseur et majeur de l'économie circulaire automobile.

### 1.1. Les chiffres d'Indra

La société emploie environ 200 personnes sur trois sites, répartis en trois établissements, dont le siège social se trouve à Villefontaine (38), avec un chiffre d'affaires en 2018 de 58 millions d'Euros, réparti sur de la prestation de services, des activités industrielles, du négoce (B2B, B2C), et des marketplaces.

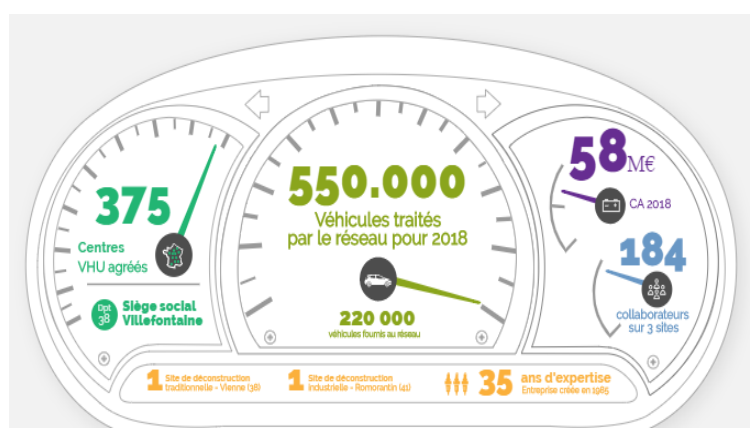


Figure 1: les chiffres clé d'INDRA

Avec ses six conseillers, INDRA anime un réseau de 375 CVHU répartis sur le territoire national et gèrent environ 550 000 VHU par an (34% du marché). Chaque conseiller réseau est

placé dans une zone qui lui est dédiée, il assure la constitution, le développement et l'animation du réseau de centres VHU de sa zone. Il garantit le respect de la réglementation VHU et visite les concessionnaires automobiles. Ce pilotage a pour but de garantir la montée en compétences, la structuration du réseau, l'application des méthodes, et des critères. Cela permet également de veiller au développement du commerce de Pièces de Réemploi auprès des professionnels et à améliorer la qualité du réseau, Figure 2.

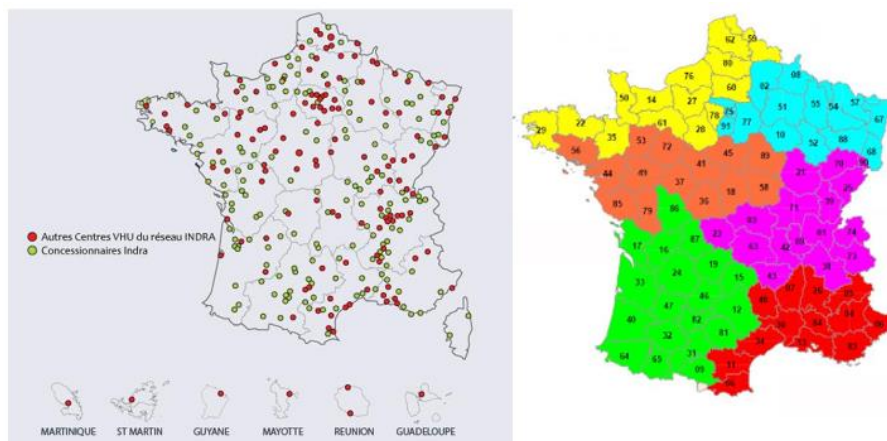


Figure 2: Le réseau "INDRA"

## 1.2. Une histoire et une croissance

INDRA fut créée en 1985 par Manuel Munoz pour assurer la gestion et la distribution VFV. En 1999, le groupe SUEZ entre dans le capital d'INDRA à hauteur de 35% par l'intermédiaire de sa filiale SITA, rattachée à sa branche Environnement. En 2005 acquiert A7 Auto-pièces, entreprise de déconstruction, afin de connaître de l'intérieur la réalité exacte des entreprises les plus représentatives de la profession. En 2007, INDRA s'agrandit encore avec l'inauguration de son site de Pruniers en Sologne, Re-source Industries. Les établissements du groupe INDRA fusionnent au sein de la société INDRA SAS en 2009. La joint-venture entre RENAULT et SUEZ qui se sont répartis les parts à 50/50 a eu lieu en 2011 et depuis INDRA ne cesse de s'agrandir avec la création du centre de formation Re-source Industries et le partenariat avec SEDA leader mondial du matériel de dépollution la même année.

2012 : Création de la marque commerciale INDRA AUTOMOBILE RECYCLING, et naissance du réseau de concessionnaires INDRA

2013 : Naissance de PRECIS outil de commercialisation de la PRÉE (Pièce de réemploi)

2014 : Naissance de GOODBYE CAR - service en ligne de mise en relation entre particuliers et professionnels agréés

2015 : Certification ISO 14001 de Re-source Auto-Pièces

2016 : Naissance de SWITCH CAR Outil d'appel d'offre pour le réseau INDRA

2017 : Certification ISO 9001 pour INDRA et Re-Source Engineering Solutions

2018 : Ouverture à l'international avec le MAROC qui choisit INDRA pour l'étude et l'organisation de la filière de VFV sur le territoire marocain.

### 1.3. Les métiers

Depuis sa création et au fur et à mesure de son développement, INDRA a développé 4 corps de métier qui lui permettent de gérer un flux très important de VHU et de respecter la directive imposée par l'UE qui stipule qu'il faut recycler au moins 95 % de la masse des véhicules.

**LE SOURCING** : C'est la capacité à récupérer des véhicules en fin de vie auprès des concessionnaires automobiles, des assureurs, des garages, des fourrières, des collectivités et des particuliers. En assurer la traçabilité par une maîtrise du flux documentaire, jusqu'à la destruction administrative des véhicules.

**L'ENGINEERING** : Métier clé, l'engineering intervient partout dans la chaîne du recyclage des véhicules lourds et légers : Conseil durant la phase de conception auprès des constructeurs et équipementiers. Mise en place de process de démantèlement avec une attention particulière portée sur : 1. L'ergonomie et la sécurité au poste. 2. La dépollution et mise en sécurité des véhicules (neutralisation des éléments pyrotechniques)

**LE RÉSEAU** : Capacité à créer des réseaux de centres agréés indépendants de démantèlement et à les animer dans un cadre normatif et standardisé pour les faire progresser en taux de réutilisation et valorisation de la masse d'un véhicule tout en conservant les équilibres économiques.

**LE DÉMANTÈLEMENT** : Pour bien assurer la compréhension du travail de déconstruction et le modèle économique qui l'entoure, INDRA possède 2 sites en propre dans lesquels sont déconstruits 10 000 véhicules par an. Un site traditionnel qui permet de tester des process de déconstruction pour des petites capacités de démantèlement et d'être au plus près du modèle économique des centres agréés. Un site industriel qui permet d'assurer la recherche et le développement sur les outils (ergonomie, sécurité et productivité), sur les filières matières pour en assurer la valorisation.

### 1.4. Re-source Engineering Solutions

L'entreprise dans laquelle j'ai effectué mon stage « Re-Source Engineering Solutions » qui fait partie du réseau Indra, est une société de déconstruction automobile qui a été inaugurée en 2007 à Pruniers-en-Sologne (Loir-et-Cher). Environ 50 personnes sont employées à travers l'ingénierie, la déconstruction et le magasin de pièces détachées.

L'objectif de Re-Source est d'industrialiser la profession de la déconstruction automobile en étant plus sécurisante, plus ergonomique, plus productive, en apportant des moyens et des méthodes de travail plus adaptés avec des outils informatiques.

Le site de Pruniers-en-Sologne propose plusieurs centres d'activités (Figure 3) : les bureaux des méthodes, d'études et l'administration, une aire de stockage des VHU et des véhicules d'assurances, un centre d'expertise, une chaîne de déconstruction des VHU, le magasin de vente de pièces détachées, une aire de stockage de pièces détachées destinés à l'export.

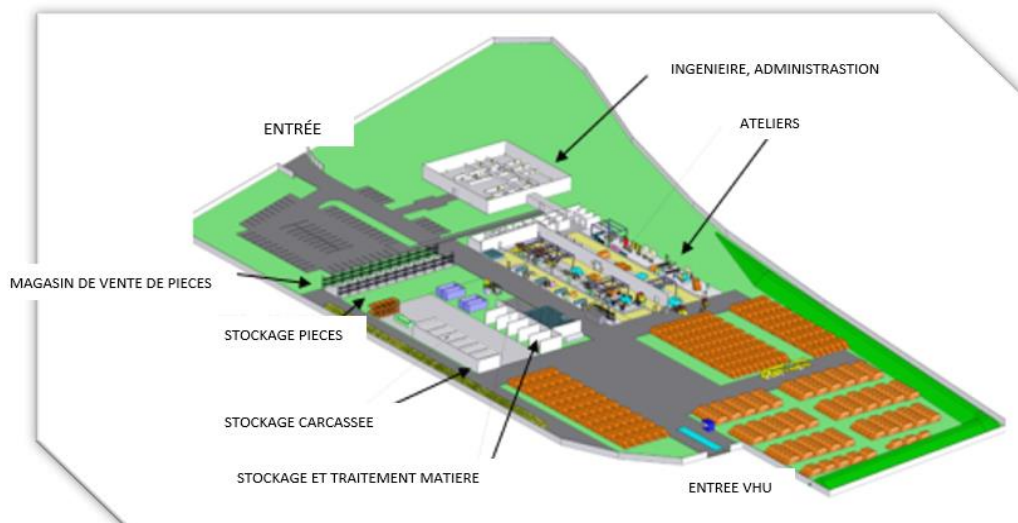


Figure 3: Schéma du site de Re-Source

### 1.5. Trois enjeux majeurs

INDRA, grâce à ses métiers, ses compétences et à sa vision à 360° du secteur a une approche globale qui, seule, permet de tenir compte des questions environnementales et économiques tout en préservant les grands équilibres sociaux. Tableau 1.

<b>Environnementale</b>	<b>Économique</b>	<b>Sociétal</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Préserver les ressources naturelles en matières premières.</li> <li>- Contribuer à l'amélioration de l'empreinte environnementale des véhicules sur tout son cycle de vie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Développer la réutilisation de matières issues des VHU en vue d'une seconde vie</li> <li>- Développer la réutilisation des pièces détachées d'occasion.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 17 000 emplois directs et des milliers d'emplois indirects générés par les activités de broyage et de recyclage des matières.</li> <li>- Les pièces détachées d'occasion facilitent la mobilité des concitoyens.</li> </ul>

Tableau 1: Les enjeux majeurs

## 2. Présentation du Project et objectifs de l'étude

INDRA coordonne avec d'autres partenaires un projet européen LIFE CIRC-ELV qui vise à stimuler une économie circulaire économe en ressources dans le secteur automobile en améliorant la gestion des VHU pour augmenter les taux de recyclage du plastique de manière rentable et aboutir à des plastiques recyclés avec une qualité appropriée pour les nouvelles applications du marché.

Le projet contribuera à atteindre les objectifs de recyclage des VHU fixés par la réglementation de l'UE, en vue d'obtenir un recyclage en boucle fermée pour les plastiques et en aidant à réduire l'épuisement des ressources fossiles et les impacts dérivés (la réduction de 75% de l'empreinte carbone). Les principaux objectifs du projet sont cités dans la figure suivante :Figure 4 [2]

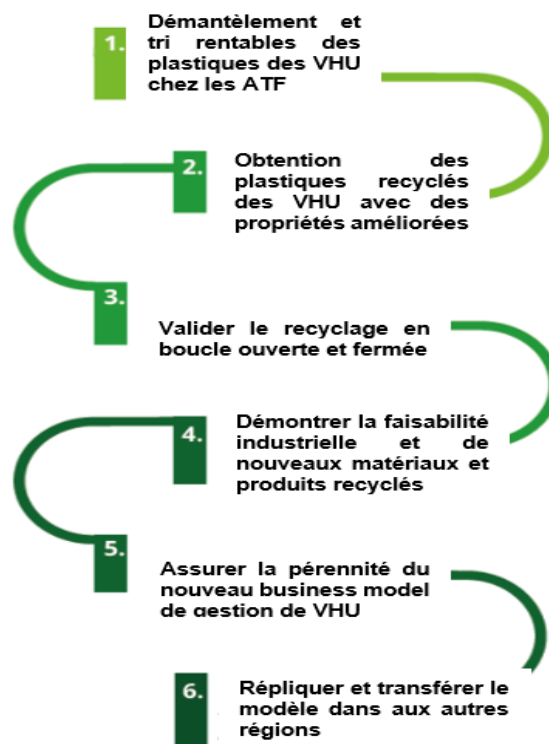


Figure 4: Les objectifs du Projet [2]

Dans le cadre du projet LIFE CIRC-ELV, l'objectif de cette étude consiste à mettre en place une analyse du cycle de vie et des coûts LCA-LCC des plastiques des VHU de l'enlèvement à la transformation en matière recyclée afin d'évaluer l'impact socio-économique et environnemental.

Cette évaluation permettra d'optimiser la valorisation des plastiques dans la mesure où cela est techniquement et économiquement possible, particulièrement les pare-chocs fabriqués de matériaux à haut niveau de recyclage, y compris le polypropylène.

A cet égard, différents scénarios de traitement de VHU seront comparés en tenant compte de chaque opération unitaire afin de déterminer les paramètres qui contribuent à l'amélioration des aspects économiques, sociaux et environnementale sur l'ensemble de cycle de vie.

Nous considérerons donc les piliers constitutifs du développement durable comme enjeux au regard desquels notre système sera évalué. Figure 5

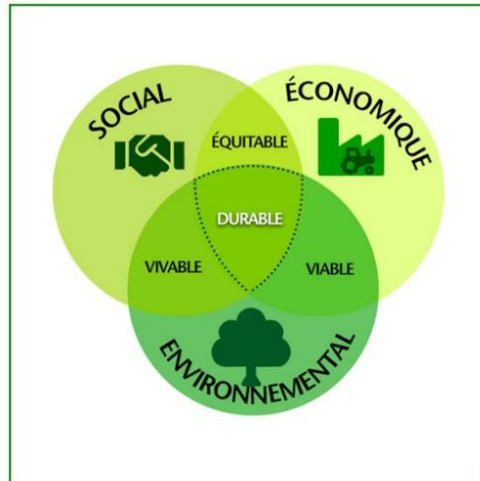


Figure 5: Les enjeux du système

### 3. La réglementation de la filière VHU [3]

La réglementation française relative au traitement des VHU résulte de la directive européenne 2000/53/CE. Elle détermine les objectifs de réutilisation, du recyclage, ainsi que la valorisation. Au niveau national, la filière VHU est réglementée par les articles R.543-153 du Code de l'environnement. La réglementation prévoit que le détenteur d'un VHU doit le remettre obligatoirement à un centre VHU agréé par le préfet et que ce dernier a l'obligation de lui reprendre gratuitement.

La directive européenne relative aux VHU encadre la gestion de ces véhicules en conduisant à

- Concevoir des véhicules davantage susceptibles d'être valorisés ;
- Réduire l'utilisation de substances dangereuses ;
- Prévoir des solutions qui facilitent le démontage ;
- Promouvoir l'utilisation de matériaux recyclés et la revente de pièces de réutilisation.
- Les composants et matériaux des VHU doivent être de préférence réutilisés (sous réserve de leur traçabilité), valorisés et en particulier recyclés plutôt que détruits, chaque fois que cela est viable d'un point de vue économique.

La directive fixe des objectifs à atteindre en termes de performances environnementales :Figure 6

- Un taux minimum de réutilisation et de recyclage de 85 % en masse du VHU ;
- Un taux minimum de réutilisation et de valorisation de 95 % en masse du VHU.

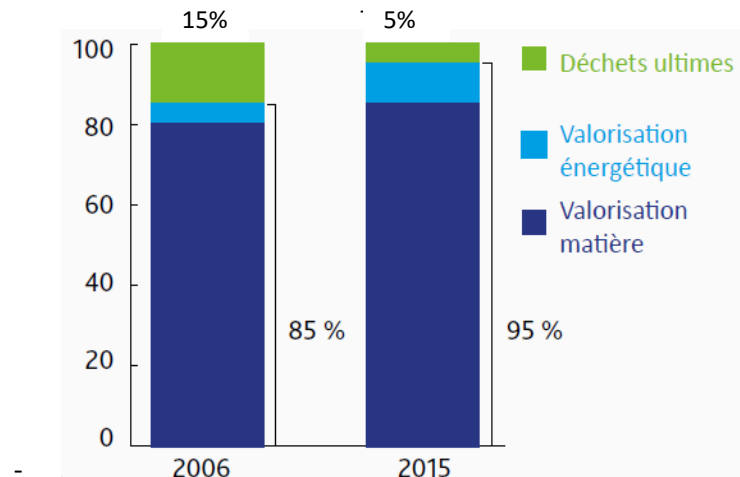


Figure 6: Les objectifs de la nouvelle réglementation (Ademe)

Les centres VHU agréés ont l'obligation de la prise en charge, le stockage, la dépollution (retrait des batteries, des pots catalytiques, des réservoirs GPL, des huiles usagées, des liquides de refroidissement, carburants, des filtres, des pneumatiques...), le démontage de certaines matières et le retrait des pièces de réutilisation (pièces mécaniques, éléments de carrosserie) avant de transmettre les VHU à des broyeurs agréés, qui assurent leur broyage, puis séparent les matières restantes pour les recycler ; cela nécessite notamment de disposer :

- De surfaces de stockage des véhicules non dépollués imperméables
- D'un système de collecte et de traitement des eaux pluviales qui ruissellent sur ces surfaces
- D'un bassin de confinement des eaux accidentellement polluées en cas d'incendie ou de déversement accidentel de produits dangereux
- D'une installation de dépollution des VHU et d'équipements qui facilitent le démontage des pièces et matières en vue de leur réemploi ou recyclage
- D'un système informatique qui assure la gestion, la traçabilité des véhicules et des pièces correspondantes, la désimmatriculation du VHU, la gestion, le référencement, le stockage et la commercialisation des pièces détachées, la gestion et le suivi des déchets et des matières extraites en vue de leur recyclage, valorisation énergétique ou élimination.



## 4. Composition et process de Traitement des VHU

### 4.1. La composition des VHU [1]

Les VHU constituent une source importante de déchets multiple, cette diversité des déchets rend alors la gestion de la filière complexe. De ce fait, ils génèrent un gisement important de déchet en termes de tonnage et de diversité des matériaux. Ces derniers sont classés dans les catégories suivantes ;

- Des déchets dangereux : en raison de leur nature physico-chimique, ils doivent être traités pour éviter tout risque de pollution : huiles, solvants usés, filtres à huile, liquides de frein et de refroidissement, batteries...
- Les déchets souillés considérés comme des déchets toxiques : réservoirs ayant contenu des produits toxiques, chiffons imprégnés de matières toxiques, etc.
- Les déchets banals (DIB) : Principalement composés de bois, de papier et cartons, de caoutchouc, de matières plastiques et de verre comme les pneus, pare-brise, pare-chocs, palettes, emballages non souillés.

Ainsi, Un VHU doit être correctement collecté, dépollué, démonté et recyclé car il représente un danger potentiel pour l'environnement.

Un véhicule hors d'usage (VHU) est principalement composé de métaux et de différents types de plastique, des fluides polluants et des matières organiques non recyclables. Les Figure 7, Figure 8, présentent la répartition en pourcentage et en tonnage des différentes catégories de matières présentes dans les VHU actuellement.

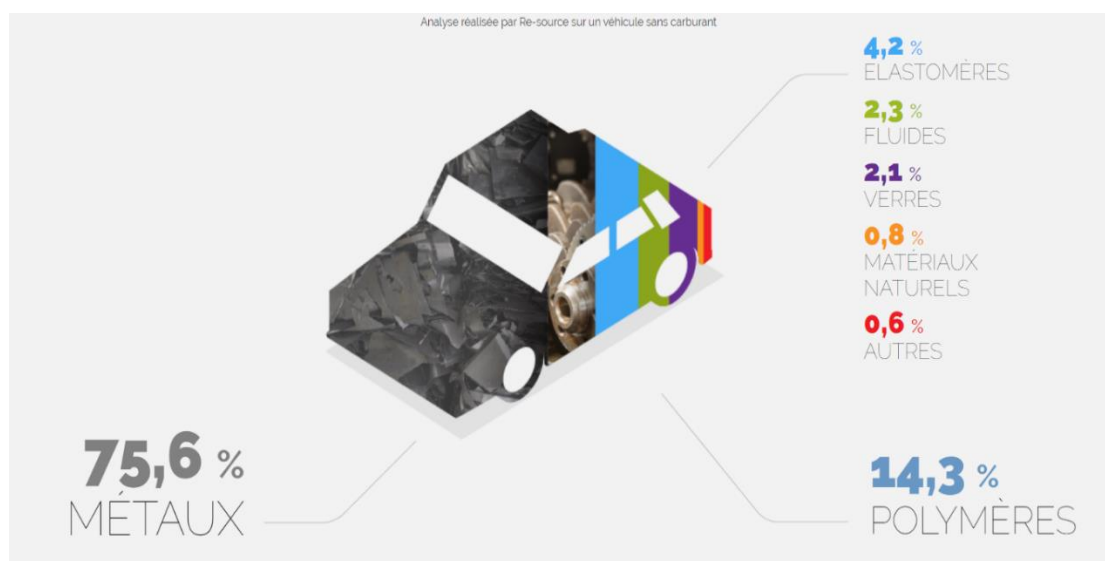


Figure 7: La composition moyenne en pourcentage du VHU (Indra)



Figure 8 : La composition moyenne massique du VHU (Indra)

D'ailleurs, Les VHU récents contiennent de moins en moins d'acier et de plus en plus de plastiques, en pourcentage de la masse des véhicules. Le graphique ci-dessous montre les types de plastiques et de métaux par VHU. Le polypropylène est de loin le type de plastique le plus utilisé (près de 28%). Figure 9

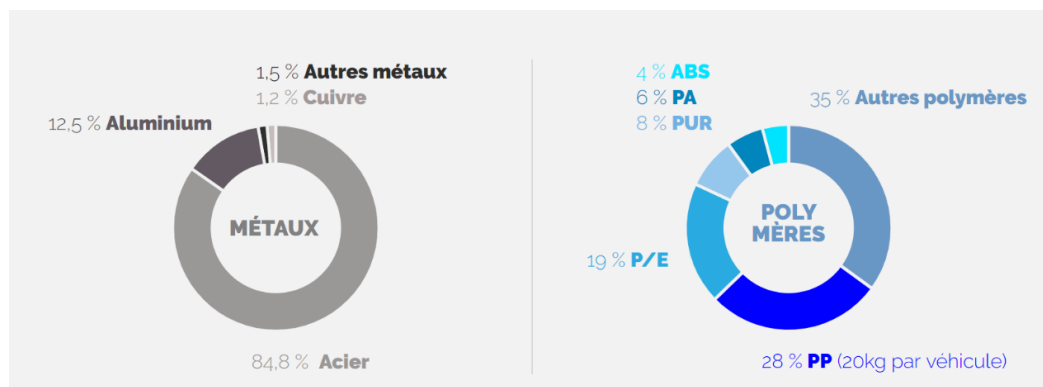


Figure 9: La répartition des métaux et des polymères dans un VHU (Indra)

## 4.2. Composition et boucle courte d'un parechocs recyclé [4]

L'étude de la composition de boucliers sur différentes marques et modèles montrent qu'ils sont constitués quasi-exclusivement de polyoléfinés (à plus de 91%), que ce soit à l'avant (7kg) comme à l'arrière (4.5 kg). Cette concentration est intéressante dans le cadre de la valorisation matière des pièces, d'autant que cette tendance est constatée sur plusieurs véhicules de marques différentes.

Par exemple, le bouclier avant du Renault Captur contient seulement 44,3% de matière dont la densité est inférieure à 1,02 ; ce qui signifie que 4,7 kg de matière vont couler dans le bain et être perdus. Figure 10 [8]

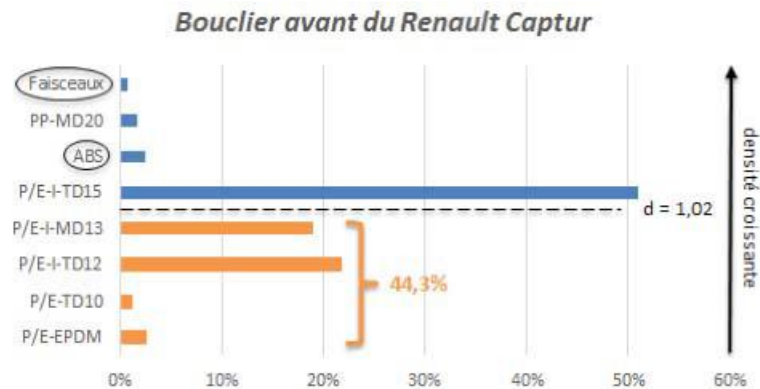


Figure 10: Composition du bouclier avant du Renault Captur (ICARRE)

Il s'agit d'un composant facilement démontable, de type nanomatériau, démonté par le centre VHU, collecté, ensuite compacté pour obtenir des balles pour massifier le flux et réduire le prix du transport des matières, puis broyé.

L'étape suivante est le processus de Broyage/Lavage/Flottaison pour séparer les matières et obtenir un produit appelé « Broyé/flotté VHU » pour récupérer la matière polypropylène PP, ensuite une étape de compoundage est indispensable pour améliorer la tenue mécanique en ajoutant des additifs, de charges et de matière vierge, la matière est enfin injectée pour réaliser des pièces plastiques au même titre que la matière vierge pour compléter la boucle courte. Figure 11 [8]



Figure 11: Chaîne de valeur du PP recyclée selon la boucle courte\* (CARRE)

\* Boucle courte : terme utilisé au sein du Groupe Renault pour signifier que les opérations de recyclage, collecte, logistique, préparation et transformation de la matière sont des opérations courtes (géographiquement et réintroduction dans le même secteur).

### 4.3. Process du traitement des VHU [5]

Les VHU sont considérés comme des déchets dangereux par la réglementation qui doivent en conséquence être traités. Le traitement des VHU se fait en 4 phases successives :

- **Dépollution**

Première opération de traitement effectuée sur le VHU consiste à débarrasser le VHU de tous les éléments qui menacent l'environnement (batterie, éléments pyrotechniques, fluides, huiles, liquides de refroidissement). Ces déchets sont extraits, stockés puis acheminés vers des filières de valorisation ou d'élimination spécifiques. Après cette étape le VHU est considéré comme déchet non dangereux.

- **Désassemblage /ou démontage**

Les pièces de réemploi sont démontées, contrôlées, nettoyées puis stockées. Les autres matières comme les câblages, boîtiers électroniques, plastiques des pare-chocs, verres, pneumatiques, mousses... seront commercialisés vers les filières de recyclage ou bien vers des filières de valorisation matière ou énergétique. Dans quelques cas, les réservoirs à carburant sont retirés pour réduire les risques d'explosion lors des opérations de broyage. Enfin, le reste du véhicule est dirigé vers les broyeurs pour y être recyclé.

- **Déchiquetage / Broyage / Tri**

Le déchiquetage permet de produire un broyat de plastique d'une taille supérieure à 5 cm, et le broyage produit un granulat de taille inférieure à 1.5 cm. Seules les technologies de broyage adaptées aux matériaux plastiques seront abordées dans le cadre de cette étude. Les carcasses de VHU sont acheminées pour être traitées sur un site de broyage. Ainsi les carcasses sont broyées, triées en métaux ferreux et non-ferreux. Les métaux ferreux sont récupérés par séparation magnétique puis valorisés en quasi-intégralité par les usines sidérurgiques et les fonderies. Les métaux restants sont principalement composés de cuivre et d'aluminium, ils sont récupérés par un courant de Foucaud ou par flottation, ou séparés des matières qui les recouvrent (ex-câbles électriques...), ces métaux sont ensuite recyclés dans des filières spécifiques. Les matières ainsi extraites par familles sont réintroduites dans le cycle de production pour obtenir des matières premières secondaires. Ces dernières seront réintroduites pour la fabrication de pièces neuves, notamment dans l'industrie automobile.

Les procédés de tri utilisables sur les broyats plastique se font par différents types de machines adaptées tels que : les machines de tri densimétriques en milieu liquide, tri aéraulique, tri électrostatique et tri optique. Les procédés de tri n'ont pas un rendement à 100%. Chacune des performances sont évaluées suivant un taux de refus et un taux d'impureté restant dans la matière dominante après le tri. Les études effectuées dans ce domaine montrent qu'au-dessus de 3% d'impuretés dans un mélange PP, les caractéristiques du PP peuvent chuter de 20% à 30 %.

- **Traitement des résidus non métalliques (RBA) [7]**

A l'issue de ces étapes, il reste une fraction appelée résidus de broyage automobile (RBA) constituée d'un mélange de matériaux divers. La partie légère constituée de fractions fines : poussières, mousses, minéraux..., et la fraction lourdes contient quant à elle des plastiques et des élastomères. Ils sont séparés par un procédé de flottation (séparation gravimétrique par liqueur dense) pour être valorisés comme matériaux (plastique) ou comme énergie (mélange de matières minérales organiques) en raison de leur grand pouvoir calorifique. Les résidus ultimes inexploitable sont placés dans des centres techniques d'enfouissement. Le schéma ci-dessous reprend les étapes de traitement d'un VHU : Figure 12

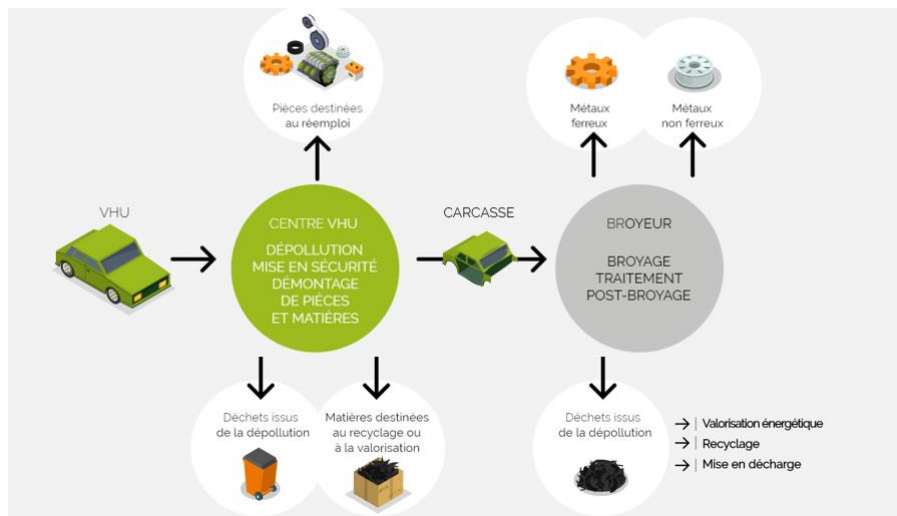


Figure 12: schéma illustratif des étapes de traitement d'un VHU (Indra)

## 5. Analyse des scénarios du traitement des VHU

### 5.1. Les scénarios actuels du traitement des pare-chocs

Cinq scénarios de traitement de parechocs des VHU ont été comparés dans cette étude dans l'ensemble de leur cycle de vie, en fonction de la taille des centre VHU (3 scénarios), du type de démontage (2 scénarios). De ce fait, les scénarios différaient les uns des autres dans le type des opérations de démantèlement, la réduction de volume et les distances entre les centres de déconstruction, broyage, compoundage et le moulage. Figure 13

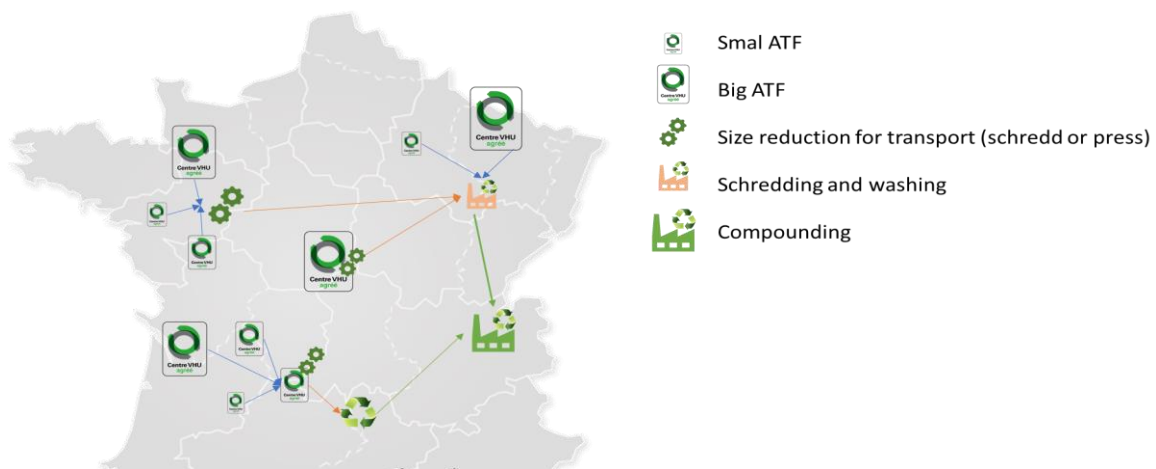


Figure 13: Les scénarios de traitement des VHU d'INDRA

#### ➤ Scénarios en fonction de la taille des Centre VHU

**Scénario 1** : Il est caractérisé par la présence d'un centre intermédiaire appelé plateforme de collecte qui rassemble les VHU qui sont déjà dépollués et désassemblés dans des CVHU dans les alentours, ensuite cette plateforme prend en charge la réduction de volume (par déchiquetage ou compression en balle) des parechocs avant qu'ils soient dirigés vers les centres de broyage, compoundage et enfin le moulage. Figure 14

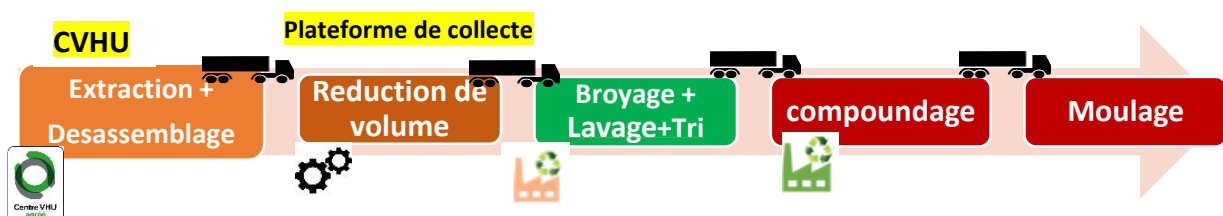


Figure 14: Schéma du scénario 1

**Scénario 2** : Dans ce scénario, le CVHU est chargé de tous les opérations de depolition, dessassemlage et de réduction de volume , ensuite les composants en plastique (pare-chocs ) sont envoyés vers le centre de Broyage puis le compoundage et le moulage. Figure 15

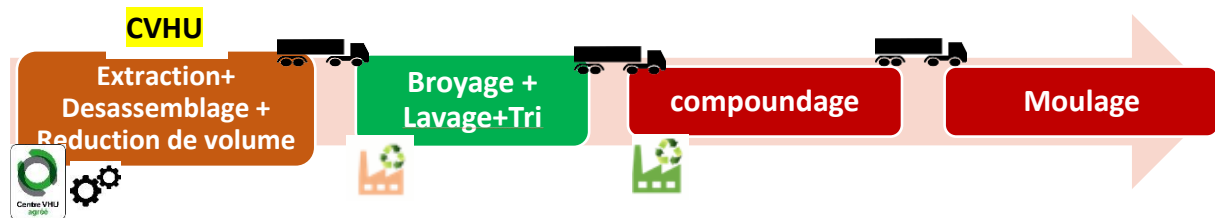


Figure 15: Schéma du scénario 2

**Scénario 3** : Il contient un centre VHU intermédiaire qui collecte les VHU des autres CVHU dans les alentours, il prend en charge le désassemblage et la réduction de volume des Plastique, ensuite ils sont dirigés vers les centres de broyage, compoundage et moulage. Figure 16

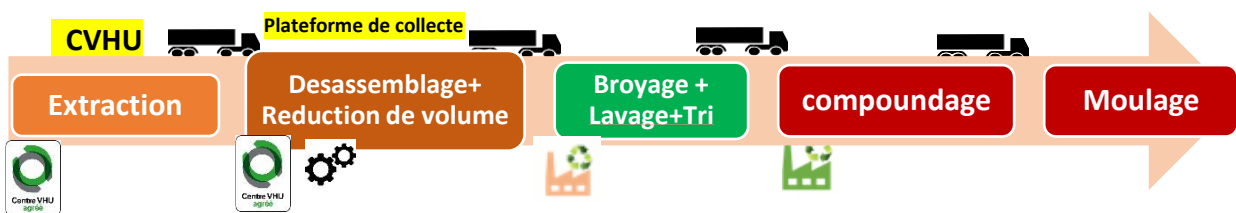


Figure 16: Schéma du scénario 3

➤ **Scénarios en fonction du type de démontage**

En fonction du type de démontage dans un CVHU, deux principaux scénarios seront étudiés :

**Scénario A - Démontage manuel** : le pare-chocs est déposé manuellement avec des outils électrique (visseuse manuelle, électrique). Figure 17

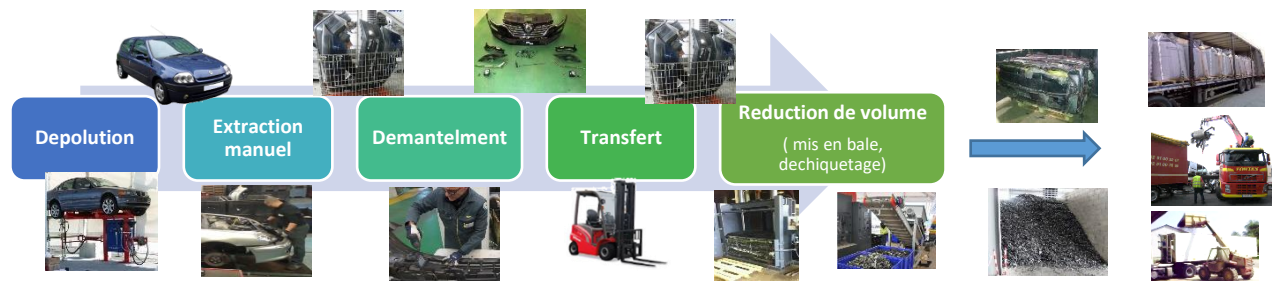


Figure 17: Schéma du démontage manuel

**Scénario B - Démontage destructif** : Dans ce cas le VHU est démonté et le pare-chocs est extrait avec des machines destructives (Démanteleur à pince, Démanteleur à grappin) Figure 18

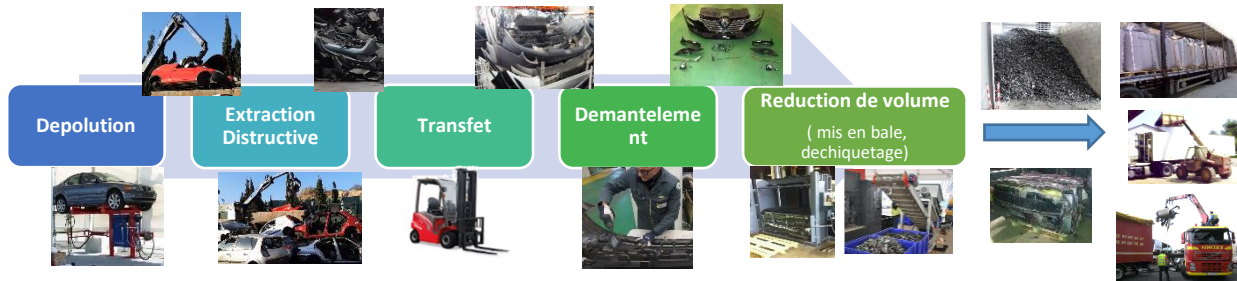


Figure 18: Schéma du démontage destructif

## 5.2. Critères d'évaluation et paramètres d'études

Les scénarios présentés seront comparés selon des critères environnementaux, sociaux et économiques en fonction des données fixes et variables collectées pour chaque scénario. De ce fait, 4 critères et 3 enjeux ont été sélectionnés comme indiqué dans le Tableau au-dessous

Enjeux	Critère	Indicateur
Economique	Coûts opérationnels	Bilan économique
Environnemental	Consommation des ressources	MJ
	Réchauffement climatique (GES)	Kg eq CO2
Social	Risques professionnels	Calcul des valeurs des risques

Tableau 2 : Les critères de comparaison des scénarios

Le tableau 3 présente les différents paramètres et variables relatifs aux outils de déconstruction, de réduction de volume, les consommables, le transport et le type de matière produite. Tableau 2 : Les critères de comparaison des scénarios

























Paramètre	Type 1	Type 2	Type 3
<b>Extraction</b>	 Visseuse électrique	 Démanteleur à pince	 Démanteleur à grappin
<b>Démantèlement</b>	 Tournevis	 Visseuse électrique	 Coupeur hydraulique
<b>Reduction de volume</b>	 Déchiqueteur > 5 cm	 Compression à bale	 Coupeur électrique
<b>Consommable</b>	 Big bag	 Palette	 Sangle
<b>Transport externe</b>	 Fond mouvant 90 m3	 Camion 30 m3	 Semi-remorque 90 m3
<b>Transport interne</b>	 Chariot élévateur		
<b>Chargeur matière</b>	 Chargeur a godet	 Chargeur à pelle sur camion	 Chariot élévateur
<b>Matière produite</b>	 Balle compressée	 Déchiqueté	 Entier

Tableau 3 : Les paramètres d'étude

## 6. Enjeux Economiques : Comparaison des scénarios

### 6.1. Les cas d'études

Le but de toute entreprise est de dégager un profit et assurer sa pérennité et donc d'être économiquement viable. De ce fait, un bilan financier permet d'étudier la rentabilité des scénarios en analysant les opérations et les postes en intégrant des règles comptables de calculs tels que le coût de vente de matière première secondaire et des déchets, la part salariale, les amortissements des machines, les énergies, les consommables etc. Cette évaluation économique sera limitée aux centres VHU dont les coûts des recettes et des dépenses pour chaque scénario sont connus et calculés en se basant sur des données expérimentales collectées dans les scénarios étudiés.

A cet égard, l'analyse des processus comprend d'abord l'identification des activités unitaires pour chaque étape de traitement de parechocs afin de calculer un bilan financier qui est le résultat de la différence entre les dépenses et les recettes relatives aux opérations des CVHU, comme le montre le tableau suivant :Tableau 2

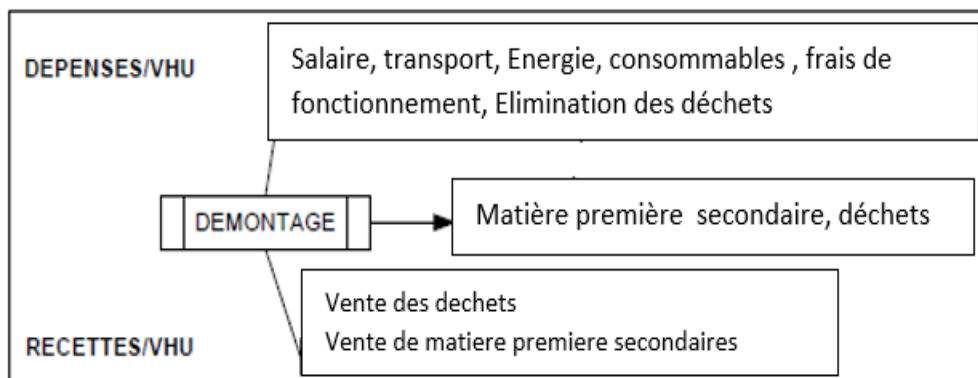


Tableau 2: Les dépenses et les recettes du bilan économique

On va définir deux cas d'études, dont les opérations de gestion des parechocs dans centre VHU seront identifiées et évaluées, les opérations post-déchetage ne sont pas incluses dans cette évaluation :

- **Cas d'étude 1** : Comparaison des 3 scénarios principaux d'Indra en fonction du type et taille du CVHU, Tableau 3

<b>Scénario1 Moyen CVHU</b>	<b>Scénario2 Grand CVHU</b>	<b>Scénario 3 Petit CVHU</b>
a) Extraction manuelle des parechocs AV +AR	a) Extraction manuelle des parechocs AV +AR	a) Extraction destructive des parechocs AV +AR
B) Dépose des pare chocs	b) Dépose des pare chocs	b) Transfert en box
C) Démantèlement et génération de déchets solides (antibrouillards, câble, vis)	c) Démantèlement et génération de déchets solides (antibrouillards, câble, vis)	c) Transfert en camion
e) Transfert en box	d) Transfert en box	
f) Transfert en camion	e) Transfert pour la réduction de volume	
	f) Déchiquetage	
	g) Transfert au stockage	
	h) Transfert en camion	

Tableau 3: Les 3 scénarios de "INDRA"

- **Cas d'étude 2** : Comparaison des 2 scénarios du CVHU des partenaires selon le type d'extraction du parechocs, Tableau 4

<b>Scénario destructif</b>	<b>Scénario manuel</b>
a) Extraction Destructive des parechocs AV +AR	a) Extraction manuelle des parechocs AV +AR
b) Dépose des pare chocs	b) Dépose des pare chocs
c) Transfert en démantèlement	c) Démantèlement et génération de déchets solides (antibrouillards, câble, vis)
d) Démantèlement et génération de déchets solides (antibrouillards, câble, vis)	d) Transfert en box
f) Découpe des Parechocs	e) Transfert pour la réduction de volume
g) Compression en bale (300 kg/m3)	f) Compression en bale (300 kg/m3)
h) Transfert en camion	g) Transfert en camion

Tableau 4: Les 2 scénarios du partenaire



Les scénarios ont été suivis en quantifiant les flux massiques des différents matériaux d'entrée et de sortie. Le récapitulatif des coûts de fonctionnement et le résultat économique pour chaque scénario est donné dans le Tableau 6 et la Figure 19.

Scénario	Prix de matière vendue	Prix de déchet vendu	Energie	Consommable, engins	Salaire	Coût de machine	Crédit	Débit	Résultat économique
1	<h1>Confidentiel</h1>						135	-153	-18
2							237	-247	-10
3							100	-94	6
D							124	-190	-66
M							124	-113	11

Etude de cas 1
  Etude de cas 2

Tableau 6: Bilan de coût des recettes et des dépenses en euro/tonne de parechocs (détails de calculs sont confidentiels)

Avec :

**Crédit (par tonne de matière)** = coût de vente de matière + coût de vente des déchets

**Débit (par tonne de matière)** = coût d’Energie + coût de consommable et engins + salaire + coût d’amortissement des machines

**Résultat économique** = crédit – débit

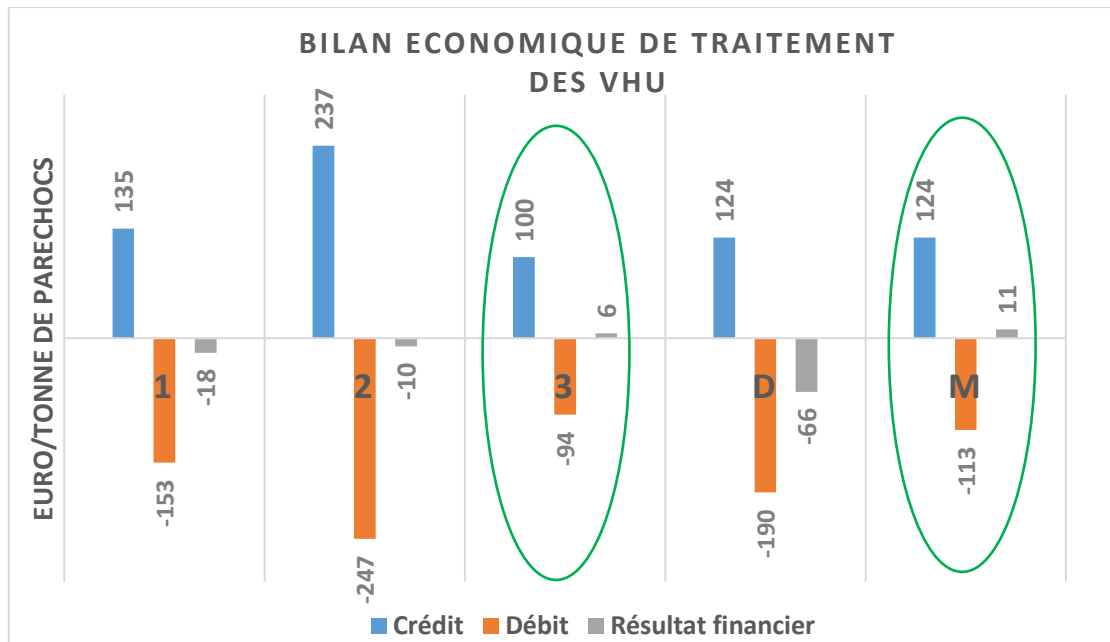


Figure 19 : Bilan économique de traitement des VHU

**Etude de cas 1 :** On constate qu'économiquement le scénario 3 qui correspond au CVHU de petite taille est le meilleur en termes de bénéfice, il présente un gain de 6 euro/tonne de parechocs traités. En revanche, les grands et les moyens CVHU (scénario 1 et 2) présentent des pertes économiques en raison des coûts de dépenses, surtout pour la rémunération (102 et 125 euro/tonne) et les coûts d'amortissement des machines (60 euro/tonne) qui impacte négativement leurs bénéfices.

À cet égard la maîtrise des coûts d'utilisation des machines et la réduction de consommation d'énergie semblent être la solution nécessaire pour réduire les pertes dans les scénarios 1 et 2. Il ressort également que la mise en décharge des RB issus des déchets des pare-chocs peut causer des coûts de traitement de plus, ainsi, une valorisation matière ou énergétique des RB apparaît plus convenable pour réduire les coûts des dépenses pour le traitement des déchets RB

**Etude de cas 2 :** D'après le bilan , le scénario de démantèlement manuel est plus avantageux ,il résulte un gain financier de 11 euro /tonne, puisqu' il présente moins de dépenses par rapport au scénario de démontage destructif avec le démanteleur à grappin (190 euro /tonne pour le scénario destructif et 113 euro/tonne pour le scénario manuel), ces dépenses sont liées aux coûts de main d'œuvre (118 euro/tonne) et aux coûts d'électricité et du carburant des machines de démantèlement et de transport interne. Les dépenses dans le scénario destructif pourraient être compensées par la réduction des consommables et de la consommation énergétique des engins.

## 7. Enjeux sociaux : Evaluation des risques sociétaux

### 7.1. Méthode de calcul [6]

L'évaluation des risques (RA) est un processus d'évaluation associés à chacun des dangers identifiés afin que des mesures de contrôle appropriées puissent être mises en œuvre en fonction de la probabilité. Les interactions entre un opérateur et un danger sont définis dans une liste de 17 risques donnée par l'INRS pour la réalisation des Documents Uniques, chaque situation de travail peut faire l'objet d'un risque identifié. Figure 20. Ces risques liés à la santé et à la sécurité au travail nécessitent la mise en place d'une méthodologie d'Evaluation des Risques Professionnels (EVRP)

















	<b>1.</b> Risques d'accident de plain-pied		<b>10.</b> Risques liés aux effondrements et aux chutes d'objets
	<b>2.</b> Risques de chute de hauteur		<b>11.</b> Risques et nuisances liés au bruit
	<b>3.</b> Risques liés aux circulations internes		<b>12.</b> Risques liés aux ambiances thermiques
	<b>4.</b> Risque routier		<b>13.</b> Risques d'incendie, d'explosion
	<b>5.</b> Risques liés à l'activité physique		<b>14.</b> Risques liés à l'électricité
	<b>6.</b> Risques liés à la manutention mécanique		<b>15.</b> Risques liés à l'éclairage
	<b>7.</b> Risques liés aux produits, aux émissions et aux déchets		<b>16.</b> Risques liés aux rayonnements
	<b>8.</b> Risques liés aux agents biologiques	<b>17.</b> Les autres risques	
	<b>9.</b> Risques liés aux équipements de travail		

Figure 20: listes des risques professionnelles

L'évaluation des risques va être calculée avec des valeurs de référence qui correspondent aux paramètres d'exposition et de gravité (Tableau 7, Tableau 8). En réalisant une analyse par étape des opérations effectuées sur les sites de traitement des VHU, chaque interaction entre un opérateur et un danger sera étudiée.

Intitulé	Note	Risque de lésions R1 à R17 (sauf R8 et R11)	Risque bruit R11	Risque chimique R8
<b>Très grave</b>	8	Arrêt de travail long, voire décès de l'accidenté	> à la VLCT ou > à la VME	Préconisation >10%
<b>Grave</b>	6	Accident ou maladie avec séquelles	De 66 à 100 % de la VLCT ou de la VME	Préconisation +10%
<b>Sérieux</b>	4	Accident avec arrêt de travail, mais sans séquelles	De 33 à 66 % de la VLCT ou de la VME	Si égale à la préconisation
<b>Bénin</b>	2	Accident sans arrêt de travail	De 0 à 33 % de la VLCT ou de la VME	Si inférieur à la préconisation

VLCT : Valeur Limite d'exposition à Court Terme

VME : Valeur Limite d'exposition à Court Terme

Tableau 7 : Valeurs de référence de la gravité des risques professionnels (anses)

Exposition (mode normal)	Probabilité (mode accidentel)	Note
Continue	Plusieurs fois par an	5
Plusieurs fois par jour	Remarquée au moins une fois par an	4
Au moins une fois par semaine	Pouvant apparaître ou déjà apparu (probabilité d'occurrence d'au plus une fois tous les 5 ans)	3
Au moins une fois par mois	Apparu rarement (au moins une fois dans la vie de l'installation)	2
Au moins une fois par an	Vraisemblable mais jamais apparu	1

Tableau 8: Valeurs de référence de l'exposition et de la probabilité d'occurrence (anses)

Le produit de l'exposition et de gravité va déterminer le seuil qui associe automatiquement un critère à une catégorie. Les risques sont considérés significatifs lorsque le seuil obtenu par le produit R est supérieur à 30 et la gravité est évaluée à 8. Figure 21

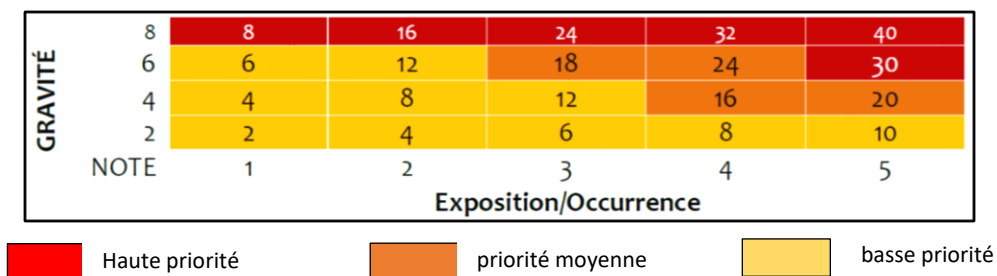


Figure 21: Seuils l'évaluation des risques professionnels

Avec :

**Risque R= Exposition x Gravité**



Les dangers et les risques correspondants, ainsi que les interactions considérées avec le personnel et les valeurs R attribuées pour chaque étape dans les scénarios sont listés dans le tableau de synthèse suivant Tableau 9 (extrait)

Zone	N°	Activity	Subactivity	description	employe	Danger	Mode	Risk type	G	E	R=E.G
ATF	1a	Removal	destructive rem	electric screwdriv	Dismantler	Torsions	N	R1 Risks of tripping, bumping or ither dis	6	4	24
ATF						Troube de l'audition	N	R11 Risks and nuisances linked to noise	8	4	32
ATF						Lesions	N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24
ATF						Coupures	Acc	R6 Risks linked to mechanical handling	6	4	24
ATF	1b	Subset Transfer	Subset deposal		Dismantler	Liquide gras au sol	N	R1 Risks of tripping, bumping or ither dis	6	4	24
ATF	2a	Dismantling	subset dismantlin	manual screwdriv	Dismantler	Torsions	N	R1 Risks of tripping, bumping or ither dis	6	4	24
ATF						Lesions	N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24
ATF						Coupures	Acc	R6 Risks linked to mechanical handling	6	4	24

Tableau 9 : Un extrait du tableau de synthèse de EVRP

## 7.2. Résultats de l'évaluation des risques professionnels

L'évaluation des risques professionnels était appliquée sur les deux études de cas tableau 5 et 6 :

**Etude de cas 1 :** Comparaison entre les 3 scénarios principaux d'Indra (tableau 5)

**Etude de cas 2 :** Comparaison entre les 2 scénarios du partenaire (tableau 6)

L'objectif est de comptabiliser l'ensemble des valeurs des risques R pour chaque scénario et ensuite, on peut déterminer les scénarios qui présente le risque professionnel le plus grand. Les valeurs du Tableau 10 correspondent à la somme de notes obtenues pour chaque scénario pour les 2 cas d'études.

Cas d'étude 1	Total	Risque max	Risque moyen
Scénario 1	624	224	400
Scénario 2	592	192	400
Scénario 3	544	192	352
Scénario manuel	680	256	424
Scénario destructif	480	192	288

Tableau 10: résultat de l'évaluation des risques

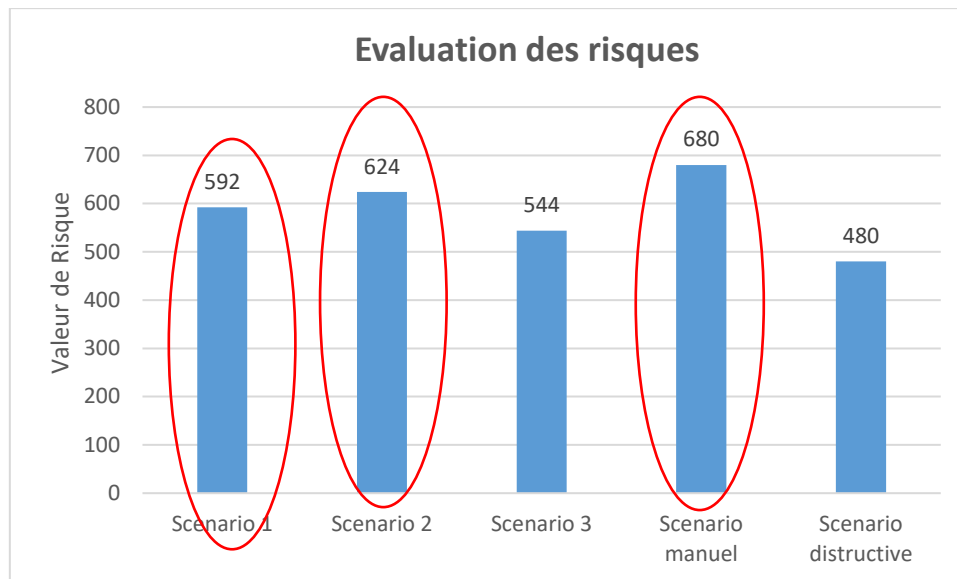


Figure 22: Bilan des résultats d'évaluation des risques

Le Figure 22 montre que les risques de traitement des parechocs des VHU augmentent sensiblement avec les scénarios manuelles (R= 592 pour le scénario 1, R= 624 pour le scénario 2, R= 680 pour le scénario 3) dont les opérations de démantèlement et d'extraction sont faite manuellement avec des visseuses électriques, et cela peut impliquer des dangers et des risques liés aux équipements de travail (Torsion, lésions, coupure), aux produits, aux émissions et aux déchets.

En revanche, les scénarios destructifs qui utilisent des machines non manuels (démanteleur à grapin ou à pince) pour l'extraction des parechocs, représentent le moindre risque professionnel, c'est le cas des scénarios 3 et 5 avec R =544 et R=480. Concernant le cas d'étude 1, les grandes et les moyens CVHU pourrait impliquer des valeurs de risques professionnels supérieur en raison de la présence des manipulations multiples pour le traitement des parechocs.

Parmi les principaux risques relatifs au scénario manuel qu'il faut maîtriser on trouve :

- Risques liés à la manutention mécanique
- Risques liés aux équipements de travail (Torsion, lésions, coupure)
- Risques liés aux produits, aux émissions et aux déchets (Présence de COV)

Notre évaluation des risques favorise l'utilisation des machines destructives pour le démontage des parechocs pour éviter les dangers de coupure, torsion et de lésion par les équipements de travail, ainsi que la réduction des émissions des composés organiques volatils dans les lieux de travail.

## 8. Enjeux environnementaux : Evaluation des impacts

### 8.1. Définition des objectifs

Dans ce chapitre, on va analyser les impacts environnementaux des scénarios de traitement des pare-chocs à savoir l'effet de serre et la consommation des ressources. Cette démarche permettra d'identifier les scénarios et les étapes les plus polluantes et tous les paramètres à l'origine de cette pollution. Mais une chose est sûre, le traitement des plastiques des VHU en boucle fermée dans chaque scénario est obtenu au prix d'autres impacts environnementaux qui sont générés lors du démantèlement, de réduction de volume, broyage, Compoundage et du moulage par injection.

C'est dans ce contexte de problématique qu'intervient l'analyse de cycle de vie (ACV) qui permet de quantifier tous les aspects suscités. Sur la base des résultats obtenus, on pourra prendre des décisions pour optimiser l'enjeu environnemental (moins d'impacts, économie d'énergie, ...) en retenant le meilleur compromis entre tous les aspects étudiés. Dans notre cas, il s'agit d'identifier le scénario le moins impactant parmi les différents scénarios comparés

### 8.2. Définition du champ de l'étude

#### ➤ L'unité fonctionnelle

La première étape de l'ACV exige la définition d'une unité fonctionnelle. Dans notre cas L'unité fonctionnelle est donc : une tonne de pare-chocs à traiter par scénario d'un VHU ayant en moyenne 10 à 12 ans. La définition du champ de l'étude doit également tenir compte et définir les frontières du système. Il s'agit là de définir le périmètre du système étudié.

#### ➤ Les frontières du système

Le système étudié ici est composé par une chaîne d'opérations par laquelle les plastiques extraits (pare-chocs) sont traités par plusieurs opérations entraînant des flux de matière, énergies et des déchets, les opérations sont désignées comme la chaîne : Extraction / Démantèlement / Réduction de volume / Broyage/ Tri/ Compoundage/ Injection.

Les frontières du système vont donc de la réception des VHU sur le site passant par la production des matériaux issus du tri après broyage et enfin l'injection des composants plastique pour obtenir une boucle fermée. Les flux non élémentaires correspondants à la fabrication des camions et des infrastructures n'ont pas été pris en compte.

Le périmètre de l'étude se limite donc à :

- Le CVHU (extraction, démantèlement, réduction de volume)
- Plateforme de collecte (démantèlement, Réduction de volume)
- Centre de broyage (Broyage, lavage, tri)
- Centre de compoundage

- Centre d'injection
- Les modes de traitement des déchets et des rejets
- Les transports entre les centres et la consommation d'électricité pour chaque opération

La Figure 23 montre les frontières du système étudié.

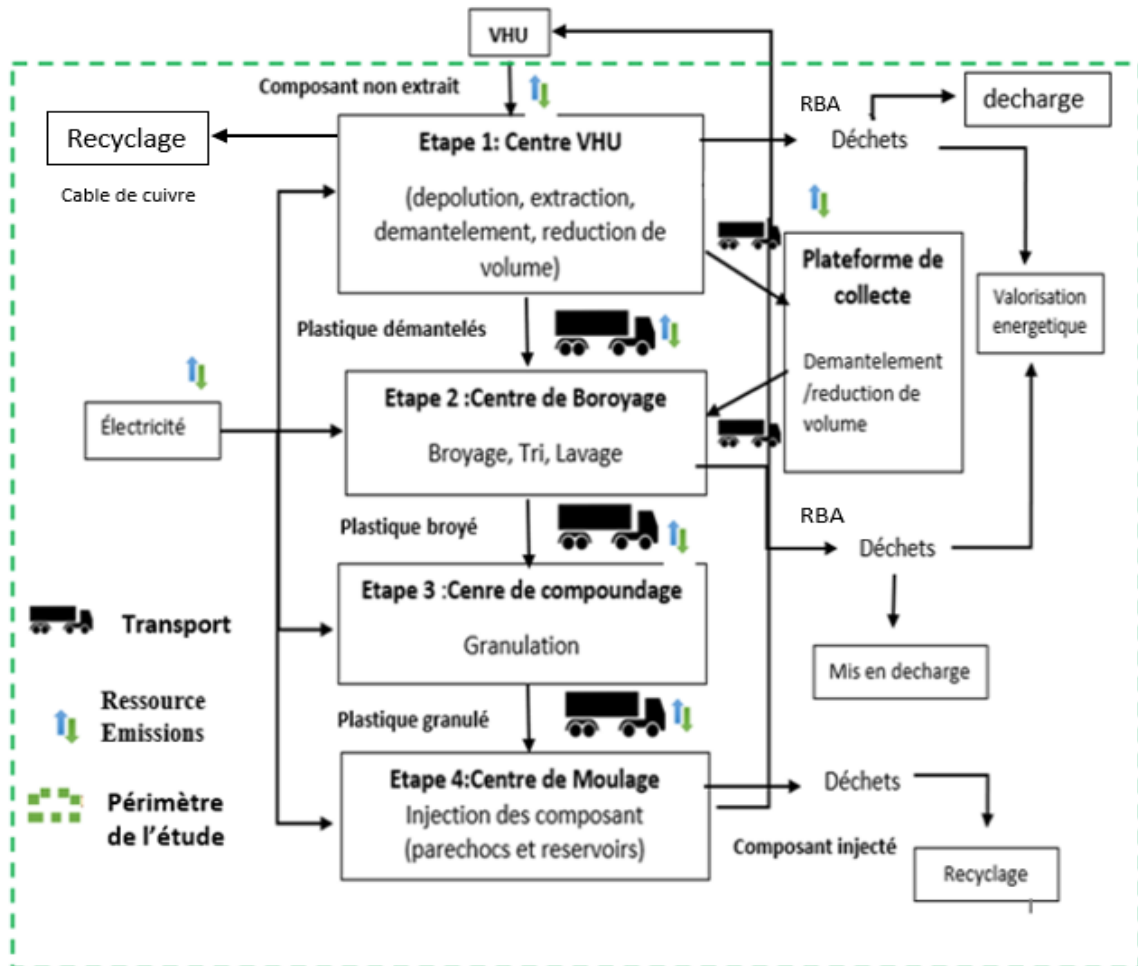


Figure 23: le périmètre du système étudié

### 8.3. Inventaire des données et hypothèses

Les données ont été traitées grâce au logiciel GABI pour la modélisation et le calcul des impacts du système étudié. Plusieurs impacts peuvent être évalués grâce à ce logiciel. Nous nous limiterons dans notre cas à évaluer les scénarios sur deux impacts : l'effet de serre, et l'épuisement des ressources.

Certains procédés comme l'extraction, le démantèlement et le broyage non disponibles sur les bases de données GABI, ont été créés en fonction des données de calcul internes. Les hypothèses et les entrées de données diffèrent d'un scénario à l'autre. Pour plus de visibilité, nous allons nommer 2 études de comparaison :

- « **Etude1** » pour les 3 scénarios principaux d’Indra, le centre de broyage, compoundage et injection
- « **Etude 2** » pour les 2 scénarios du partenaire + le centre de Broyage, compoundage et injection

Les tableaux ci-dessous présente les 2 cas d’études avec les étapes de traitement des pare-chocs pour chaque scénario correspondant. Tableau 11, Tableau 12.

<b>Scénario1</b>	<b>Scénario2</b>	<b>Scénario 3</b>
<b>A- Extraction manuelle</b> des parechocs AV +AR (visseuse électrique)	<b>A- Extraction manuelle</b> des parechocs AV +AR	<b>A- Extraction destructive</b> des parechocs AV +AR Démanteleur a pince
<b>B- Démantèlement</b> (visseuse électrique) et génération de déchets solides (antibrouillards, câble, vis)	<b>B- Démantèlement</b> (visseuse électrique) et génération de déchets solides (antibrouillards, câble, vis)	<b>B- Transfert en camion</b> (Chargeur à pelle sur camion)
<b>C- Transfert en camion</b> (chargeur à pelle sur camion)	<b>C- Transfert en réduction de volume</b> (chariot élévateur)	<b>C- Transport</b>
<b>D- Transport</b>	<b>D- Déchiquetage</b>	<b>D- Démantèlement</b> (visseuse électrique) et génération de déchets solides (antibrouillards, câble, vis)
<b>E- Déchiquetage</b>	<b>E- Transfert en stockage</b> (Chariot élévateur)	<b>E- Déchiquetage</b>
<b>F- Transfert en stockage</b> (chariot élévateur)	<b>F- Transfert en camion</b> (Chariot élévateur)	<b>F- Transfert en stockage</b> (chariot élévateur)
<b>G- Transfert en camion</b> (Chariot élévateur)	<b>G- Transport</b>	<b>G- Transfert en camion</b> Chargeur a godet
<b>H- Transport</b>	<b>I- Broyage-lavage-Tri</b>	<b>H- Transport</b>
<b>I- Broyage-lavage-Tri</b>	<b>J- Transport</b>	<b>I- Broyage-lavage-Tri</b>
<b>J- Transport</b>	<b>K- compoundage</b>	<b>J- Transport</b>
<b>K- compoundage</b>	<b>L- Transport</b>	<b>K- compoundage</b>
<b>L- Transport</b>	<b>M- Injection</b>	<b>L- Transport</b>
<b>M- Injection</b>		<b>M- Injection</b>

Tableau 11: : scénarios du Cas d’étude 1

<b>Scénario destructif</b>	<b>Scénario manuel</b>
<b>A- Extraction Destructive</b> des parechocs AV +AR (Démanteleur a grappin)	<b>A- Extraction manuelle</b> des parechocs AV +AR (visseuse électrique)
<b>B-Transfert en démantèlement</b> (Chariot élévateur)	<b>B-Démantèlement</b> (visseuse électrique) et génération de déchets solides (antibrouillards, câble, vis)
<b>C- Démantèlement</b> (visseuse électrique) et génération de déchets solides (antibrouillards, câble, vis)	<b>C- Transfert en réduction de volume</b> (chariot élévateur)
<b>D-Découpe des Parechocs</b>	<b>D-Découpe des Parechocs</b>
<b>E- Compression en bale</b>	<b>E- Compression en bale</b>
<b>F- Transfert en camion</b> (Chariot élévateur)	<b>G- Transfert en camion</b> (Chariot élévateur)
<b>H- Transport</b>	<b>H- Transport</b>
<b>I- Broyage-lavage-Tri</b>	<b>I- Broyage-lavage-Tri</b>
<b>J- Transport</b>	<b>J- Transport</b>
<b>K- compoundage</b>	<b>K- compoundage</b>
<b>L- Transport</b>	<b>L- Transport</b>
<b>M- Injection</b>	<b>M- Injection</b>

Tableau 12: : scénarios du Cas d'étude 2

➤ **Flux de matières :**

Durant le traitement des pare-chocs, la quantité initiale de matière extrait du VHU en moyenne est 9.5 kg pour le parechocs avant et arrière, cette quantité diminue proportionnellement aux opérations successives dans le centre de déconstruction, broyage et recyclage. Le tableau suivant présente la quantité extrait et traitées dans chaque étape. Tableau 13.

Etape	Quantité initial (Kg)	Quantité final (Kg)	Déchets (Kg)
<b>Extraction de parechocs</b>	9.5	9.5	0
<b>Désassemblage (antibrouillards câble, vis)</b>	9.5	6	3.5
<b>Déchetage</b>	6	5.88	0.22
<b>Broyage/lavage/tri</b>	5.88	4.19	1.69
<b>Compoundage/injection</b>	4.19	-	-

Tableau 13: Les masses des flux de matières et des déchets

➤ **Électricité :**

La consommation électrique effective est calculée pour chaque opération en multipliant le temps de fonctionnement par la puissance de la machine ou l'outil. Dans tous les machines, l'électricité provenant des centrales nucléaires françaises a été choisie. L'électricité utilisée pour le chauffage et l'éclairage des locaux n'ont pas été pris en compte, ils ont été négligés devant l'énergie nécessaire au fonctionnement des engins et des machines de production. Le tableau ci-dessous présente les puissances électriques des outils et machines utilisées dans les scénarios. Tableau 14.

Machine	Puissance électrique
<b>Visseuse électrique</b>	0.07 kWh
<b>Coupeur Hydraulique</b>	0.11 kWh
<b>Démanteleur a grappin</b>	106 kW
<b>Déchetageur</b>	18 kW
<b>Compression a bale</b>	7.5 kW
<b>Broyeur</b>	75 kW
<b>Laveur</b>	70 kW
<b>Machine de tri densimétrique</b>	4.5 kW
<b>Machine de compoundage</b>	35 kW
<b>Moulage par injection</b>	200 kW
<b>Camion avec gru</b>	335 kW
<b>Coupeur électrique</b>	1.1 kW

Tableau 14: Les valeurs des puissances électriques des machines utilisée

➤ **Transports et engins au carburant :**

Pour calculer l'impact des transports des matières intersites et internes (chariot élévateur, les pelles hydrauliques et les chargeurs), les données ont été calculées en tenant en compte de : (i) les quantités à transporter, (ii) les modèles de véhicules, leurs charges utiles et le type de carburant consommé, (iii) et les distances à parcourir, voir le Tableau 15.

Scénario	Transport 1	Transport 2	Transport 3	Transport 4
<b>1</b>	50	492	500	100
<b>2</b>	270	500	100	
<b>3</b>	50	420	500	100
<b>Destructif</b>	127	450	225	
<b>Manuel</b>	127	450	225	

Tableau 15: les distances intersites des camions de livraison en Km

Les données sélectionnées sont :

Le type de carburant : EU-28 Diesel mix at refinery (UE-28 : Mélange de diesel à la raffinerie).

Le type de véhicule : les véhicules ont été sélectionnés en privilégiant les moins polluants selon les normes européennes d'émissions des véhicules. Les véhicules sélectionnés sont donc tous de type Euro 5 avec des capacités de charges utiles variant en fonction du tonnage de matières à transporter.

Le Tableau 16 présente les consommations du carburant des transport et des engins :

Transport	Consommation du diesel
<b>Fuel fork lift</b>	3L/H
<b>Chargeur a godet</b>	13L/h
<b>Démanteleur a pince</b>	13L/h
<b>Camion semi-remorque 90 m3</b>	0.33L/km

Tableau 16: Les consommations du carburant des transport et des engins

➤ **Les déchets et les modes de traitement.**

Les déchets générés par les procédés de démontage sont composés de :

- déchets solides (Figure 24) : les antibrouillards qui sont broyés, une partie des résidus de broyage est valorisée et le reste qui n'est pas exploitable est mis en décharge, les faisceaux de cuivre et les déchets plastique sont valorisés par recyclage.





Figure 24: Les déchets solides après le désassemblage du pare-chocs

- Les émissions gazeuses issues de la consommation de gasoil des camions de livraison intersites, les chariots élévateurs, les pelles hydrauliques et les chargeurs sont modélisés sur Gabi pour déterminer leurs impacts environnementaux.
- Les paramètres de l'eau rejetée à la rivière par les recycleurs et les centres de moulage ont été également modélisés sur Gabi ainsi que les émissions dans l'air.

En outre, les impacts environnementaux liés à la mise en décharge et la valorisation énergétique des déchets solides de la station sont également pris en compte par Gabi. Ces déchets sont assimilés à des déchets industriels standards mis en installation de stockage : « EU-28 : Commercial waste (FR, GB, FI, NO) on landfill ».

Le Tableau 17 présente les différents déchets des procédés et leurs modes de traitement [7].

Procède	Type de déchet	Type de traitement
<b>Démantèlement du parechoc avant et derrière</b>	Antibrouillards (broyés)	Valorisation énergétique 10% Mis en décharge 90%
	Faisceaux en cuivre	Recyclage
<b>Déchiquetage</b>	Poussière et fraction plastique	Valorisation énergétique 10% Mis en décharge 90%
<b>Broyage/Tri/lavage</b>	Poussière et fraction plastique	Valorisation énergétique 10% Mis en décharge 90%
<b>Moulage par injection</b>	Déchets divers	Recyclage

Tableau 17: Déchets des procédés et leurs modes de traitement

## 8.4. Évaluation des impacts environnementaux

Pour évaluer les impacts environnementaux, les méthodes CML 2001 et Environmental footprint ont été utilisées sur GABI. Les deux catégories d'impact sont : l'Effet de serre et la consommation des ressources énergétiques. Rappelons que les résultats qui seront présentés concernent tous les étapes de traitement du pare-chocs (la boucle fermée) : Séparation-Désassemblage- Réduction de volume -Broyage/lavage/tri – compoundage – injection

Pour chacune des deux catégories d'impact, nous présenterons en premier lieu les résultats des 2 cas d'étude avant de rentrer plus en détails sur l'analyse des résultats pour identifier les scénarios et les étapes les plus polluants. Enfin, chaque résultat obtenu sera accompagné d'une interprétation.

### a) Effet de serre

Le changement climatique était le premier élément à prendre en considération qui dépend des émissions agrégées de six Gaz à Effet de Serre : CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub>, exprimé en potentiel de réchauffement global, en effet. On cherche à déterminer le Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) des gaz d'origines anthropiques, c'est-à-dire l'équivalent CO<sub>2</sub>. Les résultats obtenus pour les deux cas d'études (Tab 12 et 13) sont disponibles dans le Tableau 18, Figure 25 et Tableau 19 Figure 26

#### ➤ Etude de cas 1 : Comparaison entre les scénarios d'Indra

Système	Impact effet de serre en Kg CO <sub>2</sub> eq. /tonne		
	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 2
<b>Total</b>	<b>513</b>	<b>599</b>	<b>481</b>
<b>Mis en décharge</b>	299	375	294
<b>Incinération</b>	100	122	96
<b>Transport + Diesel</b>	93	72	67
<b>Compoundage</b>	16	16	16
<b>Electricité</b>	4	12	8

Tableau 18: Résultats " Impact effet de serre" pour le cas 1

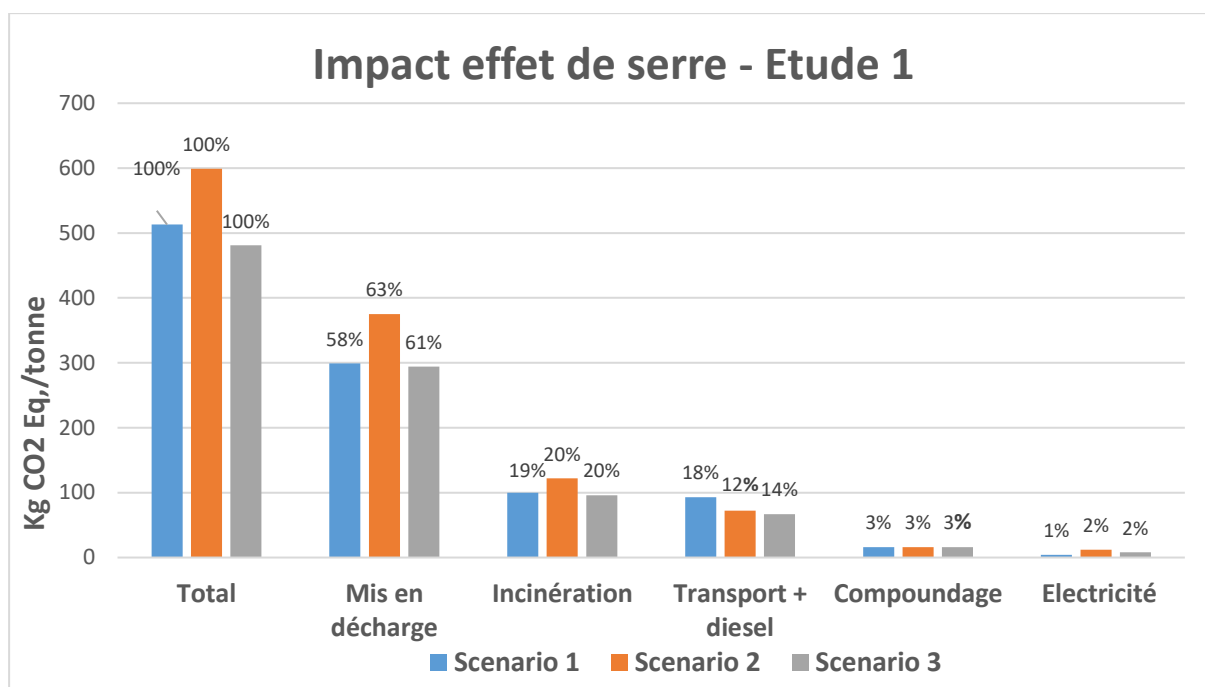


Figure 25: Bilan "Impact effet de serre" pour le cas 1

➤ Etude de cas 2 : Comparaison entre les 2 scénarii destructive et manuelle

Système	Impact effet de serre en Kg CO2 Eq. / Tonne	
	Scénario Destructive	Scénario Manuel
<b>Total</b>	<b>586</b>	<b>551</b>
Mis en décharge	354	354
Incinération	117	117
Transport + Diesel	88	54
Compoundage	16	16
Electricité	12	10

Tableau 19: Résultats "Impact effet de serre" pour le cas 2

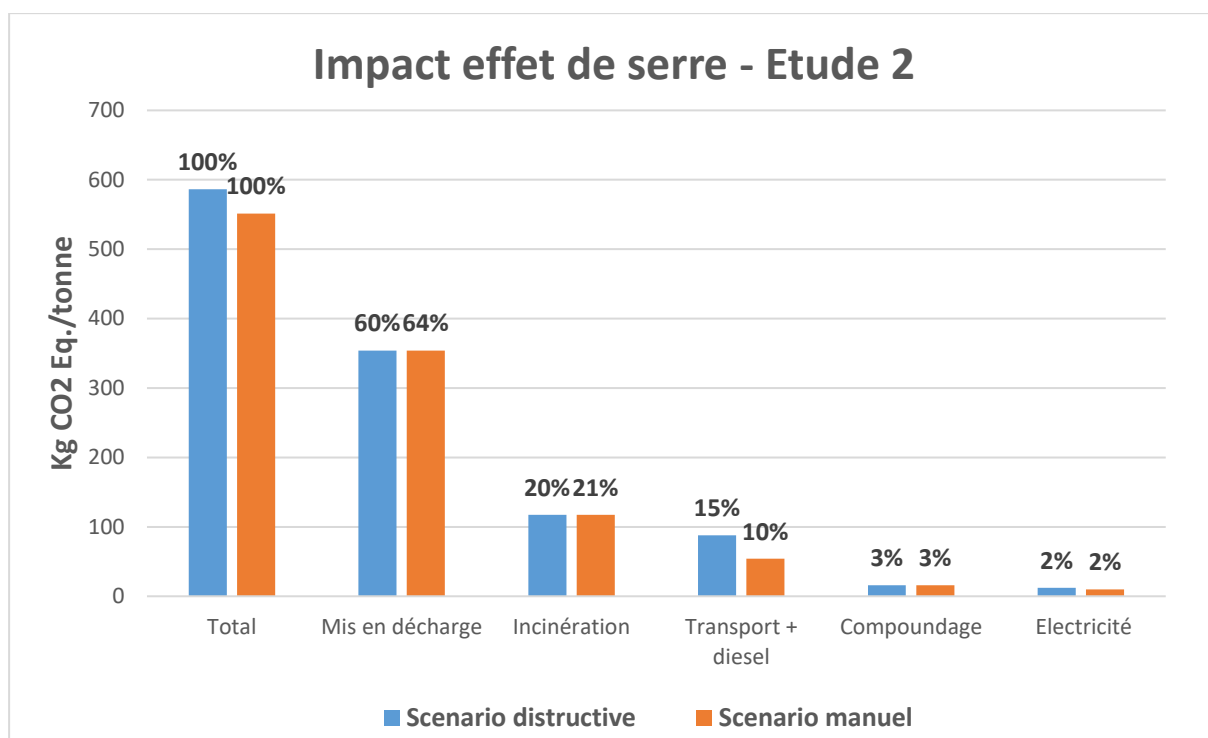


Figure 26: Bilan " Impact effet de serre" pour le cas 2

**Etude de cas 1 :** Les résultats obtenus montrent que la source principale de l'effet de serre est l'enfouissement des déchets pour les trois scénarios (plus de 50 %) à cause de la décomposition de la matière organique qui contient les RBA dans les lieux d'enfouissement. L'incinération des déchets représente la deuxième source de l'effet de serre. En effet malgré le fait qu'elle permet de produire une énergie en partie "renouvelable" afin d'économiser des ressources énergétiques fossiles, la combustion des résidus de broyage peut produire le CO2 fossile qui impacte négativement l'effet de serre.

L'impact des transports est l'un des sources d'émissions de GES, d'ailleurs, la différence observée entre les scénarios concernant les transports est liée à la distance totale parcourue, En outre, le scénario 2 impact majoritairement (600 Kg CO2 Eq/tonne.) à cause des distances parcourues des transport, des émissions des gaz dans l'air (dioxyde de carbone CO2, le méthane CH4, et le protoxyde d'azote N2O), et la quantité des résidus de broyage et de démontage mis en décharge et incinérées. L'optimisation du transport représentera une bonne solution pour réduire les GES en réduisant les distances intersites, ainsi que la valorisation énergétique des résidus de broyage ou bien une valorisation matière par l'utilisation de ces résidus en cimenterie comme combustible de substitution.

**Etude 2 :** Concernant le cas 2, la figure montre que la mise en décharge (60 %), l'incinération (20%) et les transports (15%) engendre des GES assez considérables en raison de la quantité de CO2 émis dans leur fonctionnement. En outre, on trouve que dans le scénario destructif l'impact est légèrement supérieur à cause des engins au carburant tels que les chargeurs à pelle et les machines de séparation qui consomment du diesel contrairement au scénario manuel dans lequel on utilise des outils électriques qui impactent très peu au GES. Ainsi, le démontage manuel est

favorisé afin de réduire les quantités de CO2 émis dans le cycle de vie du parechocs, sans négliger le traitement des RBA dans des conditions favorables tels que la valorisation matière ou énergétique.

### **b) Impact de consommation des ressources [9]**

Les ressources non renouvelables comme le pétrole, nécessaire à la fabrication de la plupart des plastiques vierges, sont amenées à manquer dans le futur. Afin de diminuer la pression sur l'exploitation des ressources naturelles, une alternative serait l'utilisation de matière première secondaire c'est-à-dire de matière recyclée. La régénération de plastique permet de plus de diviser par deux la quantité d'énergie nécessaire par rapport au plastique vierge. L'épuisement des ressources est un des plus grandes préoccupations, car elle est en augmentation et elle a un grand impact sur notre environnement. Les principales conséquences sont, la pollution atmosphérique causant une augmentation de l'effet de serre et des dégâts écologiques liés à leur extraction et à leur utilisation. Dans notre étude, on va chercher à déterminer la quantité d'énergie consommée dans les scénarios étudiés par tonne de parechocs extraits.

Les résultats obtenus pour les deux cas d'études sont présentés dans le Tableau 20, Tableau 21, Figure 27, Figure 28

#### ➤ Etude de cas 1 : Comparaison entre les scénarios d'Indra

Système	Consommation des ressources en Energie MJ/tonne		
	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 2
<b>Total</b>	14269	29737	19506
<b>Electricité</b>	9129	24732	16989
<b>Diesel</b>	4893	4695	2274
<b>Mis en décharge</b>	234	294	230
<b>Incinération</b>	13	15	12

Tableau 20: Résultats " Consommation des ressources" pour le cas 1

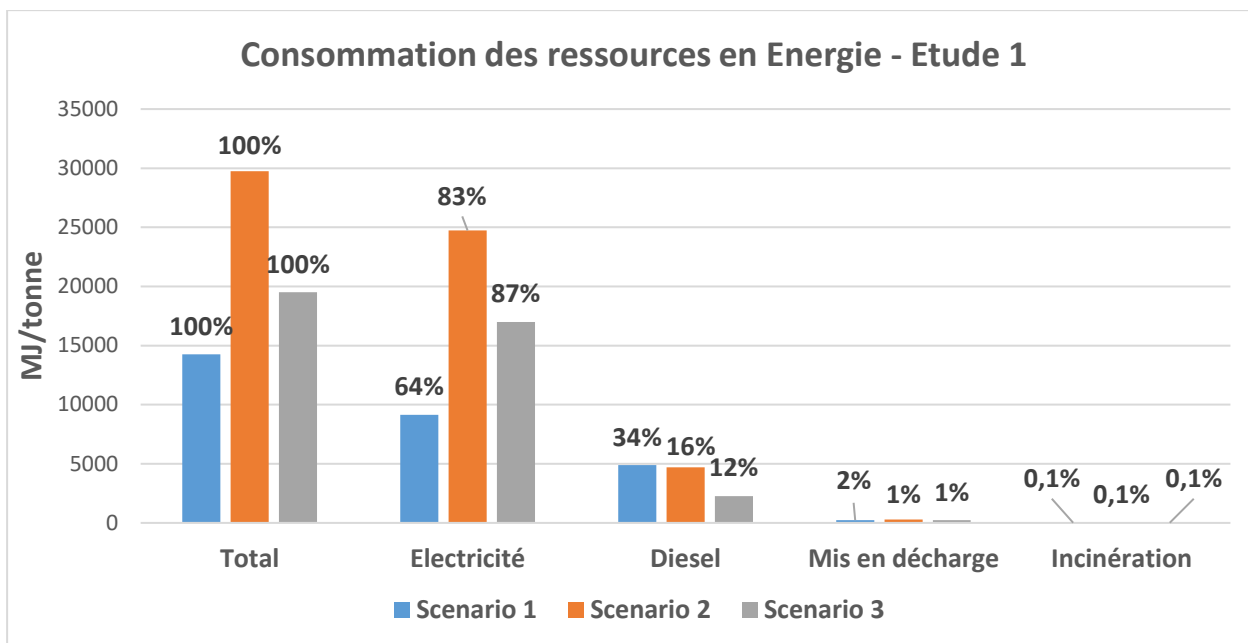


Figure 27: Bilan " Consommation des ressources" pour le cas 1

➤ Etude 2 : Comparaison entre les 2 scénarios destructif et manuel

Système	Consommation des ressources en Energie MJ/tonne	
	Scénario Destructive	Scénario Manuel
<b>Total</b>	<b>32455</b>	<b>24028</b>
<b>Electricité</b>	23984	20775
<b>Diesel</b>	8179	2960
<b>Mis en décharge</b>	277	277
<b>Incineration</b>	15	15

Tableau 21: Résultats " Consommation des ressources" pour le cas 2

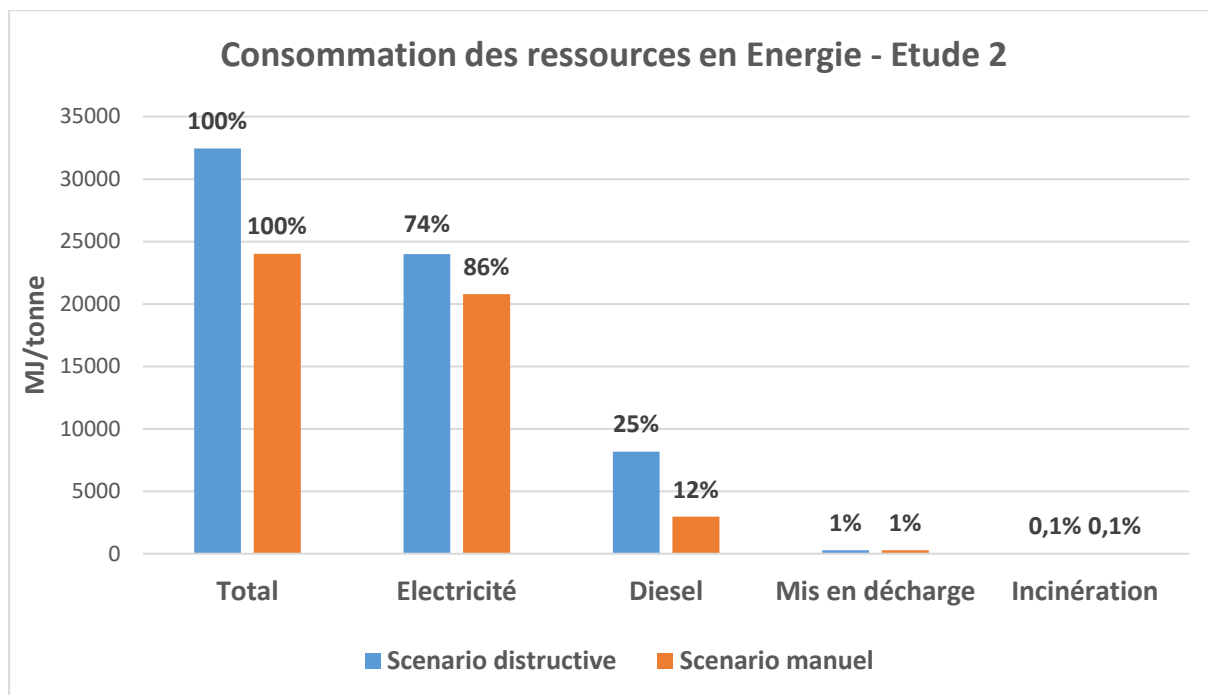


Figure 28: Bilan " Consommation des ressources" pour le cas 2

**Etude 1 :** On constate que l'électricité est la source d'énergie la plus consommée dans les 3 scénarios (entre 60% et 90%) en raison des nombres machines qui nécessitent les procédés de déconstruction, broyage et recyclage. La deuxième source principale de la consommation énergétique est le carburant (entre 12% et 34%) utilisé dans les engins internes et les transports intersites. En conséquence, diminuer la consommation d'électricité et du carburant permettrait de réduire l'impact de l'épuisement des ressources.

Également, le scénario 2 est le plus grand consommateur d'électricité (83%) au regard des moyens utilisés (déchiqueteur, visseuses), en revanche le scénario 1 et 3 est plus avantageux, car ils consomment moins d'électricité. La consommation du diesel pour le scénario 2 est plus grand puisque les éléments retirés vont être transportés sur des sites distants, en conséquence, il est important de minimiser les distances des transports.

**Etude 2 :** Les résultats obtenus montrent que le scénario destructif est légèrement supérieur en termes de consommation d'électricité (74% - 23894 MJ /tonne) et de diesel (25% - 8179MJ/tonne) à cause des machines électriques et les distances parcourues par les transports internes et externes.

De ce fait, le scénario manuel qui utilise des visseuses électriques consomme moins d'énergie, en revanche, le démonteur à grappin consomme plus d'énergie électrique. De ce fait, le scénario manuel est plus avantageux pour l'impact étudié.

## CONCLUSION

Ce projet avait pour objectif l'analyse du cycle de vie des plastiques des VHU de l'enlèvement à la transformation en matière recyclée afin d'évaluer l'impact socio-économique et environnemental. Cinq scénarios de traitement de parechocs ont été comparés dans cette étude dans leur cycle de vie, en fonction de la taille des centre VHU et du type de démontage.

Quant à l'évaluation économique, le scénario avec un démantèlement de type scénario 3 (CVHU petit taille) a été classé comme le meilleur scénario en termes de bénéfice économique. Ce scénario comprend peu d'étapes et cela implique moins de dépenses pour le traitement des parechocs. D'ailleurs, le scénario de démantèlement manuel semble être le meilleur, car il contient moins de dépenses par rapport au scénario de démontage destructif. En revanche, il apparaît que démantèlement manuel implique un risque supérieur comparé au démantèlement par machine. Donc il est crucial d'identifier les mesures correctives à mettre en place afin de limiter les dangers durant les manipulations de démontage.

Les impacts environnementales induits par le cycle de vie des parechocs ont été estimés par le logiciel GABI afin de déterminer les principales sources de pollution (GES) et évaluer les consommations énergétiques et du système. Les résultats ont montré que l'impact d'effet serre est fortement induit par la mise en décharge des déchets issus du traitement des parechocs rejeté lors du broyage et le démantèlement, suivi de l'incinération et le transport comme deuxième source, en outre le scénario destructif produit plus de CO<sub>2</sub> à cause des consommations des engins au carburant et les distances parcourues par les transports. Une optimisation du transport ainsi que limiter la mise en décharge des RBA semble être la meilleure solution pour remédier à cette pollution. Il faut aujourd'hui focaliser les travaux sur la valorisation énergétique des résidus et envisager d'en augmenter les possibilités, limitées aujourd'hui à 10% de la masse d'un VHU et d'éviter qu'une bonne partie de leur fraction organique ne finisse en décharge. Concernant la consommation des ressources, l'Energie électrique semble la cause principale de cet impact dans les 3 scénarios de démontage, ainsi que la consommation du carburant par les machines et les transports. Et sans surprise, le scénario destructif présente une consommation d'énergie en termes d'électricité et de carburant supérieur par rapport au démontage manuel.

Les Résultats des indicateurs correspondants offrent des renseignements riches à l'étude, comme les coûts inhérents à chacun des scénarios et les effets des impacts environnementaux et sociaux. Cependant, il faut mentionner certaines limites de cette étude, comme le manque de données fiables sur la valorisation énergétique des RBA, les coûts de tri, de post broyage et de recyclage. Economiquement, la masse moyenne de plastiques extraits par VHU est relativement faible à l'heure actuelle. Ceci s'explique en autres par l'accès et la complexité des pièces plastiques modernes, l'exigence des recycleurs préparateurs et la faiblesse du coût d'achat des fraction plastique démontés, qui ne favorise pas le démontage pour recyclage par les centres VHU. Leur principale activité. La filière est donc plutôt faible économiquement et très dépendante des prix de marche des matières premières. Cela va conduire, sans nul doute, à moyen et long terme, à développer l'ensemble de ces filières, et inciter les centres VHU à anticiper des éventuelles modifications dans ce domaine.



## BIBLIOGRAPHIE

[1] <https://www.indra.fr/fr/activites-france>

[2] <https://lifecirclev.eu/project.php>

[3] Deloitte Développement Durable, Véronique MONIER, Radia BENHALLAM. ADEME, Eric LECOINTRE. Février 2019. Rapport Annuel de l'Observatoire des Véhicules Hors d'Usage – Données 2017 –

[4] [www.icarre95-programmelife.com](http://www.icarre95-programmelife.com)

[5] [https://www.derichebourg-environnement.com/fr/accueil/nos-solutions/services-aux-entreprises /vehicules-hors-d-usage-vhu](https://www.derichebourg-environnement.com/fr/accueil/nos-solutions/services-aux-entreprises/vehicules-hors-d-usage-vhu)

[6] Alexis Schmid, Pascale Naquin et Rémy Gourdon « Etude expérimentale de l'incidence du niveau de démantèlement sur le taux de valorisation avant broyage des véhicules hors d'usage (VHU) », Déchets sciences et techniques, N°61, 2012, P 94,96

[7] C. DELAVELLE - AJI-EUROPE, Valorisation énergétique des résidus de broyage des véhicules hors d'usage, procédés et analyse technico-économique, rapport final avril 2014

[8] Toni GALLONE, Le polypropylène en boucle courte1, une opportunité pour le secteur automobile, Rapport Renault Environnement

[9] <https://cniid.org/L-incineration-le-changement-climatique-et-l,17>

## Annexes

### Annexe 1 : Le process global du recyclage

Etape	Description
<p>Prise en charge et expertise du véhicule</p> 	<p>Enregistrement réglementaire sur un livre de police et identification (traçabilité par code barre).</p>
<p>Mise en sécurité</p> 	<p>Sécurisation du véhicule pour éviter tout danger durant le démontage. Déclenchement des éléments pyrotechniques du véhicule (airbags ...)</p>
<p>Dépollution</p> 	<p>Réalisation des opérations obligatoires de dépollution (extraction des fluides, batteries, pots catalytiques et filtres à particules).</p>
<p>Déconstruction ciblée</p> 	<p>Démontage et tri des pièces et des matières en vue de leurs destinations finales.</p>
<p>Commercialisation des pièces et matières</p> 	<p>Les pièces d'occasion seront revendues à l'exportation ou sur le marché national (professionnels ou particuliers). Les pneumatiques seront orientés principalement vers la filière de valorisation énergétique ou de valorisation matière. Les autres matières comme les câblages, boîtiers électroniques, plastiques des pare-chocs ... seront commercialisés vers les filières de recyclage.</p>

## Annexe 2 : Tableau d'évaluation des risques « scénario 1 »

Zone	N°	Activity	Subactivity	description	employe	Danger	Mode	Risk type	G	E	R-E.G
ATF	1a	Removal	Non destructive removal	Electric screwdriver	Dismantler	Torsions	N	R1 Risks of tripping, bumping or other disturb	6	4	24
						Trouble de l'audition	N	R11 Risk and nuisances linked to noise	8	4	32
						Lesions	N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24
ATF	1b	Subset transfert	Subset disposal		Dismantler	Coupures	Acc	R6 Risks linked to mechanical handling	6	4	24
						Liquide gras au sol	N	R1 Risks of tripping, bumping or other disturb	6	4	24
ATF	2a	Dismantling	Subset dismantling	Manual screwdriver	Dismantler	Torsions	N	R1 Risks of tripping, bumping or other disturb	6	4	24
						Lesions	N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24
ATF	2b	Subset transfert	S.T in box	Container	Dismantler	Coupures	Acc	R6 Risks linked to mechanical handling	6	4	24
						Liquide gras au sol	N	R1 Risks of tripping, bumping or other disturb	6	4	24
ATF	2c	Subset transfert	S.T in camion	shovel machine	Charger	Blessure graves	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
						Incendie	Acc	R13 Risks of fire, explosion	8	2	16
Transport	3a	Transport	Preshredding	12-16 mm	Charger	Accident de route	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
						Presence de COV	N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24
Collect platform	3a	Storage	S. T in Storage		Charger	Envol poussière	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
						Incendie	Acc	R13 Risks of fire, explosion	8	2	16
Collect platform	4b	Subset transfert	Consumable	Bigbag 30*30 mm	Charger	Blessure graves	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
						Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Collect platform	4c	Subset transfert	S.T in camion	shovel machine	Driver	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
						Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Transport	5	Transport	Shredding	6-8 mm	Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
						Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
shredding center	6a	Volume reduction			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
						Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
shredding center	6b	washing			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
						Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
shredding center	6c	Sorting			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
						Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Transport	7	Transport		Bigbag 30*30 mm	Driver	Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
						Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Componder center	8	Compounding			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
						Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Transport	9	Transport		Dump truck 30 m3	Driver	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
						Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Molding center	10	Molding			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
						Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Total											624

### Annexe 3 : Tableau d'évaluation des risques « scénario 2 »

Zone	N°	Activity	Subactivity	description	employe	Danger	Mode	Risk type	G	E	R-E-G
ATF	1a	Removal	Non destructive removal	Electric screwdriver	Dismantler	Torsions	N	R1 Risks of tripping, bumping or other disturb	6	4	24
ATF						Trouble de l'audition	N	R11 Risks and nuisances linked to noise	8	4	32
ATF						Lesions	N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24
ATF						Coupures	Acc	R6 Risks linked to mechanical handling	6	4	24
ATF	1b	Subset Transfert	Subset deposal		Dismantler	Liquide gras au sol	N	R1 Risks of tripping, bumping or other disturb	6	4	24
ATF	2a	Dismantling	Subset dismantling	Manual screwdriver	Dismantler	Torsions	N	R1 Risks of tripping, bumping or other disturb	6	4	24
ATF						Lesions	N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24
ATF						Coupures	Acc	R6 Risks linked to mechanical handling	6	4	24
ATF	2b	Subset Transfert	S.T in box	Container	Dismantler	Liquide gras au sol	N	R1 Risks of tripping, bumping or other disturb	6	4	24
ATF	2c	Subset Transfert	S. T in VR	Electric forklift	Forklift operator	chute des chariots	Acc	R2 Risks of falls from height	8	4	32
ATF	4a	Volume reduction	Preshredding	12-16 mm	Charger	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
ATF						ctions de produits/m	N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24
ATF	3a	Storage	S. T in Storage		Charger	Envol poussière	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
ATF	4b	Subset Transfert	Consumable	Bigbag 30*30 mm	Charger	Incendie	Acc	R13 Risks of fire, explosion	8	2	16
ATF	4c	Subset Transfert	S.T in camion	shovel machine	Driver	Blessure graves	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Transport	5	Transport		Dump truck 30 m3	Driver	Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
shredding center	6a	Volume reduction	Shredding	6-8 mm	Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
shredding center	6b	washing			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
shredding center	6c	Sorting			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Transport	7	Transport		Dump truck 30 m3	Driver	Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Coumponder center	8	Compounding			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Transport	9	Transport		Dump truck 30 m3	Driver	Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Molding center	10	Molding			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Total					Dismantler						592

## Annexe 4 : Tableau d'évaluation des risques « scénario 3 »

Zone	N°	Activity	Subactivity	description	employe	Danger	Mode	Risk type	G	E	R=E.G
ATF	1a	Removal	Disruptive removal	Apple dismantler platform	Dismantler	de Cov , projection d	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
ATF	1c	Subset Transfert	S.T in camion	hydraulic shovel machin	Charger	Blessure graves	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Transport	2	Subset Transfert		Dump truck 30 m3	Driver	Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Collect platform	3a	Dismantling	Subset dismantling	Manual screwdriver	Dismantler	Torsions	N	R1 Risks of tripping, bumping or other disturb	6	4	24
Lesions						N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24	
Coupures						Acc	R6 Risks linked to mechanical handling	6	4	24	
Collect platform	3b	Subset Transfert	S.T in box	Container	Dismantler	Liquide gras au sol	N	R1 Risks of tripping, bumping or other disturb	6	4	24
Collect platform	4a	Volume reduction	Preshredding	12-16 mm	Charger	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Collect platform						ctions de produits/m	N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24
Collect platform	3a	Storage	S.T in Storage		Charger	Envol poussièrre	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Collect platform	4b	Subset Transfert	Consumable	Bigbag 30*30 mm	Charger	Incendie	Acc	R13 Risks of fire, explosion	8	2	16
Collect platform	4c	Subset Transfert	S.T in camion	hydraulic shovel machin	Charger	Blessure graves	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Transport	5	Transport		Dump truck 30 m3	Driver	Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
shredding center	6a	Volume reduction	Shredding	6-8 mm	Charger	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
shredding center	6b	washing			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
shredding center	6c	Sorting			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Transport	7	Transport		Dump truck 30 m3	Driver	Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Coumpounder center	8	Compounding			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Transport	9	Transport		Dump truck 30 m3	Driver	Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Molding center	10	Molding			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Total											520

## Annexe 5 : Tableau d'évaluation des risques « scénario Destructif »

Zone	N°	Activity	Subactivity	description	employe	Danger	Mode	Risk type	G	E	R=E.G
ATF	1a	Removal	Disruptive removal	Apple dismantler platfd	Dismantler	de Cov , projection d	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
ATF	1b	Subset Transfert	S.T in box	Container	Dismantler	Liquide gras au sol	N	R1. Risks of tripping, bumping or other distur	6	4	24
ATF	1c	Subset Transfert	S. T in Dismantling	fuel forklift	Forklift operator	chute des chariots	Acc	R2. Risks of falls from height	8	4	32
ATF	2a	Dismantling	Subset dismantling	Manual screwdriver	Dismantler	Torsions	N	R1. Risks of tripping, bumping or other distur	6	4	24
ATF	2b	Subset Transfert	S.T in box	Container	Dismantler	Lesions	N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24
ATF	2c	Subset Transfert	S. T in VR	forklift	Forklift operator	Coupages	Acc	R6 Risks linked to mechanical handling	6	4	24
ATF	3	Volume reduction	Cutting	Saber saw	Dismantler	Liquide gras au sol	N	R1. Risks of tripping, bumping or other distur	6	4	24
ATF	3a	Volume reduction	Bale compressor		Charger	chute des chariots	N	R2. Risks of falls from height	8	4	32
ATF	3b	Subset Transfert	Consumable	Palette		Lesions	N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24
ATF	3b	Subset Transfert	S.T in camion	fuel forklift	Forklift operator	ctions de produits/mi	N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24
Transport	4	Transport		Dump truck 30 m3	Driver	chute des chariots	Acc	R2. Risks of falls from height	8	4	32
shredding center	5a	Volume reduction	Shredding	6-8 mm	Charger	Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
shredding center	5b	washing			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
shredding center	5c	Sorting			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Transport	6	Transport		Dump truck 30 m3	Driver	Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Coumponder center	7	Compounding			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Transport	8	Transport		Dump truck 30 m3	Driver	Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Molding center	9	Molding			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Total											480

## Annexe 6 : Tableau d'évaluation des risques « scénario Manuel »

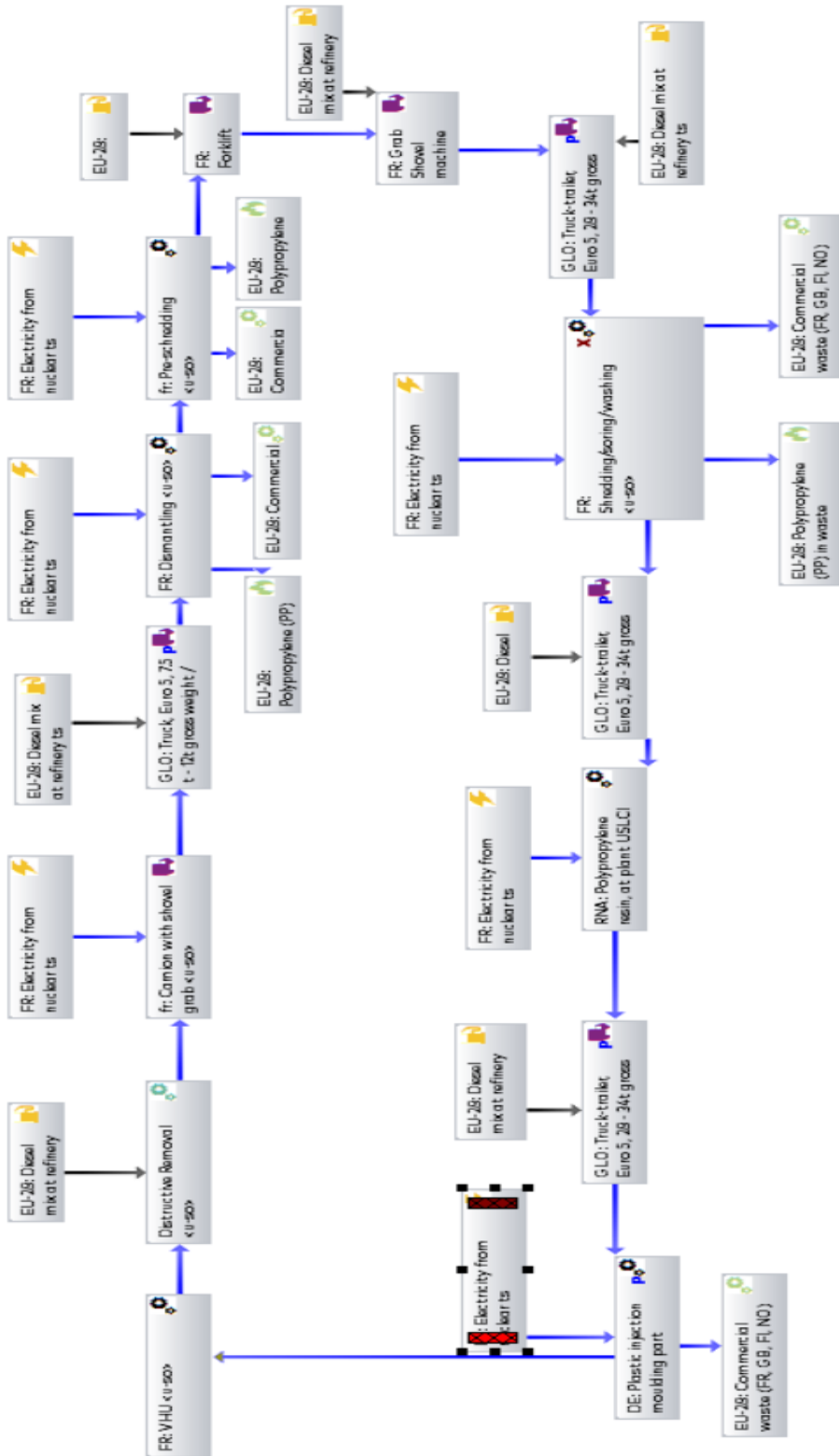
Zone	N°	Activity	Subactivity	description	employe	Danger	Mode	Risk type	G	E	R=E.G
ATF	1a	Removal	Non destructive removal	Electric screwdriver	Dismantler	Torsions	N	R1 Risks of tripping, bumping or other disturb	6	4	24
						Trouble de l'audition	N	R11 Risks and nuisances linked to noise	8	4	32
						Lesions	N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24
ATF	1b	Subset Transfer	Subset disposal		Dismantler	Coupures	Acc	R6 Risks linked to mechanical handling	6	4	24
ATF	2a	Dismantling	Subset dismantling	Manual screwdriver	Dismantler	Liquide gras au sol	N	R1 Risks of tripping, bumping or other disturb	6	4	24
						Torsions	N	R1 Risks of tripping, bumping or other disturb	6	4	24
ATF	2b	Subset Transfer	S.T in box	Container	Dismantler	Coupures	Acc	R6 Risks linked to mechanical handling	6	4	24
ATF	2c	Subset Transfer	S.T in VR	fuel forklift	Forklift operator	Liquide gras au sol	N	R1 Risks of tripping, bumping or other disturb	6	4	24
ATF	3	Volume reduction	Cutting	Saber saw	Dismantler	chute des chariots	N	R2 Risks of falls from height	8	4	32
ATF	3a	Volume reduction	Bale compressor		Charger	Lesions	N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24
ATF	3b	Subset Transfer	Consumable	Palette		ctions de produits/m	N	R9 Risks linked to work equipments	6	4	24
ATF	3b	Subset Transfer	S.T in camion	fuel forklift	Forklift operator	chute des chariots	Acc	R2 Risks of falls from height	8	4	32
Transport	4	Transport		Dump truck 30 m3	Driver	Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
shredding center	5a	Volume reduction	Shredding	6-8 mm	Charger	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
shredding center	5b	washing			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
shredding center	5c	Sorting			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Transport	6	Transport		Dump truck 30 m3	Driver	Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Coumponder center	7	Compounding			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Transport	8	Transport		Dump truck 30 m3	Driver	Accident de route	Acc	R4 Road risk on mission	8	4	32
Molding center	9	Molding			Operator	Presence de COV	N	R7 Risks linked to products, emissions and	6	4	24
Total											552





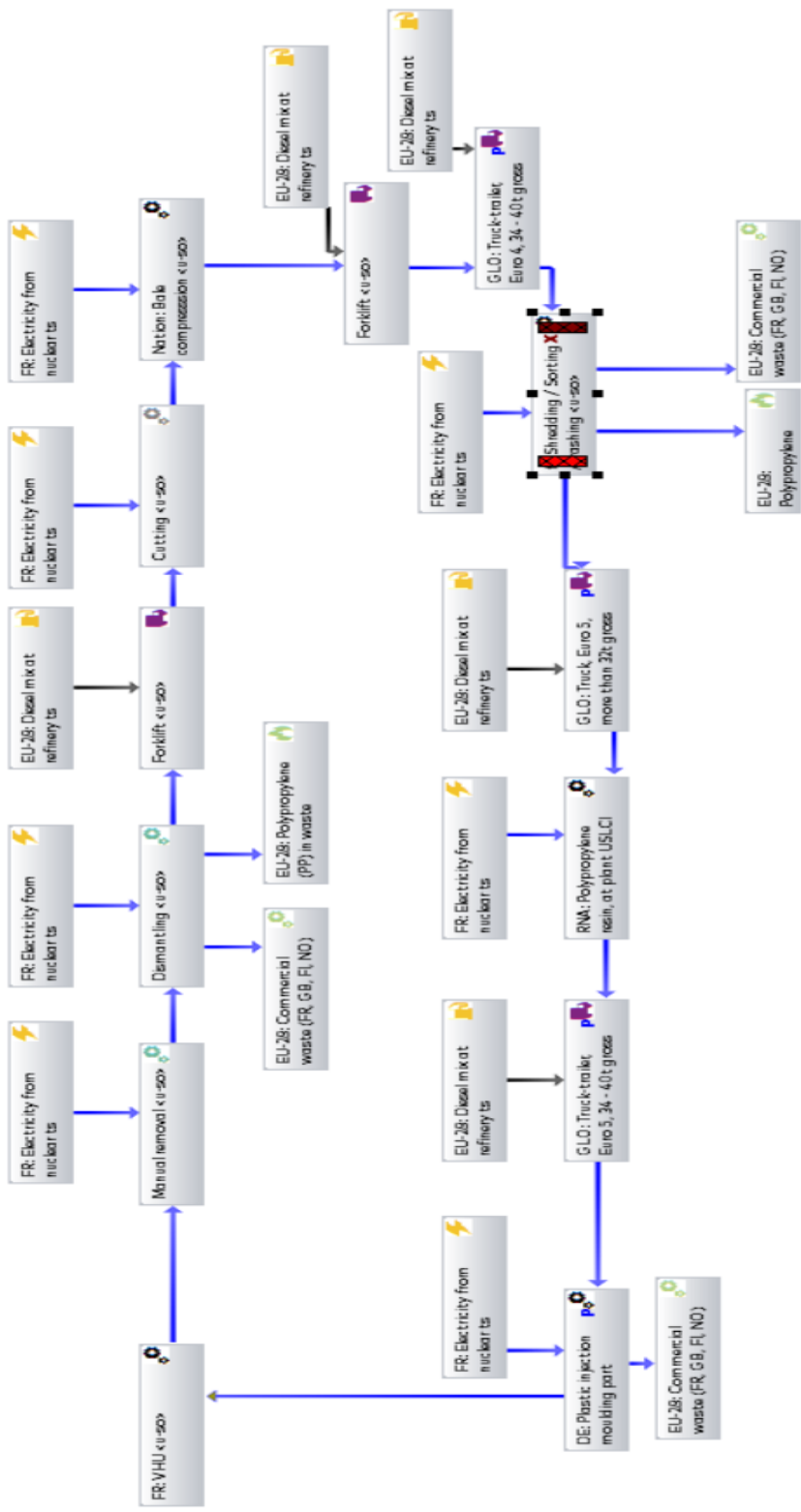


# Annexe 9 : Plan du scénario 3 modélisé sur GABI





# Annexe 11 : Plan du scénario manuel modélisé sur GABI





## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**Diplôme(s) Mastère Spécialisé**

**Spécialité : Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets industriels (GEDE)**

**Auteur :** ZERNOUFI Mohamed

**Année** 2019/2020

**Titre :** Etude de l'impact du recyclage des plastiques sur l'analyse de cycle vie des VHU

**Nombre de pages** 60

**annexes :** 11

**Nombre de références bibliographiques** 9

Structure d'accueil [Indra SAS Re-source Engineering Solutions](#)

551 rue du, Le Patureau de la Grange, 41200 Pruniers-en-Sologne

**Maître de stage :** Nicolas PAQUET

### Résumé

Afin de déterminer les principaux leviers qui permettraient d'améliorer la gestion des plastiques issus des véhicules en fin de vie dans des conditions socio-économiques et environnementales acceptables, différents scénarios de démantèlement des pare-chocs des VHU ont été réalisés et comparés dans des sites de déconstruction des VHU. Deux cas d'étude ont été réalisés afin de comparer différents scénarios de traitement des parechocs au regard des critères techniques et technologiques. Les scénarios différaient les uns des autres dans le mode des opérations de démantèlement (Manuel et Destructif), et dans le type du centre de VHU (petite, moyenne et grande taille).

**Mots-clés** Véhicules hors d'usage (VHU) démantèlement ; Broyage ; recyclage ; valorisation