

Les solutions de déconditionnement des biodéchets emballés et leurs performances

Rapport final d'étude – Mise à jour de
l'étude conduite en Novembre 2016



REMERCIEMENTS

Nous remercions chaleureusement les membres du Comité de pilotage qui ont par leur disponibilité et leurs contributions largement apporté de la richesse à cette étude.

Hélène Berhault (Chambre d'agriculture de la Vienne)
Laureline Bes de Berc (AAMF)
Francis Claudepierre (AAMF)
Thomas Ferenc (ADEME)
Bertrand Guerin (AAMF)
Philippe Meinrad (AAMF)
Jean-Marc Onno (AAMF)
Olivier Theobald (ADEME)
Julien Thual (ADEME)
Marie Tison (ADEME)
François Trubert (AAMF)
Jacques Wiart (ADEME)

Nous remercions également chaleureusement les exploitants qui ont accepté de participer à cette étude et nous ont accueilli sur leur site ainsi que les fabricants qui ont bien voulu répondre à notre enquête.

CITATION DE CE RAPPORT

QSE Consult SARL, EREP SA, Engeli Engineering. 2021. Les solutions de déconditionnement des biodéchets emballés et leurs performances – Rapport final. 49 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 19MAR000095

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : QSE Consult SARL, EREP SA et Engeli Engineering

Coordination technique - ADEME : THUAL Julien

Direction/Service : Direction Economie Circulaire et Déchets/Service Mobilisation et Valorisation des Déchets

SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	5
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUCTION	7
1.1. Contexte général et contexte réglementaire.....	7
1.2. Objet de l'étude	7
1.3. Plan du rapport.....	7
2. PREMIERE PARTIE : PERIMETRE ET METHODOLOGIE	8
2.1. Définitions	8
2.1.1. Equipements de déconditionnement.....	8
2.1.2. Classification des équipements de déconditionnement	8
2.1.3. Equipements hors champ de l'étude	8
2.1.4. Installation de déconditionnement.....	9
2.1.5. Types de biodéchets traités	9
2.2. Réglementation applicable au déconditionnement et aux biodéchets	9
2.2.1. Réglementation liée au mélange de biodéchets.....	9
2.2.2. Réglementation ICPE.....	9
2.2.3. Réglementation sanitaire	10
2.3. Organisation	11
2.3.1. Comité de pilotage	11
2.3.2. Recherche.....	11
2.3.3. Entretiens avec les acteurs de la filière.....	11
2.4. Méthodologie	12
2.4.1. Sélection des équipements	12
2.4.2. Indicateurs de performance utilisés.....	12
2.4.3. Présentation et utilisation des données communiquées par les fabricants	13
2.4.4. Modalités de l'enquête et de la visite de site	13
2.5. Confidentialité	15
2.5.1. Fabricants.....	15
2.5.2. Exploitants.....	15
3. LES EQUIPEMENTS DE DECONDITIONNEMENT	16
3.1. Etat des lieux	16
3.1.1. Les fabricants	16
3.1.2. Liste des 32 fabricants recensés.....	16
3.1.3. Classification des systèmes de déconditionnement	17
3.1.4. Enquête auprès des fournisseurs de systèmes de déconditionnement	18
3.2. Techniques de déconditionnement.....	25
3.2.1. Description des différentes étapes et classification des différentes technologies	25
3.2.2. Nombre d'équipements en activité	26

3.2.3.	Alimentation et préparation du flux à traiter.....	28
3.2.3.1.	Trémie d'alimentation	28
3.2.3.2.	Malaxation et homogénéisation	28
3.2.3.3.	Protection des équipements.....	28
3.2.4.	Broyage	28
3.2.5.	Séparation lors du broyage	29
3.2.6.	Séparation par compression	30
3.2.7.	Comparaison de la taille des mailles du crible de chaque technologie.....	31
3.2.8.	Pilotage des équipements	32
3.2.9.	Convoyeurs et systèmes de pompage.....	32
3.3.	Caractéristiques techniques des équipements de déconditionnement	33
3.3.1.	Acceptabilité du flux entrants	33
4.	INSTALLATIONS DE DECONDITIONNEMENT.....	34
4.1.	Emprise, organisation et différents process-type d'un site de déconditionnement.....	34
4.1.1.	Fonctionnement d'une installation de déconditionnement	34
4.1.2.	Enquête et visites de site	36
4.2.	Coût d'investissement et d'exploitation	44
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	46
	INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES.....	46
	SIGLES ET ACRONYMES	47
	ANNEXE 1 : RESULTATS DETAILLES DE L'ANALYSE D'ECHANTILLONS DE MATIERE ORGANIQUE PRELEVES LORS DES ESSAIS MENES SUR LES CINQ INSTALLATIONS DE DECONDITIONNEMENT	48
	ANNEXE 2 : RESULTATS DETAILLES DE L'ANALYSE D'ECHANTILLONS DE REFUS PRELEVES LORS DES ESSAIS MENES SUR LES CINQ INSTALLATIONS DE DECONDITIONNEMENT	49

RÉSUMÉ

L'objectif de l'étude est d'inventorier, classifier, décrire et comparer les performances des différentes technologies de déconditionnement ainsi que de présenter les installations de déconditionnement. Le but est de contribuer au développement de la filière de valorisation des biodéchets.

Les équipements de déconditionnement étudiés dans le présent rapport doivent pouvoir déconditionner un flux de biodéchets emballés en mélange provenant de la filière Grandes et Moyennes Surfaces (GMS). Sont hors champ de l'étude les équipements déconditionnant des monoflux ou seulement une partie des flux de la grande distribution.

L'étude se base principalement sur une enquête bibliographique, sur l'analyse des entretiens menés avec les acteurs du déconditionnement et la visite de cinq installations de déconditionnement sur lesquelles des essais ont été menés.

L'étude a permis :

- D'inventorier les fabricants et les technologies existantes d'équipements de déconditionnement de biodéchets emballés,
- De mettre en place une méthodologie d'évaluation des performances de ces équipements,
- D'élaborer un outil d'aide à la décision pour le choix d'un équipement de déconditionnement.

Les principaux enseignements des visites de sites et essais menés sur les cinq installations permettent d'établir que :

- les installations de déconditionnement traitent une diversité de biodéchets et pas uniquement des biodéchets emballés issues des GMS et de l'IAA,
- Il apparaît que la qualité du tri en amont du site est prédominante pour obtenir une pulpe organique de qualité,
- Les teneurs en impuretés > 2 mm de la matière organique ne correspondent pas aux performances indiquées par les fabricants sur certains sites, et d'une manière générale, la nature des éléments fins < 2 mm semble devoir être étudiée pour obtenir une confirmation de la performance d'épuration des équipements compte tenu des quantités importantes retrouvées,
- Sans étapes de tri en aval de l'équipement de déconditionnement, les cailloux-calcaire et le verre semblent plutôt se retrouver dans la pulpe et non dans les refus,
- Les quantités de MONS retrouvées dans les refus ne sont pas négligeables.

Avertissement

La confidentialité exigée par les exploitants de sites, en raison d'une concurrence forte sur cette activité nouvelle, nous a conduit à restituer de manière anonyme et parfois peu détaillée les résultats et les enseignements obtenus à l'occasion des enquêtes et visites de sites de déconditionnement. De plus, pour cette raison, aucune photo n'est produite dans ce rapport et les vidéos réalisées lors des visites de sites n'y sont pas restituées en annexe.

ABSTRACT

This study aims to map out, classify, describe and compare performances of the different biowaste depacking technologies and to introduce depacking plants. It aims to contribute to the development of the biowaste valorisation sector.

Depacking equipment studied in this report have to be able to depack a mix of packed biowaste from hypermarkets and supermarkets. Monoflux or equipment treating only a part of the mass retail flow are not in the scope of the study.

This study is based on a review, the analyze of stakeholder interviews and the visit of five depacking plants.

From this study :

- Producers and technologies of existing biowaste depacking equipments have been map out,
- A test program to evaluate the biowaste depacking equipment performances has been developed, tested and validated,
- A decision-making tool for the choice of a biowaste depacking system has been created.

The key lessons from visits and tests conducted on five depacking plants are :

- Depacking plants treat a diversity of biowaste and not only packed biowaste from mass retail and agri-food industry,
- It appears that the sorting quality before plant is prevailing to obtain a good quality organic pulp,
- On some plants, impurities > 2 mm content of organic matter does not correspond to performances stated by equipment producers, and, generally speaking, the nature of fines < 2 mm might need to be analyzed to obtain a confirmation of the purification performance, regarding the large quantities found,
- Without additional sorting step after depacking equipment, limestone, stone and glass seem to be found rather in the pulp than in rejects,
- Non synthetic organic matter quantities found in rejects are not negligible.

Warning

Confidentiality required by depacking plants owner, due to the strong concurrence in this new activity, led us to present the results and key lessons anonymously and sometimes without many details. Moreover, for that reason, no photo and video are presented in this report.

1. Introduction

1.1. Contexte général et contexte réglementaire

Comme le précise la circulaire relative aux modalités d'application de l'obligation de tri à la source des biodéchets¹, ceux-ci peuvent être collectés dans leur emballage. Ils doivent donc passer par une étape de déconditionnement.

Les biodéchets emballés proviennent principalement :

- De la grande distribution alimentaire, des industries agroalimentaires, des grossistes et autres intermédiaires de l'expédition des denrées alimentaires, de certains restaurants collectifs ou commerciaux pour ceux collectés hors service public de gestion des déchets (SPGD) ;
- Des commerces alimentaires, dont ceux des marchés alimentaires, des ménages et de certains restaurants collectifs ou commerciaux, pour ceux pris en charge par le SPGD.

Si le développement des équipements de déconditionnement s'est principalement appliqué aux biodéchets de la grande distribution, la question de l'épuration des impuretés ou des erreurs de tri est une étape essentielle dans le processus de valorisation quelle que soit la provenance des biodéchets. De nombreux sites de déconditionnement utilisent leurs équipements pour traiter des flux provenant de l'ensemble des types d'activités générant des biodéchets, qu'ils contiennent ou non des biodéchets emballés.

Pour autant, comme le rappelle le dossier de consultation de la présente étude :

« Les sites de déconditionnement de biodéchets sont encore trop peu nombreux et le territoire national n'est pas entièrement couvert. De plus, les technologies qu'ils mettent en œuvre, leurs performances en termes d'exploitation et de qualité des produits sortants, et leurs coûts sont mal connus. »

1.2. Objet de l'étude

L'objectif de l'étude est d'inventorier, classifier, décrire et comparer les performances des différentes technologies de déconditionnement ainsi que de présenter les installations de déconditionnement. Le but de l'étude est de contribuer au développement de la filière de valorisation des biodéchets.

Elle se base principalement sur une enquête bibliographique, sur l'analyse des entretiens menés avec les acteurs du déconditionnement et la visite de cinq installations de déconditionnement sur lesquelles des essais ont été menés.

1.3. Plan du rapport

Ce rapport est composé de quatre parties :

- La première partie introduit le contexte et l'objet de l'étude ;
- La deuxième partie présente le périmètre de l'étude, la réglementation applicable au déconditionnement de biodéchets emballés, l'organisation des recherches et la méthodologie ainsi que les règles de confidentialité appliquées pour la collecte et l'affichage des données ;
- La troisième partie présente un état des lieux du marché des équipements de déconditionnement ainsi que les différentes technologies de déconditionnement et leurs performances techniques ;
- La quatrième partie décrit le fonctionnement d'une installation de déconditionnement générique ainsi qu'une estimation des coûts de gestion d'une installation.

¹ Extrait de la circulaire du 10 janvier 2012 relative aux modalités d'application de l'obligation de tri à la source des biodéchets par les gros producteurs (article L 541-21-1 du code de l'environnement) :

« Collecte des biodéchets dans leur contenant

Ce cas peut se présenter fréquemment pour les commerces alimentaires, les industries agroalimentaires, les grossistes et les entrepôts dont une part notable du flux de biodéchets est constituée de denrées non vendables emballées. Le déconditionnement sur place de celles-ci poserait de lourdes difficultés technico-économiques et réglementaires. La collecte peut donc porter sur les denrées emballées, qui seront orientées sur une installation assurant leur déconditionnement : ce qui importe est que la partie organique de ce flux de déchets soit in fine effectivement valorisée. »

2. Première partie : Périmètre et méthodologie

La première partie du rapport est consacrée à la présentation du périmètre et des modalités dans lesquelles l'étude s'est déroulée.

Le premier chapitre s'attache à la délimitation du périmètre de l'étude. Les trois chapitres suivants exposent les moyens mis en œuvre pour atteindre les objectifs de l'étude, les modalités d'échange avec les acteurs du champ de l'équipement de déconditionnement et la description de la méthodologie appliquée.

2.1. Définitions

Il n'existe pas de définition réglementaire ou technique précise et reconnue d'un équipement de déconditionnement. Elle varie en fonction du type de biodéchets traités et donc de l'objectif recherché allant de l'épuration des erreurs de tri d'un flux de biodéchets au déconditionnement de flux spécifiques et homogènes de biodéchets emballés.

La première action a été de poser une définition des équipements de déconditionnement propre à la présente étude.

2.1.1. Equipements de déconditionnement

On entend par équipement de déconditionnement toute machine permettant de traiter un flux de biodéchets emballés pour séparer le contenu organique des contenants en l'épurant autant que possible de toutes matières non fermentescibles. Cet équipement s'intègre dans une ligne de déconditionnement commençant par un système d'alimentation (souvent une trémie qui peut être proposée sous diverses formes) jusqu'au système d'évacuation des différents flux finaux. La ligne peut comporter plusieurs étapes de préparation avant le déconditionnement et l'affinage des flux sortants de celui-ci.

Ces lignes ne sont pas obligatoirement vouées à traiter uniquement des flux emballés. L'objectif peut être l'épuration de tout type de flux de biodéchets.

Il est à noter que la réglementation encadrant la gestion des sous-produits animaux de catégorie 3 impose pour leur hygiénisation une taille maximale de 12 mm des particules des biodéchets avant leur entrée dans l'unité de méthanisation ou de compostage. Les équipements de déconditionnement permettent de satisfaire à cette exigence en réduisant la matière organique séparée sous forme de pulpe.

2.1.2. Classification des équipements de déconditionnement

Toutes les lignes de déconditionnement intègrent un système s'apparentant à un broyage comme première étape (dans ce cas, il peut être considéré comme une préparation) ou comme unique étape. La séparation est systématiquement effectuée par l'intermédiaire d'un crible dans lequel la matière organique passe et qui retient les indésirables. Les équipements de déconditionnement recensés ont été classifiés en fonction de la technique de séparation utilisée (voir chapitre 3 détaillant les différents types d'équipement). Trois techniques pour séparer la matière organique de ses emballages indésirables ont été définies, selon que la séparation a lieu :

- Lors du broyage, la technologie de séparation est alors appelée « broyeur séparateur » dans la présente étude ;
- Après broyage, dans un équipement de « compression » (presse à vis, presse à piston, rouleau compresseur) ;
- Dans un pulpeur, après broyage ou non, l'équipement ayant une action « hydromécanique ».

2.1.3. Equipements hors champ de l'étude

Quatre types d'équipement ont été considérés comme ne répondant pas à la définition de la présente étude :

- Comme cela est indiqué précédemment, les équipements de déconditionnement des monoflux homogènes de biodéchets (par exemple : équipement de déconditionnement des briques de lait) ainsi que les équipements traitant uniquement des biodéchets emballés contenant de la matière organique « liquide » ou « pâteuse » sont hors champ de l'étude (par exemple : déconditionnement des yaourts ou des compotes) ;
- Les ouvreurs de sacs ou machines de déconditionnement du pain emballé ;
- Les technologies utilisées sur des installations de compostage pour traiter les erreurs de tri des collectes sélectives de biodéchets des ménages et assimilés ;
- Les équipements d'épuration des impuretés après méthanisation ;
- Ainsi que les installations de type Traitement Mécanobiologique.

De plus, il existe sur le marché des mini-équipements de déconditionnement classifiés dans la catégorie « broyeur séparateur ». Leur capacité de traitement réduite est adaptée pour une installation dans le local poubelle des établissements dont l'activité génère des biodéchets. Ces équipements, bien que destinés au déconditionnement n'entrent pas dans le champ de l'étude.

2.1.4. Installation de déconditionnement

On entend par installation de déconditionnement le site accueillant la ligne de déconditionnement. Ces installations regroupent les éléments allant de la pesée en entrée jusqu'au système de stockage des flux, notamment :

- Une aire d'accueil et de pesée ;
- Une aire de réception ;
- Les moyens de chargement, les trémies d'alimentation ;
- Une ligne de déconditionnement ;
- Les équipements de convoyage et de pompage ;
- Des équipements de stockage des différents flux sortants ;
- Des équipements de lavage.

Elle peut faire partie d'une installation plus globale comprenant plusieurs activités (notamment la méthanisation, le compostage ou le regroupement, transfert et tri d'autres déchets).

2.1.5. Types de biodéchets traités

Les équipements de déconditionnement étudiés dans le présent rapport doivent pouvoir déconditionner un flux de biodéchets emballés en mélange provenant de la filière Grandes et Moyennes surfaces (GMS). Sont hors champ de l'étude les équipements déconditionnant des monoflux ou seulement une partie des flux de la grande distribution.

Pour rappel le terme « biodéchets » est défini dans l'[article R.541-8 du code de l'environnement](#).

2.2. Réglementation applicable au déconditionnement et aux biodéchets

2.2.1. Réglementation liée au mélange de biodéchets

Depuis le 1er janvier 2016, tous les professionnels produisant ou détenant plus de 10 t/an de biodéchets ont l'obligation de trier ces biodéchets et de les faire valoriser dans des filières adaptées, conformément à l'article L. 541-21-1 du code de l'environnement.

D'ici 2025, il est prévu la généralisation du tri à la source pour tous les producteurs de biodéchets en France, que ce soit les entreprises ou les particuliers.

Dans ce cadre, les biodéchets peuvent être conditionnés ou non. Le déconditionnement des biodéchets se pose notamment pour les professionnels du commerce alimentaire ou de l'industrie agro-alimentaire. Le déconditionnement peut être réalisé en interne ou confié à un prestataire externe, l'important étant que les biodéchets soient valorisés.

Conformément à l'article D543-226-1 du code de l'environnement, il est interdit de mélanger des biodéchets triés par leur producteur ou détenteur avec d'autres déchets n'ayant pas fait l'objet d'un même tri.

De ce fait, il est interdit de mélanger des biodéchets triés à la source avec un flux non trié. Par conséquent, il est interdit de mélanger des biodéchets triés à la source avec les flux gérés par les TMB (tri mécano-biologique) :

- Avant le TMB, lors de la collecte ou de leur gestion,
- En entrée de TMB,
- Au cours de process de tri,
- En fin de process de tri, avant, pendant ou après les processus de traitement (compostage, méthanisation, compostage des digestats) de la FFOM (Fraction Fermentescibles des Ordures Ménagères).

D'autre part, une installation de TMB ne peut être utilisée pour déconditionner des biodéchets. Les biodéchets doivent être déconditionnés dans des déconditionneurs prévus à cet effet et traitant uniquement des biodéchets triés à la source.

2.2.2. Réglementation ICPE

Le déconditionnement de biodéchets est concerné par la rubrique 2791 de la nomenclature des ICPE intitulée « Installation de traitement de déchets non dangereux à l'exclusion des installations visées par les rubriques 2515, 2711, 2713, 2714, 2716, 2720, 2760, 2771, 2780, 2781, 2782, 2794, 2795 et 2971 ».

Tableau 1 : Rubrique 2791 « Installation de traitement de déchets non dangereux à l'exclusion des installations visées par les rubriques 2515, 2711, 2713, 2714, 2716, 2720, 2760, 2771, 2780, 2781, 2782, 2794, 2795 et 2971 »

Seuil de classement	Régime	Rayon d'affichage (km)
La quantité de déchets traités étant :		
1. Supérieure ou égale à 10 t/j	A	2
2. Inférieure à 10 t/j	DC	

A ce jour, il n'y a pas d'arrêté ministériel relatif aux prescriptions générales applicables aux installations soumises à autorisation sous cette rubrique. Seul un arrêté ministériel relatif aux prescriptions générales applicables aux installations soumises à déclaration existe. Il s'agit de l'arrêté du 23/11/11 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique 2791 (installation de traitement de déchets non dangereux à l'exclusion des installations visées aux rubriques 2720, 2760, 2771, 2780, 2781 et 2782).

Dans le cas du régime de la déclaration, avant la mise en service du site, l'exploitant devra effectuer une déclaration en ligne ou par courrier, qui sera transmise en préfecture. Une preuve de dépôt est alors délivrée. L'inspection des ICPE peut réaliser des contrôles, notamment suite à des nuisances, des incidents et des plaintes.

Dans le cas où l'installation relève du régime de l'autorisation, l'exploitant doit faire une demande d'autorisation avant toute mise en service, démontrant l'acceptabilité du risque : études d'impact et de dangers. Après une enquête publique, le préfet peut autoriser ou refuser le fonctionnement. L'exploitant est tenu de respecter les mesures spécifiées dans l'arrêté préfectoral d'autorisation.

2.2.3. Réglementation sanitaire

Au sens du règlement (CE) n° 1069/2009, les biodéchets provenant des GMS sont des sous-produits animaux de catégorie 3 (10 f), c'est-à-dire « les produits d'origine animale ou les aliments contenant de tels produits, qui ne sont plus destinés à la consommation humaine pour des raisons commerciales ou en raison de défauts de fabrication ou d'emballage ou d'autres défauts n'entraînant aucun risque pour la santé humaine ou animale ». D'autre part, le déconditionnement est une activité de tri.

De ce fait, conformément au règlement (CE) n° 1069/2009, une installation de déconditionnement de biodéchets doit être agréée par la DD(CS)PP au titre de l'article 24 point 1) alinéa h) intitulé « Manipulation de sous-produits animaux après la collecte, sous la forme d'opérations telles que le tri, la découpe, la réfrigération, la congélation, le salage ou l'enlèvement des peaux et des cuirs ou de matériels à risque spécifiés ».

L'exploitant doit disposer d'un agrément sanitaire délivré par la DD(CS)PP. Pour cela, une demande d'agrément accompagnée d'un dossier doit être déposée. Un modèle de la demande ainsi que les pièces devant composer le dossier sont présentés en Annexes I et II de l'arrêté du 8 décembre 2011. L'agrément est accordé aux établissements dont le dossier est complet, jugé recevable et pour lesquels la conformité aux conditions sanitaires des installations, équipements et du fonctionnement fixée par la réglementation a été constatée sur site.

Les exigences relatives à cette activité sont définies au chapitre II de l'annexe IX du règlement (UE) n° 142/2011 et aux articles 21, 24, 28 et 29 du règlement (CE) n° 1069/2009.

Les principales exigences sont :

- Des autocontrôles doivent être mis en place, appliqués et maintenus afin de surveiller le respect du règlement (CE) n° 1069/2009.
- Une ou plusieurs procédures écrites basées sur la méthode HACCP doivent être mises en place appliquées et maintenues. Ces procédures sont tenues à jour et revues en cas de modification d'un produit, d'un équipement, etc.
- L'aménagement du site doit garantir la séparation totale entre les différentes catégories de sous-produits animaux, de la réception à l'expédition des matières.
- Une aire couverte pour la réception et l'expédition des SPAn doit être présente sauf si ceux-ci sont déchargés au moyen d'équipements empêchant la propagation de risques pour la santé publique et animale (ex : tubes fermés, etc.)
- L'établissement doit être facilement nettoyable et désinfectable. Les sols doivent permettre de faciliter l'écoulement des liquides.
- Des installations appropriées doivent être mises à disposition du personnel (toilettes, vestiaires, lavabos).
- Un plan de lutte contre les nuisibles (insectes, rongeurs, oiseaux) doit être mis en place.
- Si nécessaire, les usines doivent disposer d'entreposage à température contrôlée avec surveillance et enregistrement de ces températures.
- Des installations adéquates doivent être présentes pour nettoyer et désinfecter les conteneurs, récipients et véhicules (y compris les roues) ayant été en contact avec les SPAn.

2.3. Organisation

2.3.1. Comité de pilotage

L'étude a été menée sous la conduite d'un comité de pilotage constitué par l'ADEME. Il est composé de l'ADEME, de l'Association des Agriculteurs Méthaniseurs de France (AAMF) et de la Chambre d'Agriculture de la Vienne.

Le rôle du comité de pilotage a notamment été de valider le choix des équipements de déconditionnement étudiés, ainsi que de contribuer à construire les outils nécessaires à l'étude : questionnaires à l'attention des fabricants et des exploitants, protocoles des essais réalisés pendant les visites de sites, modalités de présentations des résultats et règles de confidentialité.

2.3.2. Recherche

Pour inventorier les différents fabricants d'équipement de déconditionnement, plusieurs types de recherches ont été menés :

- **Recherche bibliographique**

Des recherches sur Internet à l'aide de mots-clés en anglais, en français et en allemand ont permis d'identifier et répertorier un maximum de technologies. Les listes des exposants des derniers salons Pollutec et Biogaz Europe ont été étudiées, de même que des listes de fabricants fournissant des équipements pour les installations de méthanisation ou de compostage.

- **Analyse des études de référence**

Les équipements des fabricants listés dans l'ensemble des études de référence recensées ont été étudiés.

- **Enseignements des questionnaires**

Lors de la passation du questionnaire, une question ouverte sur les principaux concurrents identifiés par les fabricants de déconditionnement a été systématiquement posée.

- **Recensement des installations**

Un recensement des installations de déconditionnement a été effectué permettant de confirmer le type d'équipement installé sur une majorité de sites en France.

- **Recherche sur les coûts d'investissement et d'exploitation**

En plus des entretiens avec les fabricants, les recherches menées sur ce thème ont inclus l'analyse des dossiers de demande de subvention reçus par l'ADEME.

Ces recherches ont abouti à trois types de résultats :

- Une liste de fabricants ;
- Une liste des installations de déconditionnement ;
- Le recensement des études de référence.

2.3.3. Entretiens avec les acteurs de la filière

Afin de recueillir les informations nécessaires à la qualification de la filière, des entretiens téléphoniques ont été réalisés avec les acteurs de la filière :

- Auprès de l'ensemble des fabricants recensés, dont certains ont finalement été considérés comme hors champ de l'étude ;
- Auprès des gestionnaires de sites afin de parfaire l'étude des installations en activité.

Ces entretiens ont été enrichis par les échanges au sein du comité de pilotage.

2.3.3.1. Fabricants d'équipement de déconditionnement

L'étude des équipements de déconditionnement s'appuie sur des entretiens réalisés avec les fabricants ou leurs représentants en France. Des entretiens téléphoniques ont été préférés, plutôt que des rencontres en face-à-face. En effet, seule cette approche permet de garantir une égalité de traitement de nos interlocuteurs, qu'ils soient présents sur le territoire français ou pas.

Chaque fois que cela a été possible, les échanges directs avec le fabricant ont été privilégiés, parfois représenté par sa filiale française. Quand cela n'a pas été réalisable, les revendeurs ayant l'exclusivité en France ont été sollicités.

Un questionnaire a été construit afin d'assurer l'homogénéité des réponses. Ce questionnaire contient des éléments précis sur :

- La présentation de l'entreprise, ses références ;
- Le circuit de distribution en France ;
- La maturité de l'équipement ;
- La description de l'équipement ;
- La typologie des déchets acceptés ;
- Les caractéristiques techniques ;
- Le fonctionnement en mode dégradé et utilisation quotidienne ;
- Les coûts ;
- La documentation disponible.

Le questionnaire a également été traduit en anglais pour répondre aux demandes de certains interlocuteurs.

2.3.3.2. Enquête et visites de sites

Cinq installations ont été sélectionnées par l'ADEME pour faire l'objet de visites. L'objectif était de décrire précisément les types d'installations de déconditionnement existants à travers les visites de ces sites. A cette occasion, des essais ont été menés aboutissant à des prélèvements de pulpe organique et de refus afin de les faire analyser par un laboratoire spécialisé.

L'objectif des visites de sites était double :

- Présenter et décrire le fonctionnement des installations de déconditionnement ;
- Apporter des éléments sur la performance des équipements de déconditionnement.

Cette partie de l'étude a été lancée lors de la deuxième réunion du comité de pilotage, le 25 août 2020, qui a permis la validation de la méthodologie d'échantillonnage et du protocole d'intervention sur site et le questionnaire à soumettre aux exploitants. Les visites se sont déroulées entre le 14 septembre et le 13 novembre 2020. Les rapports d'analyse du laboratoire ont été réceptionnés entre le 2 novembre et le 2020. *A ce jour, les rapports d'analyse définitifs pour le site 5 n'ont pas été réceptionnés. Les résultats présentés pour ce site sont les données brut fournies par le laboratoire, exceptées les données du PCI et du chlore qui n'ont pas encore été réceptionnées.*

Un rapport d'étude spécifique complète ce présent rapport, il comprend notamment :

- Le protocole d'intervention,
- L'analyse des réponses aux questionnaires sur le fonctionnement de l'installation soumis à chaque exploitant,
- Le détail des essais et des résultats des analyses physico-chimiques des échantillons prélevés lors des essais ;
- Des photos chaque installation visitée.

2.4. Méthodologie

2.4.1. Sélection des équipements

Parmi la liste des fabricants recensés, douze ont été sélectionnés. Leurs équipements sont présentés sous la forme d'une fiche de synthèse détaillée. De plus, l'analyse des données collectées a permis de produire des comparaisons sur les différents indicateurs de performance des technologies.

Pour permettre la sélection des équipements, des critères ont été définis en accord avec le comité de pilotage :

- 1er critère - Présence sur le marché français
 - Au moins un équipement est implanté en France ;
 - Ou il y a un projet d'installation sur un site ;
 - Ou un revendeur est présent en France.
- 2ème critère - Élimination des équipements présents uniquement sur le marché américain
- 3ème critère - Maturité de l'équipement
 - Élimination des équipements en cours de développement ;
 - Élimination des équipements qui ont été commercialisés puis retirés du marché ;
 - Prise en considération du nombre d'équipements installés en Europe et dans le monde.

Un 4ème critère s'est imposé : les fabricants n'ayant pas donné de réponse, malgré les nombreuses relances quant à la passation du questionnaire dans les délais impartis par l'étude (après plusieurs mois d'attente) ont dû être éliminés.

2.4.2. Indicateurs de performance utilisés

La performance des équipements de déconditionnement est évaluée en fonction du taux de captation et d'épuration, qui sont respectivement le rapport entre :

- Les quantités de matière organique séparée et de matière organique du flux entrant ;

- Les quantités de refus séparés et de refus du flux entrant.

Pour calculer ces deux taux, il est nécessaire de connaître la caractérisation précise du flux entrant. La caractérisation de ce flux étant complexe, ces deux taux sont évalués sur les flux sortants. Les indications et garanties apportées par les fabricants sont généralement exprimées suivant :

- Le taux de matière organique dans le flux sortant de refus ;
- Le taux d'impuretés de la matière organique séparée.

Lors des essais menés sur quatre installations de déconditionnement, des analyses ont été réalisées uniquement sur les flux sortants. Les taux de captation et d'épuration présentés ont donc été estimés en reconstituant le flux entrant.

- **Éléments pour calculer le taux de captation :**

Quantité de matière organique du flux entrant : somme du poids de la matière organique séparée et des refus prélevés, multiplié par le taux de matière organique dans les refus.

Quantité de matière organique séparée : pesée du lot de l'essai.

- **Éléments pour calculer le taux d'épuration :**

Quantité de refus du flux entrant : somme du poids des refus et du poids de la matière organique séparée prélevée multiplié par le taux de refus dans la matière organique séparée.

Quantité de refus séparés : pesée d'un lot représentant une activité plus ou moins longue.

Ces indicateurs peuvent être communiqués sur matière sèche ou brute. Il est systématiquement précisé dans le présent rapport si les taux présentés sont calculés sur matière sèche ou brute.

2.4.3. Présentation et utilisation des données communiquées par les fabricants

L'enquête menée auprès des fabricants a permis de renseigner une base de données consolidant les informations détaillées relatives à chaque entreprise et au produit qu'elle propose. Cette base de données permet :

- De comparer les caractéristiques de chaque équipement ;
- D'établir des classifications ;
- De remplir une fiche de synthèse pour chaque équipement.

Dans la suite de l'étude, les équipements de déconditionnement seront comparés suivant leur classification, et non nominativement. Les caractéristiques de chaque équipement sont présentées dans les « fiches de synthèse » (Annexe n° 2). Les fiches de synthèse ont été relues par chaque fabricant pour valider les données présentées.

2.4.4. Modalités de l'enquête et de la visite de site

2.4.4.1. Préparation et organisation des visites

Un entretien a eu lieu pour préparer les visites ayant pour principal objectif de déterminer la date la plus adéquate. En effet, il était impératif que l'équipement de déconditionnement soit en fonctionnement le jour de la visite, surtout pour les sites où la pulpe n'est pas stockée avant intégration dans le process de méthanisation.

Le mode d'échantillonnage retenu est conforme à la norme européenne relative à l'échantillonnage des déchets (NF EN 14899).

Lors des visites, deux intervenants étaient présents. Le temps de présence sur site n'a pas excédé 4 heures conformément au protocole établi. Les questionnaires ont été remplis, dans la mesure du possible, lors d'un entretien avec l'exploitant pendant les visites. Certaines informations ont été transmises par mail ou par téléphone en aval des visites, car les données n'étaient pas connues par l'exploitant lors de la visite.

2.4.4.2. Choix de l'approche d'échantillonnage

Plusieurs contraintes influent sur l'approche d'échantillonnage :

- L'unicité de l'essai et le temps qui lui est consacré ;
- La limitation du nombre d'échantillons à prélever ;
- La nécessité de reconstituer la composition du flux entrant à partir des flux sortants de l'équipement ;
- La configuration des sites et les possibilités d'effectuer des prélèvements successifs.

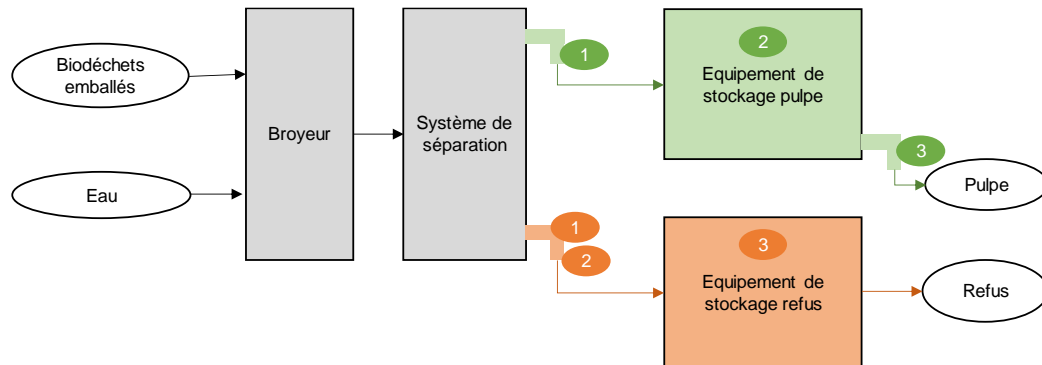
Trois situations ont été envisagées pour les prélèvements de pulpe issue d'un équipement de déconditionnement, selon les possibilités offertes sur chaque site (Figure 1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) :

- **Cas 1** : l'écoulement des flux sortants peut être détourné pour effectuer des prélèvements simultanés ;
- **Cas 2** : le prélèvement de la pulpe doit être effectué dans l'élément de stockage en fosse ouverte ;

- **Cas 3** : le prélèvement de la pulpe doit être effectué dans l'élément de stockage équipé d'une vanne de prélèvement.

Trois situations ont été envisagées pour les prélèvements de refus issu d'un équipement de déconditionnement, selon les possibilités offertes sur chaque site (Figure 1) :

- **Cas 1** : Prélèvement au niveau du flux de sortie (flux de faibles largeur et profondeur ou de grandes largeur et profondeur)
- **Cas 2** : Prélèvement au niveau du flux de sortie (Flux de refus de grande largeur et de faible profondeur)
- **Cas 3** : Prélèvement au niveau du stockage



Légende :

- | | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | Cas 1 : Prélèvement de la pulpe au niveau de l'écoulement des flux sortants | 1 | Cas 1 : Prélèvement des refus au niveau du flux de sortie (flux de faibles largeur et profondeur ou de grandes largeur et profondeur) |
| 2 | Cas 2 : Prélèvement de la pulpe effectué dans l'élément de stockage en fosse ouverte | 2 | Cas 2 : Prélèvement des refus au niveau du flux de sortie (Flux de refus de grande largeur et de faible profondeur) |
| 3 | Cas 3 : Prélèvement de la pulpe effectué dans l'élément de stockage équipé d'une vanne de prélèvement | 3 | Cas 3 : Prélèvement des refus au niveau du stockage |

Figure 1 : Schéma des points de prélèvements possibles des refus et de la pulpe

2.4.4.3. Réalisation des analyses physico-chimiques

Les échantillons prélevés en vue d'une analyse physico-chimique sont transmis au laboratoire d'analyses. Ce dernier prend en charge les analyses physico-chimiques des échantillons prélevés et l'établissement des rapports d'analyses. Il participe également à l'interprétation des résultats et à leur présentation dans le rapport final de l'étude.

- **Qualité de la pulpe**

Les analyses menées établissent :

- Teneur en matière sèche (NF EN 13040)
- Teneur en matière organique (NF EN 13039)
- Teneur en inertes indésirables résiduels (NFU 44-164)

La pulpe considérée pour le prélèvement est celle prête à être orientée vers une unité de traitement une fois toutes les étapes de déconditionnement passées.

- **Qualité des refus**

Les analyses menées établissent :

- Teneur en matière sèche (NF EN 13040)
- Teneur en matière organique non synthétique (ou, si impossible, teneur en matière organique totale [NF EN 13039])
- Teneur en inertes indésirables résiduels (NFU 44-164)
- PCI (NF EN 15400 ou NF EN ISO 18125)
- Chlore total

Le PCI et le chlore total ont été analysés pour évaluer l'intérêt d'une éventuelle valorisation énergétique.

2.5. Confidentialité

Compte tenu du caractère fortement concurrentiel du secteur étudié, une attention particulière a été portée au cadrage de la confidentialité des données. Celle-ci se décline sur les deux volets, fabricants et exploitants.

2.5.1. Fabricants

Les informations communiquées par les fabricants qui sont mises à la disposition des lecteurs sont de deux natures :

- Les données brutes relatives au fonctionnement de la machine seront présentées dans la fiche de synthèse ;
- Les documents techniques ou commerciaux qui auront été qualifiés de « publics » par les fabricants figureront dans un fonds documentaire transmis à l'ADEME.

De même, le choix de la photographie illustrant la fiche de synthèse relève du fabricant afin que chacun puisse illustrer de manière représentative la solution mise en place.

2.5.2. Exploitants

Compte tenu du caractère fortement concurrentiel du secteur étudié, une attention particulière a été portée au cadrage de la confidentialité des données.

2.5.2.1. Modalités de validation des règles de confidentialité

Les règles de confidentialité présentées ci-dessous ont été proposées et discutées en comité de pilotage. Pour ce qui concerne les sites en exploitations, le comité de pilotage a demandé des limitations importantes :

- La confidentialité de données supplémentaires à celles initialement proposées par l'ADEME ;
- La suppression de certaines informations du questionnaire utilisé, en particulier, les informations relatives aux investissements effectués pour le développement du site ;

Les règles de confidentialité des échanges avec les référents des sites ont été précisées lors l'intervention sur site.

Enfin, les contraintes de confidentialité définies pour la restitution des travaux dans le rapport public imposent que la lecture des résultats ne permette pas de faire le lien avec un site donné.

2.5.2.2. Données issues des entretiens

Les données considérées comme non confidentielles sont les informations relatives à :

- La nature et aux quantités de biodéchets traités ;
- La capacité horaire et journalière de l'équipement de déconditionnement ;
- Le bilan matières en % PB (produit brut) et % MS (matière sèche) des entrants ;
- Les qualités des entrants et sortants ;
- La consommation d'énergie.

2.5.2.3. Données issues des essais réalisés

L'ensemble des données issues des visites et des essais menés est considéré comme confidentiel. Aucune référence au nom du site ou à l'équipement n'est indiquée.

Chaque référent des sites a été destinataire du rapport d'analyses du laboratoire. Les plans et les rapports d'échantillonnage validés avant la visite et transmis après celle-ci au comité de pilotage, aux référents et au laboratoire ne sont pas présentés dans ce rapport.

3. Les équipements de déconditionnement

Cette partie présente d'une part l'inventaire effectué et l'état des lieux du développement des équipements de déconditionnement, d'autre part les différentes technologies de déconditionnement et leurs caractéristiques techniques. Ces deux derniers chapitres ont pour objectif de mettre en évidence les éléments clefs de la note de recommandations lors du choix d'un équipement de déconditionnement de biodéchets.

3.1. Etat des lieux

Le développement de ces solutions s'est poursuivi ces cinq dernières années dans le but d'utiliser des denrées alimentaires emballées dans des installations de méthanisation dont le parc s'est sensiblement étoffé notamment en France et au Royaume-Uni. L'objectif de l'opération consistant à déemballer ces biodéchets et à en extraire les matières indésirables s'est orienté vers un but plus qualitatif visant à renforcer la qualité de la pulpe organique issue de ce processus. En effet, outre les problèmes techniques causés par certains corps étrangers présents dans les biodéchets emballés, qui peuvent altérer le fonctionnement des équipements de déconditionnement et à l'aval de celui de l'unité de méthanisation, ces indésirables présents en trop grande quantité dans les digestats peuvent également être problématiques. Avec le renforcement des prescriptions réglementaires relatives aux teneurs en indésirables dans les digestats et les composts auquel sont confrontés les exploitants d'unités de méthanisation, la préoccupation liée à l'élimination des corps étrangers est devenue aussi importante que celle du contenu énergétique de la pulpe organique.

Cette nouvelle approche s'exprime par exemple dans l'étude publiée en mai 2020 par l'Association allemande du biogaz sous le titre « Hintergrundpapier H-010 Entpackung von Lebensmittelabfällen und Abtrennung von Fremdstoffen » qui met l'accent sur les deux volets à prendre en compte pour l'évaluation des solutions de déconditionnement.

Sur un plan plus sociétal que technique, la prise de conscience des méfaits du gaspillage alimentaire et de l'impact environnemental des déchets (campagnes « Zero Déchets ») et du suremballage des produits, sans parler de la sensibilisation de la population aux déchets plastiques retrouvés dans les mers et les sols, pourrait à terme remettre en cause la filière.

3.1.1. Les fabricants

Le recensement des fournisseurs de technologies de déconditionnement a été réalisé sur internet, en prenant comme point de départ la liste figurant dans l'étude ADEME de 2016. Avec l'aide de catalogues de foires spécialisées et d'études menées dans d'autres pays, cette liste a été élargie. Des technologies « ouvre sac » y ont été intégrées, car la différence entre ouvre sacs et déconditionneurs est parfois floue et pas très claire.

La crise sanitaire qui a conduit à l'annulation de plusieurs salons professionnels et notamment celui du salon IFAT qui devait avoir lieu en mai 2020, à Munich, nous a empêché de rencontrer directement des fournisseurs d'équipements.

3.1.2. Liste des 32 fabricants recensés

Fabricant	Référence de l'équipement	Pays	Type d'équipement	Revendeur France
Atritor	Turbo Separator	Grand Bretagne	Broyeur séparateur	Hantsch
BAADER	BAADER 607	Allemagne	Broyage puis compression (presse à piston)	BFR Parc Technologique
BELLMER KUFFERATH	AKUPRESS AS	Allemagne	Broyage puis compression (presse à vis)	W41TP
BOA Recycling Equipment	Bag opener	Grand Bretagne	Broyeur séparateur	Non trouvé
Brama GmbH	waste separation plants	Allemagne	Broyeur séparateur	Non trouvé
BTA International	pré-traitement hydro mécanique	Allemagne	Hydromécanique	Fabricant
BTS biogas	BIOSEPARATOR	Italie	Broyeur séparateur	Fabricant
Camec	AS 450	Italie	Ouvre sacs	Non trouvé

Cellwood Machinery	HC-pulper	Suède	Broyeur séparateur	Non trouvé
Cesaro	Tiger HS 10	Italie	Broyeur séparateur	Non trouvé
Coparm	Ouvre sacs serie APR 200	Italie	Ouvre sacs	Non trouvé
db Technologies	Orex press	Grand Bretagne	Broyage puis compression (presse à piston)	Non trouvé
DODA	Bio-shredder BIO012 Series	Italie	Broyeur séparateur	Non trouvé
Doppstadt Umwelttechnik	DSP 205	Allemagne	Broyage puis compression (presse à vis)	W41TP
Finsterwalder	Separation Press BS200	Allemagne	Broyage puis compression (presse à piston)	Non trouvé
Goodtech Environment Ab	BioSep	Finlande	Broyeur séparateur	Non trouvé
GreenCREATIVE	FLEXIDRY	France	Broyage puis compression (rouleau compresseur)	Fabricant
Haarslev Industries	Waste Food Depacker	Danemark	Broyeur séparateur	Fabricant
Huber technology	STRAINpress	Allemagne	Broyage puis compression (presse à vis)	Fabricant
Huning	Separating crusher	Allemagne	Broyeur séparateur	Non trouvé
Hybag	System Tutto	Suisse	Broyeur séparateur	Fabricant
KMH SYSTEMS LTD	?	UK	Non trouvé	Fabricant
Komptech	Pas trouvé	Autriche	Hydromécanique	Hantsch
Mavitec	Paddle Depacker	Pays-Bas	Broyage puis compression (presse à vis)	Ideal Technologies
Putzmeister	EKO 1260 TP	Allemagne	Broyage puis compression (presse à piston)	Fabricant
Rowan Food & Biomass Engineering Ltd	Dominator Depacking	Grand Bretagne	Broyeur séparateur	Non trouvé
SMICON	SMIMO120/SMIMO160	Pays-Bas	Broyeur séparateur	Vannier Tri Solutions
Spiral Trans	?	Suède/France	??	/
Tecnofer	Depacker	Italie	Broyeur séparateur	Fabricant
Tietjen	DRM - Hybrid	Allemagne	Broyeur séparateur	SABE
Untha	Untha S40	Grand Bretagne	Broyeur séparateur	Non trouvé
WackerBauer	Separation Mill TM 75	Allemagne	Broyeur séparateur	Non trouvé

Les technologies ont été réparties selon quatre catégories en fonction du type de séparation utilisé. Le choix a été défini en se référant à des descriptions de systèmes disponibles sur internet et en analysant des illustrations.

3.1.3. Classification des systèmes de déconditionnement

A part les systèmes ouvre-sacs, les trois catégories utilisées dans l'étude AEFEL de 2016 restent pertinentes, à savoir :

- Broyeur séparateur,

- Broyage puis compression (avec presse à vis, presse à piston ou autre dispositif de compression),
- Hydromécanique.

La publication allemande de 2020 suscitée distingue pour sa part les systèmes suivants :

- Broyeur combiné avec un séparateur,
- Broyeur séparateur,
- Hydromécanique (pulpeur).

Elle distingue une série d'équipements de séparation qui sont classés en fonction des machines utilisées : splitter, presse à vis, presse à piston, presse extrudeuse et vis de séparation auxquels s'ajoute le déemballage manuel.

Outre ces distinctions mineures la brochure de l'Association allemande du biogaz prend en compte les dispositifs d'élimination des indésirables qui peuvent être disposés :

- à l'amont de la digestion (séparateurs de gravier, hydrocyclones et cyclones, pièges à sable),
- dans le digesteur (skimmer et nettoyeur de sol, draguage du digesteur après vidange),
- à l'aval de la digestion (séparation avec presse à vis ou filtre).

Catégorie	Sous-catégorie	Nombre d'équipements recensés
Broyeur séparateur		17
Broyage puis compression	Presse à vis	4
	Presse à piston	4
	Autres systèmes de compression	1
Hydromécanique		2
Ouvre sacs		2
Inconnue		2
Total		32

3.1.4. Enquête auprès des fournisseurs de systèmes de déconditionnement

Afin d'obtenir un état du marché des fournisseurs, un questionnaire a été élaboré, en français et en anglais, puis transmis aux 32 entreprises identifiées, soit 11 de plus que lors de l'étude réalisée en 2016. Pour faciliter la tâche des destinataires et pour obtenir un taux de réponses satisfaisant la possibilité de le remplir électroniquement a été aménagée.

Le questionnaire adressé aux constructeurs se trouve en annexe. Il a été transmis aux destinataires le 27.05.2020 et des relances systématiques, par courriels et par téléphone, ont été effectuées les 15, 22 et 29.06.2020. Pour ceux qui n'avaient pas réagi durant l'été une dernière tentative a été faite le 03.08.2020.

Au final 9 entreprises ont retourné des questionnaires plus ou moins complètement remplis ; il s'agit de :

- ATRITOR
- BELLMER KUFFERATH
- BTA INTERNATIONAL
- CELLWOOD MACHINERY
- GREEN CREATIVE FLEXIDRY
- HUBER TECHNOLOGY
- HYBAG
- MAVITEC
- ROWAN FOOD & BIOMASS TECHNOLOGY

Les sociétés WACKERBAUER et KOMPTECH n'ont pas donné suite et UNTHA, par l'intermédiaire de son représentant français a indiqué ne pas proposer de système de déconditionnement, alors que la société figure, en Allemagne, parmi cette catégorie d'équipementier. La société SPIRALTRANS a cessé ses activités. Les entreprises CESARO (www.tigerdepack.com) et SMICON (www.smicon.nl) qui disposent de références en France, et qui doivent donc être intéressées par ce marché, n'ont pas donné suite à la démarche.

Le tableau ci-après présente une synthèse des réponses obtenues :

Tableau 2 : Synthèse des réponses aux questionnaires adressés aux fabricants

	Atritor	Bellmer Kufferath	BTA	Cellwood
La société				
Chiffre d'affaires	> 30 M et < 50 M	> 10 M et < 30 M	> 10 M et < 30 M	> 30 M et < 50 M
Le système de déconditionnement				
Nom du système	TURBO SEPARATOR	AKUPRESS AS	Procédé de pulpage de déchet BTA	Cellwood Pulping System
Année de début de la commercialisation	Avant 2010	avant 2010	Avant 2010	Avant 2010
Pays de fabrication	Royaume-Uni	Allemagne	Allemagne	Suède
Disponible en France	Oui	Oui	Oui	Oui
Revendeur France	Hantsch	Bellmer Kufferath	BTA	Cellwood
Maintenance et entretien				
Maintenance quotidienne	Recommandé par poste de 8 h : contrôle des outils (15 min)	Aucune	Contrôle visuel	Aucune
Fréquence de nettoyage à capacité nominale	Recommandé par poste de 8 h : nettoyage 3 minutes	Nettoyage manuel une fois par jour	Nettoyage automatique	Pas de nettoyage manuel
Coût annuel de maintenance	Pour une utilisation en 1 poste de 8 heures 250 €/an : pièces env. 5-6 kEUR/an + main d'œuvre	3 % de l'investissement	Dépend du déchet en entrée et des tonnages	Dépend de la capacité
Nombre d'heures de fonctionnement par an	Nous avons 1 client qui travaille en 3 postes /jour	8 500	Pas de limite haute, mais souvent ajusté sur les horaires d'exploitation du reste de l'installation, réception des déchets, grutier	Jusqu'à 24h/j
Durée de vie de l'équipement	5 à 20 ans selon utilisation	20 à 30 ans	> 30 ans	15 à 20 ans
Maintenance proposée par l'entreprise	Hantsch propose tous les types de contrat de maintenance possibles pour ses machines. La maintenance de ce matériel étant très simple aucun client ne l'a demandée jusqu'à ce jour	Aucun	Selon équipements, process, déchets à traiter	Aucun

Données techniques		Atritior	Bellmer Kufferath	BTA	Cellwood
Type de processus	Autres (Séparateur à palettes + centrifugation et criblage)	Broyage puis compression - presse à vis	Hydromécanique	Autres (Pulpage, origellement pour l'industrie de la pulp et du papier)	
Capacité de traitement	Modèle TS 3096 SD : env. 10 t/h nominal réel sur GMS en mélange	1 à 20	5 à 20 t/h	max 30 à 40 t/h	
Puissance électrique	Puissance installée : Machine 45 kW + équipements d'alimentation et de reprise env. 25 kW	21 à 60	Selon le tonnage et le modèle choisi	Dépend de la capacité	
Coût d'achat de l'unité	Budget 350 - 450 k€ pour l'installation complète suivant options et périphériques	110 000 à 520 000 EUR	A partir de 500 KEUR	Dépend de la capacité	
Occupation au sol	Installation complète avec convoyeurs : env. 80 m²	6,5 à 24,5	Dépend de l'implantation spécifique du projet et de l'agencement choisi	Dépend de la capacité	
Performance de séparation					
Taux d'impuretés dans la pulpe (après déconditionnement)	< 0.5 % Possible < 0.1 % selon réglage	< 1% et > à 0,5%	Les valeurs mesurées sur des installations de traitement de biodéchets en Europe Centrale sont < 0,02% pour les films plastique et plastique durs, verres et métaux > 2 mm	< 0.5 %	
Taux de captation de la MO	Plage entre 92 et 98 % pour un mélange GMS	> 90 et < 95%	90 % mesuré par l'université d'Innsbruck sur une de nos installations en Ecosse	> 95 %	
Taux moyen d'épuration des indésirables	Si vous parlez du flux des refus/emballages, en matière sèche env. 25 % organiques résiduels pour 75 % d'emballages	Information non disponible	Estimé à 90 %. Par indésirables, nous considérons tous les indésirables et non pas que le plastique. Les inertes métaux, céramique, verre et coquillages et matières fines sont aussi extraits	/	
Taux de MS des déchets à partir duquel de l'eau doit être ajoutée	Pas besoin d'eau pour le process de déconditionnement. L'ajout d'eau ou de liquide éventuel est seulement lié aux objectifs d'exploitation et contraintes du site	> 25 %	Du digestat liquide est systématiquement utilisé pour ajuster le niveau de MS dans le pulpeur. Le passage en phase liquide est la condition pour une extraction efficace et sélective des indésirables.	/	
Consommation d'eau par tonne de déchets traitée (pour déchets avec 15 %MS)	Pas d'eau nécessaire pour le process	0	0	0,75 m³/t Réutilisation de l'eau Consommation réelle : 0,1 m³/t	
Consommation d'énergie par tonne de déchets traitée	Env. 5 kWh élec / tonne. Installation complète	2 à 10	5 à 10 kWh/t selon l'intrant et le %MS en entrée	< 22 kWh/t (ex pour Project Greve Biogas)	

	Atritor	Bellmer Kufferath	BTA	Cellwood
Déchets traités				
Biodéchets acceptés par l'unité	Tous les biodéchets de GMS hormis carcasses de viande	Pas de restriction	Tous types	Déchets organiques des ménages et de la restauration Fumier
Emballages non acceptés par l'unité	Indésirables rigides tels que bois, pièces métalliques, gros os, Bidons plastiques rigides > 5 L, Produits congelés non décongelés : risque de blocage et de casse des outils Sacs > 100 L, Films étirables, cerclages palettes, filets : enroulement des films autour de l'arbre (nettoyage fréquent)	Pas de restriction	Aucun	L'installation peut supporter presque tout emballage. Ceux-ci seront triés par le séparateur
Biodéchets potentiellement reconnus comme des indésirables	Peaux et assimilés provenant d'agrumes, ananas, poisson, poulet, etc. : vu comme des emballages par la machine Déchets verts (branches, tiges de fleurs) Gros morceaux de viande crue, meules de fromage Produits très gras tel que pâte à tartiner (à séparer en mélange avec produits secs) Quelques petits produits sur-emballés comme des bonbons emballés individuellement vendus en sachet, voire les sachets dans des cartons. Lots à traiter dans la machine séparément si possible (paramètres de réglage particuliers)	Aucun	Aucun	/
Impuretés difficiles à séparer	Produits indésirables pour la qualité de la soupe : Verres, céramiques, coquilles (cassants ils vont se retrouver dans la soupe organique) Produits non alimentaires, biocides	Verre		Tapis, cordes longs, etc.
Références de l'équipement				
Systèmes installés en France	> 10 et < 20	< 10	< 10	< 10
Systèmes installés en Europe	> 100	> 100	> 20 et < 30	< 10
Systèmes installés dans le monde	> 100	> 100	> 50 et < 100	< 10

	Flexidry Greencreative	HUBER TECHNOLOGY	Mavitec	Rowan
La société				
Chiffre d'affaires	< 5 M	> 5 M et < 10 M	> 5 M et < 10 M	< 5 M
Le système de déconditionnement				
Nom du système	Flexidry	STRAINPRESS	BioDECONDITIONNEUR™ S Depacker	Dominator Depacking
Année de début de la commercialisation	2014	Avant 2010	2018	1990
Pays de fabrication	France	Allemagne	Hollande	Royaume-Uni
Disponible en France	Oui	Oui	Oui	Oui
Revendeur France	Flexidry Greencreative	HUBER TECHNOLOGY	Ideal Technologies	Rowan
Maintenance et entretien				
Maintenance quotidienne	Aucune	Non	Vérification de l'état général : pâles rotatives, courroie d'entraînement, GMR bien ventilés	Nettoyer et enlever le plastique de l'intérieur de la machine
Fréquence de nettoyage à capacité nominale	Cycle de nettoyage automatique de 3 min/j Nettoyage manuel complet de la ligne - 45 min en fin de semaine	1 fois / mois	Cycle de rinçage automatique 10 mm/jour	Oter le plastique 1x/j à l'aide d'un couteau ou manuellement
Coût annuel de maintenance	3 EUR/t	10000 EUR	0,05	± 3000
Nombre d'heures de fonctionnement par an	10 à 12 h/j soit 3 200 h/an	A définir selon charge massique et débit	3500	3 500
Durée de vie de l'équipement	7 ans	> 20 ans	N/A	5
Maintenance proposée par l'entreprise	1. contrat de maintenance annuelle incluant : <ul style="list-style-type: none"> Maintenance préventive trimestrielle (4 par an) – formation de remise à niveau si besoin Délai de prise en charge de la panne dans les 6h Délais de diagnostic et d'intervention garanti – 12h pour le diagnostic et 48h pour un plan d'action pour du curatif Stock de pièces détachées dédiés au parc maintenance chez Green Creative 1. abonnement mensuel de télémaintenance illimité incluant : <ul style="list-style-type: none"> Réponse téléphonique dans l'heure Assistance téléphonique à distance illimitée Mise à jour des nouveautés et évolutions des programmes 	Suivi de l'usure et remplacement des pièces d'usure	Package 2 ans full service à l'achat puis maintenance préventive 4 visites par an	Aucun

	Flexidry Greencreative	HUBER TECHNOLOGY	Mavitec	Rowan
Données techniques				
Type de processus	Autres (Processus de perforation, laminage & broissage)	Autres (Tamisage sous pression avec décolmatage mécanique)	Autres (déconditionneur à pâles)	Autres (déconditionneur à pâles)
Capacité de traitement	2 modèles : le S (1 à 4 t/h) M (6 à 11 t/h) selon le type de déchets	4 tMS/h	5 m ³ /h	Jusqu'à 20 t/h
Puissance électrique	S : 26 kW M : 35,5 kW	3 à 4 kW	18	Jusqu'à 45 kW
Coût d'achat de l'unité	S : 150 000 EUR M : 280 000 EUR	70 000 - 150 000 EUR selon charge massique	90 000 EUR	à partir de 27k€
Occupation au sol	10 à 13 m ³	3500 x 560 mm	15 m	4 m ²
Performance de séparation				
Taux d'impuretés dans la pulpe (après déconditionnement)	0,025 % d'inertes sur MB	< 3 % selon caractéristiques des effluents à traiter	< 1 % et > 0,5 % Garantie < 1%	< 1% et > 0,5 %
Taux de captation de la MO	Essais en cours	Information non disponible	> 95 %	> 95 %
Taux moyen d'épuration des indésirables	Essais en cours	Information non disponible	Information non disponible	> 95 % et < 99 %
Taux de MS des déchets à partir duquel de l'eau doit être ajoutée	> 25 %	Entre 13 et 16 % selon viscosité	Peut déconditionner les produits secs sans apport d'eau type chips, baguettes de pain emballés, cookies, etc.	/
Consommation d'eau par tonne de déchets traitée (pour déchets avec 15 %MS)	Pour des déchets avec 15% de matières sèches, utilisation d'eau nul. Pour des déchets avec un taux de matière sèches supérieur à 15%, utilisation d'eau entre 5 et 10% des déchets brutes entrantes.	0 m ³ /h	1 m ³ /h	25 % d'eau mais fonctionnera sans eau
Consommation d'énergie par tonne de déchets traitée	2,5 à 4 kWh/t	0,75 kWh/tMS	12 kWh de moyenne pour 6 m ³ /h de débit pour l'ensemble de la ligne	5 kWh/t

	Flexidry Greencreative	HUBER TECHNOLOGY	Mavitec	Rowan
Déchets traités				
Biodéchets acceptés par l'unité	Rebus industriels Invendus de GMS Déchets ménages en sacs Déchets de restauration collective Taille max : 400 x 300 x 200 mm	Alimentaire Soupe issue de broyage d'aliments, restaurants, industrie, abbatoirs	Biodéchets GMS, FFOM, frais ou déstructurés (rupture), produits secs emballés, conserve, biodéchets emballés dans des sacs 120 L	Déchets des ménages, des commerces, supermarchés et restauration Déchets pharmaceutiques
Emballages non acceptés par l'unité	Denrées non alimentaires Déchets d'abattoirs Film des palettes + cerclage à retirer	Déchets verts, feuilles bois	lot de verre à 100 %	/
Biodéchets potentiellement reconnus comme des indésirables	Coquilles	Aucun	Barres chocolatées emballées	Agrumes, os, coquilles
Impuretés difficiles à séparer	Verre	Verre Sacs plastique de gros volume Métaux	Verre	Verre, grand sacs de plastique
Références de l'équipement				
Systèmes installés en France	> 20 et < 30	> 50 et < 100	< 10	< 10
Systèmes installés en Europe	< 10	> 100	> 100	> 20 et < 30
Systèmes installés dans le monde	< 10	> 100	> 100	> 30 et < 50

3.2. Techniques de déconditionnement

Le présent chapitre décrit les différentes étapes et technologies de déconditionnement. Il propose également une classification des technologies.

3.2.1. Description des différentes étapes et classification des différentes technologies

Une ligne de déconditionnement a pour objectif de séparer la matière organique, des indésirables d'un flux de biodéchets emballés triés à la source, afin de les valoriser en plateforme de compostage ou dans des unités de méthanisation. Elle transforme également la matière organique sous la forme de pulpe, c'est-à-dire une matière organique réduite en bouillie.

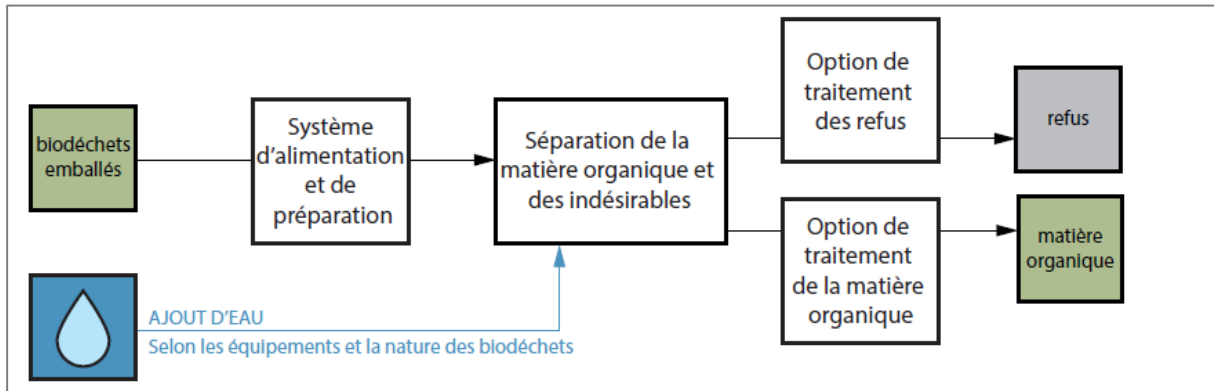


Figure 2 : Schéma générique d'une ligne de déconditionnement

Une ligne est composée d'un système d'alimentation et de préparation, d'un équipement de déconditionnement où a lieu la séparation des matières et pouvant comporter plusieurs modules en série ; en option, d'un système d'épuration des inertes fins de la matière organique et éventuellement d'un système de lavage des refus.

Pour certains équipements, un ajout d'eau est nécessaire en fonction des biodéchets à traiter ou pour atteindre les performances de déconditionnement. L'eau du procédé de déconditionnement est systématiquement réutilisée. Il n'y a aucun effluent liquide à gérer.

Ces équipements sont alimentés en électricité.

- **Alimentation de la ligne et préparation du flux à traiter**

Le premier étage d'une ligne de déconditionnement, avant d'entrer dans le processus de séparation à proprement parler, est composé d'une trémie d'alimentation. Elle peut être de différents types, posée ou enterrée, couverte ou non, ou intégrée. Elle peut être suivie d'une phase de préparation avant déconditionnement. La préparation peut consister à homogénéiser et/ou malaxer le flux entrant, ajouter de l'eau ou encore retirer certains types d'indésirables (notamment récupération manuelle, détecteur de métaux ou de gros éléments, dé-ensachage).

La phase de préparation peut également consister en un broyage préliminaire (voir point suivant).

- **Séparation de la matière organique et des refus**

Trois techniques existent pour séparer la matière organique de ses emballages indésirables. Elles font toutes intervenir un système s'apparentant à un broyage comme première étape (dans ce cas, il peut être considéré comme une préparation) ou unique étape.

La séparation est systématiquement effectuée par l'intermédiaire d'un crible dans lequel la matière organique passe et qui retient les indésirables. La taille de la maille varie selon les technologies et les équipements. Le passage à travers le crible est effectué :

- Lors du broyage, la technologie de séparation est alors appelée « broyeur séparateur » dans la présente étude ;
- Après broyage, dans un équipement de « compression » (presse à vis, presse à piston, rouleau compresseur) ;
- Après broyage, ou non, dans un pulpeur, équipement ayant une action « hydromécanique ».

Les techniques de séparation de la matière organique et des indésirables, et donc les équipements de déconditionnement, sont classifiées comme suit dans le tableau ci-après.

Tableau 3 : Classification des technologies de déconditionnement

Catégorie	Sous-catégorie
Broyeur séparateur	
Broyage puis compression	Presse à vis
	Presse à piston
	Autres systèmes de compression
Hydromécanique	
Ouvre sacs	

- **Traitement de la matière organique (option)**

Le traitement de la matière organique après séparation a lieu principalement à la suite d'un déconditionnement hydromécanique. Il consiste à épurer la matière organique des inertes fins.

De plus, sur certaines lignes de déconditionnement intégrant un broyeur séparateur, la matière organique séparée peut subir une seconde épuration à travers une presse à vis.

- **Traitement des refus (option)**

Une fois séparés de la matière organique, les refus peuvent suivre un cycle de lavage. L'objectif de cette étape optionnelle est double :

- Permettre un stockage facilité des refus nettoyés de la matière organique ;
- Améliorer le taux de récupération de la matière organique en réinjectant les effluents de lavage dans le processus de déconditionnement ;

Quatre techniques ont été identifiées :

- Lavage à l'intérieur des broyeurs séparateurs ;
- Tambours de lavage avec ajout d'eau chaude ;
- Pressage des refus légers sur des lignes de déconditionnement hydromécaniques ;
- Décantation et lavage des gros refus.

3.2.2. Nombre d'équipements en activité

En ce qui concerne la France métropolitaine, des recherches plus détaillées ont été menées pour établir une liste des installations de déconditionnement en activité en 2020. Trente six installations ont été recensées sans qu'il puisse être affirmé que cette liste soit exhaustive.

Cette liste a été établie en consultant :

- L'annuaire des installations classées (rubrique 2791),
- La liste des établissements agréés au titre du point 24 h pour le tri de SPAn C3,
- La liste des références des constructeurs et fournisseurs (consultation des sites internet et prise de contact par mail/téléphone)

Comme le montre le Tableau 4, la moitié de ces équipements sont situés sur des sites de méthanisation. La quasi-totalité des équipements sont situés sur des sites de compostage, méthanisation ou des sites pratiquant les deux activités.

Tableau 4 : Activité principale des sites de déconditionnement en activité en France en 2020

Activité principale du site	Nombre de sites en France
Compostage	9
Méthanisation	18
Compostage + méthanisation	2

Tri/transit	5
Inconnue ou activité suspendue	2
Total	36

La Figure 3 présente la carte des installations de déconditionnement recensées en France. Comme le montre cette carte, les sites sont inégalement répartis sur le territoire français, avec notamment une concentration des sites dans le Nord du pays et très peu de sites dans le sud.



Figure 3 : Localisation des installations de déconditionnement en France (au 21/04/2020)

Comme le montre les Tableau 5 et Tableau 6, seuls 6 fabricants sur les 32 identifiés semblent avoir équipés des sites de déconditionnement en France, bien que leurs équipements soient disponibles en France. De plus, seuls deux types de technologies sont représentées en France : les broyeurs-séparateurs et le broyage puis compression (rouleaux compresseurs).

Tableau 5 : Fabricants des équipements de déconditionnements installés en France

Fabricant de l'équipement installé	Nombre de sites en France
Green Creative	8
Atritor	11
Hybag	5
Smicon	3
SpiralTrans	1
Cesaro	5
Inconnu	3
Total	36

Tableau 6 : Technologies de déconditionnement installés en France

Catégorie	Sous-catégorie	Nombre de sites en France
Broyeur séparateur		24
Broyage puis compression	Presse à vis	0
	Presse à piston	0
	Autres systèmes de compression	8
Hydromécanique		0
Inconnue		4
Total		36

3.2.3. Alimentation et préparation du flux à traiter

3.2.3.1. Trémie d'alimentation

Différentes trémies sont disponibles en fonction du projet développé et de l'équipement de déconditionnement :

- Enterrée ;
- Posée avec ou non système de basculement ;
- Intégrée à l'équipement.

Elles peuvent disposer d'un système de fermeture pour limiter les émissions olfactives. Tous les fabricants proposent une trémie de base et différentes options.

Les trémies peuvent également être équipées de plusieurs vis pour effectuer des actions d'homogénéisation et de malaxation.

3.2.3.2. Malaxation et homogénéisation

Ces équipements sont la plupart du temps en option selon le projet développé mais peuvent également être directement intégrés. L'action se matérialise par l'entraînement et la trituration des biodéchets emballés par la rotation d'une simple ou de plusieurs vis. Cette action est généralement effectuée dans la trémie d'alimentation mais peut également être réalisée lors du convoyage ou une trémie intermédiaire.

Ces procédés de malaxation et d'homogénéisation permettent notamment d'ouvrir les sacs poubelle, de pré-réduire certains éléments et de mélanger les matières entre elles pour améliorer la séparation. Dans le cas des lignes de déconditionnement intégrant un équipement de compression, l'homogénéisation est obtenue lors du broyage.

3.2.3.3. Protection des équipements

Certains fabricants préconisent l'installation de systèmes de protection en amont du broyage de la ligne :

- La mise en place d'un détecteur de métaux pour limiter l'usure ou la casse du broyeur et des équipements suivants - particularité relevée sur des lignes intégrant une presse à vis et sur un broyeur séparateur ;
- La limitation des grands sacs plastiques - particularité relevée sur des lignes intégrant des systèmes de compression ;
- L'éjection des gros éléments - particularité relevée sur des lignes intégrant un système de rouleau compresseur ;
- La mise en place d'un broyeur lent à cisailles rotatives en amont d'un broyeur séparateur - particularité relevée sur un seul de ces équipements.

3.2.4. Broyage

L'étape de broyage est essentielle dans le processus de déconditionnement. D'une part, elle permet de réduire, ou préparer à la réduction, sous forme de pulpe la matière organique. D'autre part, plus le broyage est performant plus il limite la création de petits morceaux d'emballage, permettant une épuration efficace. L'action de broyage est donc à considérer de manière distincte en fonction de son effet sur la matière organique et sur les emballages. Les techniques de broyage employées sont différentes selon les technologies de déconditionnement.

- **Les broyeurs des lignes de déconditionnement intégrant un équipement de compression**

Six des sept fabricants d'équipements de séparation par compression ont répondu de manière détaillée aux questions sur la technique de broyage utilisée. L'objectif de cette étape est la préparation du flux de biodéchets à traiter par une homogénéisation et une ouverture des contenants. La réduction en pulpe de la matière organique est notamment finalisée lors de la compression.

Quatre des fabricants ont recours à des équipements classiques de broyage lent (< 50 tr/min) par cisailles rotatives. Ils permettent un déchiquetage des déchets et une réduction par morceau d'une certaine taille. Robustes, ils acceptent tout type de déchets entrants.

Les deux autres fabricants ont opté pour des techniques différentes de broyage et précisent que leur technique de broyage se distingue par la conception :

- Pour l'un, d'un broyeur lent (< 50 tr/min) permettant un écrasement des emballages tout en déchiquetant la matière organique, l'objectif est de limiter l'action de déchiquetage des emballages (une détection des gros éléments est également intégrée à cet équipement permettant leur évacuation avant broyage) ;
 - Pour l'autre, d'un broyeur rapide (> 500 tr/min) basé sur le principe des marteaux oscillants, permettant lors de la compression des déchets à l'intérieur du broyeur de limiter le déchiquetage des emballages en produisant un effet de lacération, tout en déchiquetant la matière organique.
- **Les broyeurs des lignes de déconditionnement intégrant un équipement hydromécanique**

L'un des deux fabricants précise que l'ensemble des biodéchets traités par le pulpeur passe préalablement par un équipement classique de broyage lent (< 50 tr/min) par cisailles rotatives. L'autre fabricant, a indiqué qu'un broyage sur une partie du flux entrant pouvait éventuellement être effectué pour éviter l'introduction de gros éléments (> 250 mm) dans le pulpeur. L'action de réduction de la matière organique sous forme de pulpe, et d'ouverture des emballages, est principalement effectuée dans le pulpeur lors de l'agitation. Cette action s'apparente également à un broyage.

• **Les broyeurs séparateurs**

L'action de broyage de ces équipements répond à plusieurs objectifs :

- Réduire sous forme de pulpe la matière organique ;
- Entraîner les emballages vers l'extrémité de l'équipement ;
- Limiter le déchiquetage des emballages.

Pour l'ensemble de ces équipements, le broyage est effectué dans un cylindre équipé en son axe d'un arbre rotatif doté de marteaux ou couteaux. Selon les équipements, ils peuvent avoir des formes variées allant d'un rectangle de métal d'une certaine épaisseur à des cylindres ou des pales. L'action de broyage est effectuée à vitesse élevée (> 500 tr/min).

La disposition des marteaux ou des couteaux permet d'entraîner les emballages vers l'extrémité du cylindre tout en les découpant. Le cylindre peut être positionné verticalement (cas de deux équipements parmi les 9 recensés), l'éjection des emballages s'effectuant alors par le haut.

L'effet de déchiquetage des emballages dans ces équipements peut être limité par la forme des marteaux et la vitesse de rotation de l'arbre.

• **Non-recours au broyeur**

Dans deux cas seulement, il a été constaté une possibilité de non-recours au broyage :

- Dans une ligne hydromécanique pour les éléments inférieurs à 250 mm de diamètre qui ne passent pas par le broyage ;
- La disponibilité d'un équipement séparant les petits éléments des gros lors du convoyage d'alimentation permet le broyage d'une partie du flux, l'autre partie étant directement traitée par un équipement de compression.

3.2.5. Séparation lors du broyage

Les broyeurs séparateurs effectuent de manière simultanée le broyage ainsi que la séparation de la matière organique et des refus. Le schéma d'une ligne de déconditionnement générique intégrant un broyeur séparateur est présenté ci-dessous.

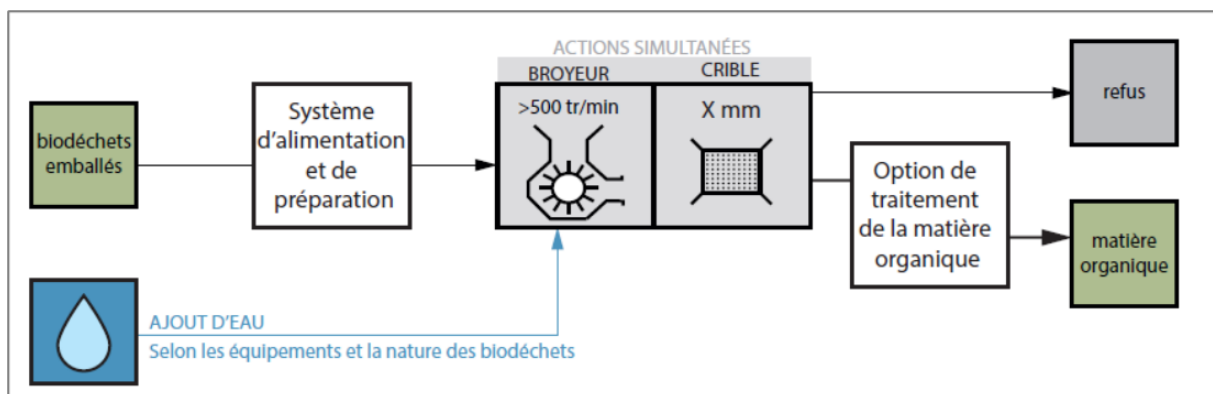


Figure 4 : Schéma générique d'une ligne de déconditionnement intégrant un broyeur séparateur

Ce type de ligne intègre généralement un équipement de préparation pour homogénéiser et malaxer les biodéchets à traiter avant d'alimenter le broyeur séparateur.

La rotation rapide des marteaux à l'intérieur du cylindre de broyage permet de réduire en pulpe la matière organique et de la faire passer, par force centrifuge, gravitationnelle et par compression, à travers les mailles du crible. Celui-ci recouvre tout ou partie du cylindre de broyage selon les équipements. Un des équipements étudiés intègre un crible rotatif.

Si l'ajout d'eau est effectué lors du broyage, plusieurs équipements permettent le lavage des refus pendant leur éjection du cylindre de broyage. Ils permettent ainsi d'optimiser le taux de récupération de la matière organique.

Il est à noter qu'il a été relevé plusieurs cas où une presse à vis a été intégrée dans la ligne de déconditionnement afin d'affiner l'épuration de la matière organique sortant du broyeur séparateur. Ce système est notamment proposé par un fabricant de broyeur séparateur.

3.2.6. Séparation par compression

Dans ces équipements, la séparation de la matière organique est effectuée après le broyage par une action de compression sur un crible.

Les lignes de déconditionnement les intégrant nécessitent peu de préparation des biodéchets entrants, celle-ci étant effectuée lors du broyage avant compression. Compte tenu des performances d'épuration affichées, les fabricants ne proposent pas d'équipement d'affinement de l'épuration de la matière organique. Une option de lavage des refus est par contre proposée par un fabricant.

Trois techniques de compression ont été définies : presse à vis, presse à piston et autres compressions.

3.2.6.1. Presse à vis

L'alimentation de la presse s'effectue en continu. La forme de la vis conique et une soupape ou un cône de contre-pression à l'extrémité de la presse permettent de compresser les biodéchets contre le crible et d'extraire les refus. La petite taille des mailles du crible de ces équipements se distingue par rapport à celle d'autres technologies.

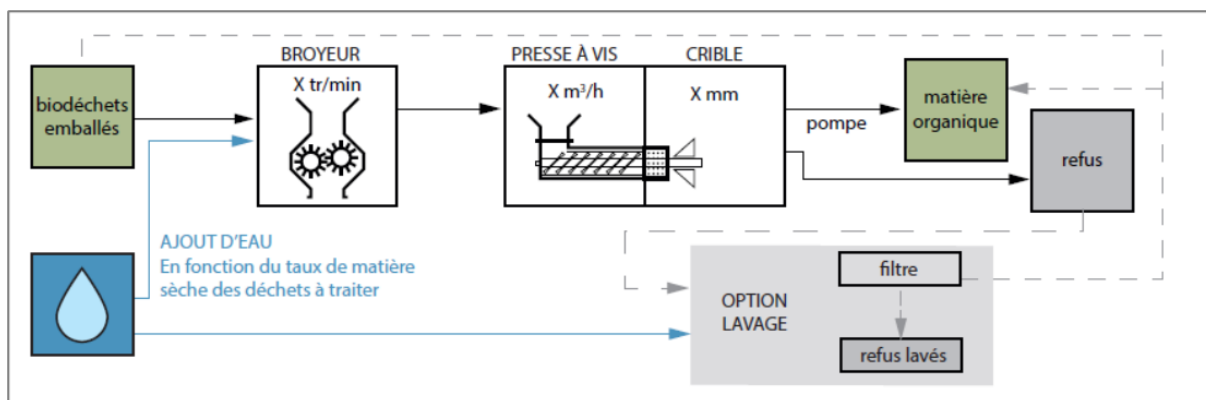


Figure 5 : Schéma générique d'une ligne de déconditionnement intégrant une presse à vis

3.2.6.2. Presse à piston

Ces équipements nécessitent l'ajout d'un gaveur dans la ligne de déconditionnement pour remplir la chambre d'alimentation de la presse. Une fois rempli, le piston comprime les déchets contre une glissière dans un tube perforé. Une fois la compression terminée, la glissière s'ouvre pour éjecter les refus.

3.2.6.3. Autres compressions

Un seul équipement fait partie de cette catégorie. La séparation s'effectue par un rouleau compresseur sur un crible rotatif. Deux systèmes de brossage permettent respectivement, à l'intérieur du trommel, l'avancée des déchets et le nettoyage des emballages, et à l'extérieur du trommel son nettoyage.

3.2.6.4. Hydromécanique

Dans ces équipements, la réduction en pulpe de la matière organique a lieu dans un pulpeur. Trois flux sortent du pulpeur : des refus lourds et légers ainsi que des matières organiques filtrées. Chacun de ces flux est ensuite traité séparément :

- Les refus, pour être lavés et épurés de la matière organique par pressage, criblage et système de décantation passif ;
- La matière organique pour passer dans un système de décantation actif ou passif, créant un troisième flux de refus (inertes fins).

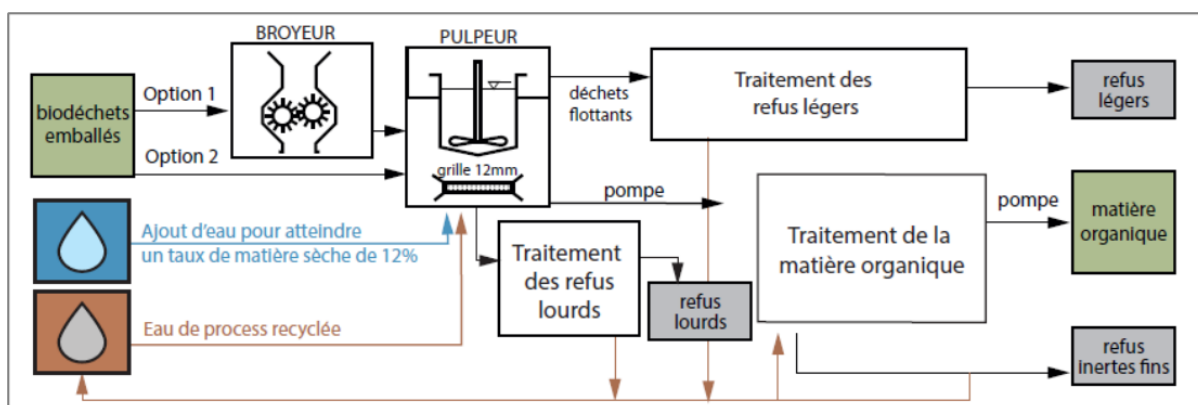


Figure 6 : Schéma générique d'une ligne de déconditionnement hydromécanique

3.2.7. Comparaison de la taille des mailles du crible de chaque technologie

Certains fabricants proposent plusieurs tailles de maille pour les cribles. Les cribles peuvent être changés rapidement après arrêt et lavage de l'équipement dans la majorité des cas.

La taille du crible influe sur deux paramètres :

- La capacité de traitement de la ligne (plus la maille est petite plus la capacité de traitement sera réduite) ;
- La qualité de la séparation (plus la maille est petite, plus l'épuration sera efficace).

Le tableau ci-dessous présente les différentes tailles de maille moyenne des équipements sélectionnés et présélectionnés en fonction de la technique de déconditionnement. Il est à noter que pour les lignes de déconditionnement hydromécanique, après filtration à 12 mm, la matière organique subit d'autres étapes d'épuration des indésirables.

Technique de séparation	Maille la plus petite de la catégorie	Moyenne des mailles les plus petites	Moyenne des mailles les plus grandes
Broyeur séparateur	6,5 mm	11,0 mm	23,7 mm
Presse à vis	1,0 mm	3,0 mm	10,3 mm
Presse à piston	8,0 mm	8,0 mm	10,0 mm
Compression	8,0 mm	8,0 mm	8,0 mm
Hydromécanique	12,0 mm	12,0 mm	12,0 mm

3.2.8. Pilotage des équipements

Les fabricants proposent tous un panneau de contrôle permettant le pilotage manuel de l'équipement. Ils peuvent prendre plusieurs formes en fonction des besoins de l'installation allant de simples boutons à un logiciel de programmation de l'équipement et une supervision via un écran tactile. Si des configurations de fonctionnement sont programmables sur certains équipements, le pilotage et le choix du programme restent manuels.

Un seul fabricant propose une gestion automatisée permettant l'ajout d'eau en fonction de certains paramètres.

La supervision de l'équipement s'effectue via le retour d'informations classiques variables d'un équipement à l'autre. Des capteurs sont positionnés notamment pour relever : la consommation électrique, le temps de fonctionnement, l'intensité de certains moteurs et la température d'échauffement de certaines parties de l'équipement. La supervision peut être plus poussée pour les lignes de déconditionnement hydromécaniques.

Les principales modalités de réglages pilotables depuis le panneau de contrôle sont variables d'un équipement à l'autre. Ces réglages concernent notamment :

- La vitesse des convoyeurs d'alimentation ;
- La vitesse de rotation du broyeur ;
- Les marteaux du broyeur ;
- La pression exercée lors d'une séparation par compression ;
- L'inclinaison de l'équipement (un fabricant) ;
- Le réglage de l'ajout d'eau ou la programmation de séquence de lavage.

3.2.9. Convoyeurs et systèmes de pompage

Plusieurs systèmes de convoyage entre les différents éléments de la ligne de déconditionnement sont nécessaires. Les fabricants peuvent proposer plusieurs types de moyens de convoyage adaptés à chaque installation.

• Liaison entre la trémie d'alimentation et l'équipement de déconditionnement

Le transfert des biodéchets depuis la trémie est majoritairement effectué par un convoyeur à vis fermé. Néanmoins, deux fabricants proposent une alimentation par convoyeur à tapis.

Lors de ce convoyage, deux actions peuvent être effectuées :

- Une malaxation et une homogénéisation, cas d'un convoyeur double vis ;
- Une récupération des jus sous le convoyeur.

- **Liaison entre l'équipement de déconditionnement et le stockage des refus**

Le transfert des refus depuis la sortie de l'équipement de déconditionnement vers les équipements de stockage est majoritairement effectué par un convoyeur à vis fermé. Néanmoins, deux fabricants proposent un convoyeur à tapis pour effectuer cette liaison.

Une récupération de l'eau de lavage des refus peut avoir lieu lors de ce convoyage.

- **Liaison entre l'équipement de déconditionnement et le stockage de la matière organique**

Compte tenu du taux de matière sèche de la matière organique séparée et de sa réduction sous forme de pulpe en sortie de déconditionnement, le convoyage s'effectue majoritairement par pompage. Néanmoins, un système de convoyage par vis peut être effectué. Un fabricant propose cette option.

Il est rappelé que pour choisir le système de pompage, quatre paramètres sont à considérer : la densité, la viscosité, le taux de matière sèche et le taux d'indésirables.

3.3. Caractéristiques techniques des équipements de déconditionnement

Le présent chapitre décrit les principaux indicateurs de performance des équipements de déconditionnement. Il est rappelé que l'étude n'a pas pour but de valider ou discuter les performances annoncées par les fabricants. Néanmoins, pour certains paramètres, des informations sont communiquées afin de mieux appréhender les données présentées. Ces informations proviennent du retour d'expériences communiqué par les fabricants lors des entretiens et des échanges avec les gestionnaires de site.

Les critères suivants ont été retenus pour évaluer la performance d'une ligne de déconditionnement :

- Acceptabilité de biodéchets entrants, pour mettre en évidence quelles peuvent être les restrictions sur les flux réceptionnés ;
- Capacité de traitement, pour évaluer le temps de traitement des biodéchets réceptionnés ;
- Qualité de la pulpe organique, et notamment son taux d'indésirables ;
- Qualité des refus, et notamment la quantité de matière organique perdue ;
- Qualité du broyage pour limiter la création d'éléments fins ; Consommation d'eau, pour évaluer la qualité du lavage des refus, les contraintes sur le transport ou l'adaptabilité à différentes techniques de valorisation matière ;
- Consommation d'énergie, pour évaluer la performance de la valorisation des biodéchets ;
- Coûts d'investissement et de maintenance, pour évaluer sa rentabilité.

3.3.1. Acceptabilité du flux entrants

3.3.1.1. Biodéchets difficiles à traiter

Trois types de biodéchets s'avèrent particulièrement difficiles à séparer des indésirables :

- Les fruits et légumes à peau dure (exemple : agrumes, feuilles d'ananas, pastèques et melons) ;
- Les os de viande ;
- Les coquilles de fruits de mer et autres crustacés.

Il n'est aucunement question d'un problème d'acceptation de ces biodéchets mais du fait que de par leur densité, ils se retrouvent en partie dans les refus.

Il est important de noter que les coquilles ou les os sont des éléments inertes sans intérêt pour la production de méthane. De même, pour la fabrication d'amendements organiques leur intérêt est spécifique à certains sols (exemple : apport calcaire des coquilles d'huîtres sur des sols acides). Le maintien de ces éléments dans les consignes de tri facilite le tri à la source et son adoption.

Ces éléments durs peuvent être traités correctement s'ils ne sont pas présents en grande quantité et que les biodéchets sont malaxés préalablement pour répartir ces éléments. La difficulté provient de la nécessité de limiter le broyage pour éviter de

déchiqeter de manière trop importante les emballages, mais qui peut s'avérer insuffisante pour traiter ce type de produits. De fait, ils se retrouvent en partie dans les refus.

Dans une moindre mesure les produits pâteux tels que les pâtes à tartiner en grande quantité peuvent boucher les grilles sur certains équipements (signalés par des fabricants de broyeur séparateur). Il est alors conseillé de les mélanger à des produits secs pour faciliter leur traitement.

3.3.1.2. Impuretés difficiles à séparer

Trois types d'indésirables peuvent poser principalement un problème de traitement : le verre, la céramique, les métaux et les sacs plastiques de gros volumes.

Pour le verre, seuls les fabricants de lignes hydromécaniques indiquent ne pas rencontrer de problématique de pollution de la matière organique en cas d'erreur de tri. Ces lignes intègrent en effet des systèmes actifs ou passifs de décantation pour récupérer les éléments lourds et fins de la matière organique. Tous les autres fabricants indiquent que tout ou partie du verre se retrouve dans la matière organique. Le verre ne bloquera pas le processus de traitement mais aucune garantie n'est apportée sur le fait qu'il soit bien orienté dans les refus. Ainsi, le verre ou équivalent fait l'objet de consigne de tri à la source assez stricte par les exploitants de sites envers leurs clients. Il est également à noter que les fabricants signalent que le verre entraîne une usure plus rapide de leur équipement, notamment sur les systèmes de pompage de la matière organique.

Deux fabricants (d'un broyeur séparateur et d'une presse à vis) indiquent que des quantités de métaux trop importantes ou régulières dans le flux risquent d'endommager l'équipement. Ils préconisent la mise en place d'un détecteur de métaux en amont du broyeur. Les fabricants des autres broyeurs séparateurs et le fabricant de l'équipement classé comme « autres compressions », indiquent que leur équipement peut traiter des monoflux de boîtes de conserve.

Sur les équipements de compression, la présence de sacs plastiques de gros volumes doit être limitée pour ne pas altérer les performances. Un enroulement de plastique a parfois été constaté autour du broyeur ou de la vis d'alimentation, altérant la performance du déconditionneur ou entraînant un arrêt.

4. Installations de déconditionnement

Cette troisième partie présente les installations de déconditionnement dans lesquelles sont implantés les équipements. Dans un premier temps, elle décrit une installation générique en s'appuyant sur cinq visites d'installations, restitue le bilan des essais et les résultats des analyses menées sur les flux sortants de ces cinq sites (chapitre 4.1.2.3). Les coûts d'investissement et d'exploitation de ces installations finalisent cette partie (chapitre 4.2).

4.1. Emprise, organisation et différents process-type d'un site de déconditionnement

Cette partie a pour objectif de présenter les installations de déconditionnement et leur organisation ainsi que de restituer les résultats des essais menés sur cinq installations.

4.1.1. Fonctionnement d'une installation de déconditionnement

4.1.1.1. Eléments composant une installation et zone d'implantation

En plus de la ligne de déconditionnement, chaque installation intègre les éléments suivants sur un site clôturé :

- Une aire de pesée et d'accueil ;
- Une aire de circulation permettant aux camions de manœuvrer ;
- Une aire de lavage des bennes et des contenants, ainsi que le cas échéant une aire de stockage des contenants propre ;
- Une aire de réception installée sur une aire couverte et le cas échéant une aire de stockage des contenants en attente de déversement ainsi que des moyens de déchargement des contenants et de chargement de la ligne ;
- Une ligne de déconditionnement installée sur une aire couverte ;
- Des moyens de stockage des flux sortants ;
- Des moyens de limitation des nuisances olfactives ;

- Des moyens de gestion de l'eau de pluie, de traitement de l'eau et de production d'eau chaude sanitaire ;
- De cuvettes de rétention ;
- D'un espace de vie pour les équipes.

La modulation de ces différentes zones est spécifique à chaque site. Le lieu d'implantation influe notamment sur les besoins de chaque site selon qu'il est sur une plateforme de compostage, sur une unité de méthanisation ou indépendant de ces deux types d'installation. La moitié des installations de déconditionnement en France sont sur une plateforme de compostage ou de méthanisation (voir chapitre 3.2.2). De nombreux éléments sont alors mutualisés entre ces activités et celle de déconditionnement.

4.1.1.2. Organisation

- **Organigramme**

Le questionnaire aux exploitants intègre une question sur les moyens humains nécessaires au pilotage de la ligne de déconditionnement.

Pour quatre des cinq sites visités, le fonctionnement de la ligne de déconditionnement nécessite une seule personne. Cette personne réalise notamment l'incorporation des matières dans la trémie, l'éventuel déconditionnement manuel préalable, l'entretien quotidien, la gestion des refus.

Un des cinq sites visités emploie deux personnes pour le fonctionnement de la ligne de déconditionnement. Cette installation est significativement plus complexe que les quatre autres. En effet, la ligne comprend 3 autres étapes de tri en aval de l'équipement de déconditionnement alors que les quatre autres sites n'ont qu'un équipement de déconditionnement.

Les cinq installations visitées ont pour activité principale la méthanisation. De ce fait, du personnel complémentaire est chargé de l'accueil, la pesée et le contrôle des flux entrants et le lavage des contenants pour l'ensemble du site.

Une ligne de déconditionnement étant un équipement industriel, un référent du site assure la gestion technique de l'équipement.

- **Gestion des flux sortants**

Les cinq installations visitées ont pour activité principale la méthanisation. De ce fait, la ligne de déconditionnement a pour but d'extraire la matière organique des biodéchets emballés pour alimenter les digesteurs.

Un des cinq sites visités alimente également d'autres sites de méthanisation.

Seuls deux des cinq sites visités disposent d'un équipement de stockage de la pulpe après déconditionnement. En effet, pour trois des quatre sites visités la pulpe alimente directement la cuve d'hygiénisation ou le digesteur de l'installation de méthanisation.

Les refus sortant des installations de déconditionnement sont stockés puis orientés vers des usines d'incinération (quatre des cinq sites visités) ou des centres d'enfouissement (un des cinq sites visités) pour déchets non dangereux.

4.1.1.3. Emprise au sol

Le schéma ci-après présente une comparaison de la taille de chacune des différentes zones composant une installation de déconditionnement. Il est réalisé à partir des enseignements de visites de sites ainsi que de l'analyse de plusieurs plans d'installations présentés dans les arrêtés préfectoraux ou dans les dossiers de demandes d'autorisation d'exploiter. La surface mentionnée précise l'ordre de grandeur de chaque surface. Elles peuvent notablement être réduites en fonction des spécificités et solutions sélectionnées.

Il est rappelé que le sol des aires et des locaux de stockage ou de manipulation des déchets doit être étanche et équipé de façon à pouvoir recueillir les eaux de lavage et les matières répandues accidentellement.

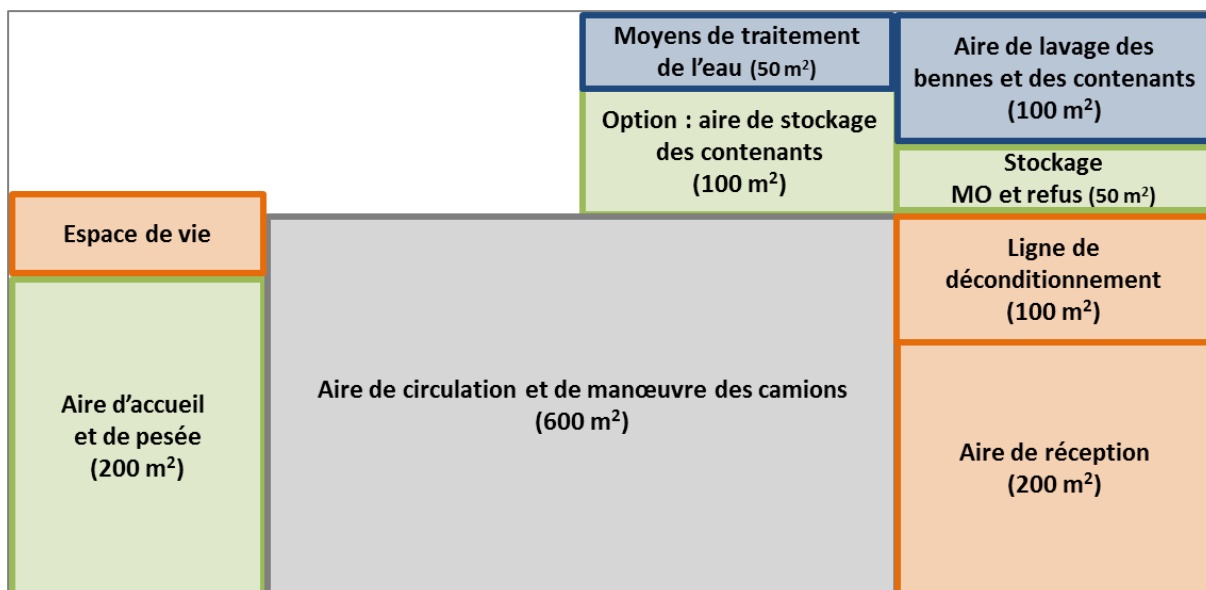


Figure 7 : Exemple d'emprise au sol des différentes zones composant une installation de déconditionnement de faible capacité (les aires couvertes sont indiquées en orange)

Pour chacune des zones, les précisions suivantes sont apportées :

- Les surfaces ci-dessus sont données à titre indicatif et sont variables selon la capacité du site et les modalités de stockage des biodéchets.
- L'entrée de l'installation est conçue pour faciliter l'intervention des moyens d'intervention. L'aire de pesée est composée d'un pont-basculé et des moyens d'enregistrement des flux entrants et sortants. L'espace d'accueil peut être réduit à sa plus simple expression selon le niveau d'automatisation des procédures d'accueil.
- L'aire de circulation permet aux camions de manœuvrer. Pour cette raison, elle représente la zone la plus importante de l'installation. Elle est adaptée à la configuration des lieux et au type de camion collectant les déchets. Elle est également adaptée pour accueillir des semi-remorques pour le transfert de la matière organique.
- L'aire de lavage est adaptée en fonction des modes de collectes. Pour le lavage des contenants, un tunnel de lavage ou une zone de lavage au jet haute pression peut être implantée. Le lavage des bennes peut ne pas nécessiter d'espaces particuliers s'il est réalisé sur l'aire de réception.
- L'aire de réception peut être constituée d'alvéoles au sol sur lesquelles les biodéchets sont directement déchargés et repris au chargeur pour alimenter la trémie. Cette configuration occupe beaucoup de place mais permet un examen visuel des biodéchets réceptionnés. Elle peut également être composée d'une trémie enterrée. Dans le cas, d'une gestion uniquement de contenant type caisse palette ou bac, une trémie hors sol suffit et il n'est pas nécessaire de disposer d'alvéoles au sol (solution prenant le moins de place).
- Les moyens de stockage de la pulpe organique peuvent être constitués de cuves verticales permettant un plus grand gain de place. Il peut également être constitué d'un simple moyen de stockage tampon si l'installation est implantée sur un site de valorisation matière et l'alimente.
- Les moyens de traitement des effluents liquides ne requièrent pas de surfaces importantes et doivent atteindre une performance conforme aux exigences de l'autorisation d'exploiter. Les jus provenant du déconditionnement et les eaux de lavage y sont orientés. Une surface supplémentaire est potentiellement nécessaire si des cuvettes de rétention sont installées pour collecter l'eau de pluie et pouvoir la réutiliser. Selon la configuration du site, les moyens pour parer à un déversement du plus grand moyen de stockage de la matière organique peut également demander une surface supplémentaire.

4.1.2. Enquête et visites de site

4.1.2.1. Présentation des sites

Cinq installations avaient été sélectionnées par l'ADEME. Une des cinq installations sélectionnées ne pouvant plus être disponible, le groupement de bureau d'études a trouvé une autre installation volontaire afin d'effectuer le nombre de visites initialement prévu.

Tableau 7 : Présentation des sites visités

Département	Equipement de déconditionnement	Date de mise en service de l'installation de déconditionnement
56	Atritor TS3096	Février 2020
88	Flexidry GreenCreative	2018
22	Flexidry GreenCreative	Janvier 2020
76	Flexidry Green Creative	2017
68	SMICON SMIMO 120	2012

Ces cinq installations ont les caractéristiques suivantes :

- Elles ont été mises en service entre 2012 et 2020 ;
- Elles traitent entre 2 000 et 22 550 tonnes par an de biodéchets emballés ;
- Elles sont installées sur un site de méthanisation, qui valorise la pulpe organique issue du déconditionnement ;
- Une d'entre elles alimente plusieurs unités de méthanisation ;
- La ligne de déconditionnement d'une des installations comprend, à la suite de l'équipement de déconditionnement, un tri aérodynamique et une presse des refus et une centrifugation de la pulpe organique ;
- Deux flux uniques sortent de ces lignes de déconditionnement : pulpe organique et refus.

Les biodéchets traités par ces installations proviennent principalement de l'industrie agroalimentaire, des GMS et de la restauration collective et commerciale. Une seule des installations traitait également les biodéchets triés à la source issus des ménages et de la restauration.

Les flux sortants de ces installations sont gérés comme suit :

- La pulpe organique est soit injectée directement dans le process de méthanisation (3 sites sur 5) soit stockée dans des cuves en attente de traitement par méthanisation (2 sites sur 5).
- Les refus sont stockés dans des bennes avant d'être collectés pour incinération (4 sites sur 5) ou enfouissement (1 site).

Sur l'ensemble de ces installations, un ajout d'eau est effectué lors du processus de déconditionnement, entre 0,27 et 2 m³/h.

4.1.2.2. Avertissement important

Des essais ont été mis en œuvre lors des visites de sites. Ils ont permis d'observer le fonctionnement des lignes de déconditionnement et de réaliser des prélèvements sur les flux sortants. Le protocole mis en œuvre a pour objectif principal de déterminer le taux de captation de la matière organique et son taux d'épuration. Les prélèvements ont été effectués :

- Au niveau du stockage pour les refus,
- Au niveau de l'écoulement des flux sortant ou de l'équipement de stockage pour la pulpe organique.

Les essais ont été calibrés pour s'intégrer lors d'une visite n'excédant pas quatre heures.

Il est important de rappeler les limites de l'enquête et son objectif initial : réaliser une photographie du fonctionnement des installations de déconditionnement et poser les bases d'un protocole d'évaluation des performances.

Ainsi, avant de présenter le résultat des essais, le lecteur est averti que les performances d'un équipement de déconditionnement sont fortement influencés par le type de biodéchets déconditionnés et que, de ce fait les teneurs en indésirables mesurées ne sont qu'indicatives et ne sont pas suffisantes pour refléter les performances habituelles d'un site ou d'une technologie. D'autre part, le nombre de sites visités est bien trop faible pour permettre de dresser un bilan de la filière dans son intégralité. Pour finir, les prélèvements ont été effectués sur une demi-journée de production uniquement, le nombre d'échantillons prélevés est donc insuffisant pour être refléter les performances habituelles d'un site, notamment du fait de la saisonnalité des biodéchets emballés traités.

Il est également rappelé que la comparaison de ces valeurs avec les limites de la norme NFU 44-051 pour les indésirables doit prendre en compte les éléments suivants :

- Cette norme ne s'applique qu'à un amendement organique et non au flux de matière organique sortant d'un équipement de déconditionnement qui est un déchet à traiter. La méthodologie de recherche en indésirables n'est donc pas totalement adaptée à ce type de flux.

- La matière organique issue des installations de déconditionnement est ensuite mélangée à des biodéchets d'autres provenances avant traitement par compostage ou méthanisation ;
- Des équipements avant méthanisation ou compostage peuvent affiner l'épuration (presse, systèmes de décantation, filtration) ;
- Des équipements après méthanisation ou compostage peuvent affiner l'épuration (presse, filtration, tamisage).

Le taux d'impuretés des composts et digestats obtenus peut ainsi être inférieur à celui de la pulpe en sortie des installations de déconditionnement.

De plus, il est important de noter la grande difficulté à mesurer les inertes < 2 mm. Les résultats peuvent être variables d'un laboratoire à l'autre. Pour autant, la surveillance de ce paramètre reste importante, l'objectif n'étant pas de broyer finement les indésirables pour les rendre inférieures à 2 mm.

Pour présenter les résultats, trois catégories sont considérées « impuretés > 2mm », « indésirables > 2mm » et « indésirables » (Figure 8) :

- Les impuretés comprennent les éléments en verre, métaux supérieurs à 2 mm, les films plastique et PSE > 5 mm et les autres plastiques > 2 mm ;
- Les indésirables > 2 mm comprennent les impuretés et les « cailloux-calcaires » > 2 mm ;
- Les indésirables comprennent les deux catégories précédentes ainsi que les éléments fins < 2 mm et les films plastique et PSE de 2 à 5 mm.

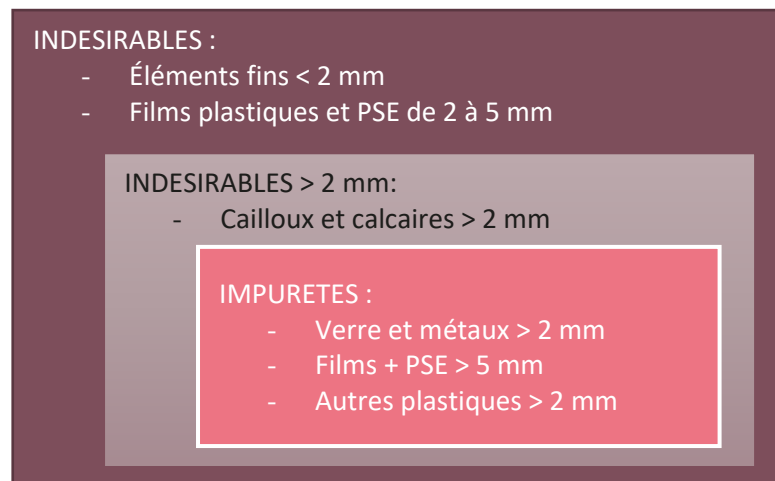


Figure 8 : Définitions des indésirables et des impuretés

Les étapes du test de recherche et de classification des indésirables se résument comme suit : attaque à l'eau de javel (NaClO_3) de la matière organique, rinçage et mise à l'étuve pour séchage, tamisage à 2 et 5 mm, puis tri manuel de chacune des fractions tamisées. Des éléments gras non dissous par l'eau de javel peuvent être comptés comme indésirables inertes.

Ci-dessous est présentée une photographie des éléments fins < 2mm et des films plastiques et PSE de 2 à 5 mm prises à la fin de l'analyse d'un des échantillons.



Figure 9 : Exemple d'éléments fins passant à travers une maille de 2 mm

4.1.2.3. Résultats des essais

En premier lieu, la qualité des biodéchets traités lors des essais est présentée. Elle se base pour partie sur les résultats des analyses sur les flux sortants détaillés dans les points suivants. Ensuite, conformément aux objectifs du protocole les taux de captation et d'épuration de la matière organique ont été estimés sur la base des résultats des analyses des flux sortants.

Aucune analyse d'échantillon ou caractérisation n'a été effectuée sur le flux entrant. Il est reconstitué à partir des analyses des flux sortants et de la quantité d'eau ajoutée.

Trois facteurs d'incertitude doivent être pris en compte pour appréhender ces résultats :

- Celui sur les mesures de poids réalisées pendant l'essai ;
- Celui sur la représentativité des échantillons ;
- L'incertitude liée à l'analyse en laboratoire elle-même.

- **Provenance et qualité des biodéchets entrants**

Les flux entrants traités pendant les essais sont constitués principalement d'un mélange de biodéchets emballés de la GMS, de l'IAA, de la restauration collective et commerciale.

Le tableau ci-dessous présente les types de biodéchets emballés traités annuellement sur le site et les biodéchets emballés traités le jour des prélèvements.

Tableau 8 : Biodéchets traités annuellement et le jour du prélèvement sur chaque site

Installation	Intrants traités annuellement	Intrants le jour des prélèvements
Site 1	Flux régulier : Palbox restauration/GMS Flux ponctuels : Monoproduits de l'IAA	80 % yaourt 20 % palbox restauration/GMS
Site 2	Glaces emballées, briques de crème fraîche, sandwichs, salades composées en barquette, plats cuisinés provenant de l'industrie agroalimentaire	50 % de glaces emballées 30 % crèmes fraîches 20 % de sandwich//plats cuisinés/salades composées
Site 3	Sac de fromage, barquette provenant de CHU, petits pots, fromages, reste alimentaire de cantines	80 % yaourts et petits pots 10 % restauration collective 2,5 % biodéchets des artisans 5 % GMS 2,5 % fromages en sacs
Site 4	GMS vrac et emballés Biodéchets triés à la source issus des ménages, de la restauration privée et collective Biodéchets des IAA vrac et emballés	
Site 5	Lait, yaourts, plats préparés, pizzas, ovoproduits, poudre de lait, viennoiseries, pain, produits surgelés provenant de l'industrie agroalimentaire Parfois fruits et légumes des GMS	Produits surgelés (plats préparés et épinards), lait et poudre de lait

Le taux d'indésirables dans le flux entrant, sur matière sèche, est relativement équivalent pour chacun des sites. Ce taux est de 11 à 16 % du flux entrant sur matière sèche. Le tableau ci-dessous présente la reconstitution du flux de biodéchets entrants réalisée sur la base des résultats des analyses menées en laboratoire sur les flux sortants. Les résultats sont présentés sur matière sèche et arrondis au dixième.

Tableau 9 : Reconstitution de la composition de la partie d'indésirables du flux entrant (en % de MS arrondi au dixième)

Site	Total des potentiels indésirables	Indésirables					
		Indésirables > 2mm					
		Impuretés					
		Eléments fins potentiellement indésirables < 2 mm ²	Cailloux-calcaire > 2 mm	Verre > 2 mm	Métaux > 2 mm	Films et PSE > 5 mm	Autres plastiques > 2 mm
Site 1	11,4 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0 %	1 %	10,1 %
Site 2	15,1 %	0,2 %	0 %	0 %	0 %	1,2 %	13,6 %
Site 3	15,7 %	0,1 %	0,1 %	0 %	0 %	1,2 %	14,2 %
Site 4	12,8 %	0,6 %	3,4 %	0,2 %	0,5 %	3,2 %	5 %
Site 5	9,6 %	0,1 %	0 %	0 %	0 %	2,5 %	6,9 %

Ces flux entrants ont une teneur importante en indésirables, notamment des emballages plastique, au regard des seuils attendus sur matière sèche pour un amendement organique normé AFNOR NFU 44-051. Ils nécessitent une opération d'épuration avant leur valorisation organique.

Les mélanges de flux emballés et non emballés influencent le taux d'indésirables du flux entrant. Il est à noter que le flux entrant humide apparait comme faiblement pollué, de l'ordre de 3 à 5 % d'indésirables sur matière brut.

La plus forte teneur en cailloux-calcaire > 2 mm dans les intrants du site 4 peut s'expliquer par la présence de biodéchets triés à la source provenant des ménages, type d'intrant qui n'est pas traité sur les quatre autres sites.

• Configuration de l'équipement de déconditionnement

Le tableau ci-dessous présente la capacité de traitement, la taille de maille du crible de séparation et les quantités d'eau et d'énergie utilisée pour chacun des cinq sites visités. Il est important de rappeler que ces essais, réalisés sur une demi-journée, ne présentent qu'une photographie du fonctionnement de l'équipement.

Tableau 10 : Capacité de traitement sur matière brut, taille de la maille, quantité d'eau et consommation électrique

Site visité	Capacité de traitement	Temps de fonctionnement annuel	Taille de la maille du crible de séparation	Quantité d'eau ajoutée	Consommation électrique
Site 1	5 t/h	1 000 h/an	12 mm	2 m ³ /j	6 kWh/t
Site 2	3 t/h	1 200 h/an	12 mm	0,27 m ³ /h	2 kWh/t
Site 3	2,5 t/h	800 h/an	8 mm	0,38 m ³ /h	9 kWh/t
Site 4	10 t/h	2 300 h/an	10 mm, 15 mm et 25 mm	0,96 m ³ /h	11 kWh/t
Site 5	7 à 8 t/h	1 000 h/an	10 mm	2 m ³ /h	4,5 kWh/t

Les capacités de traitement atteintes sont généralement inférieures aux caractéristiques techniques maximales annoncées par les fabricants. Les tailles de maille des cribles correspondent aux tailles les plus petites indiquées par les fabricants sauf pour un site (taille moyenne).

4.1.2.4. Taux d'épuration des indésirables et taux de captation de la matière organique

Le tableau ci-dessous présente le taux d'épuration des indésirables établis sur la base des résultats d'analyses des flux sortants en reconstituant le flux entrant.

² Il faut rappeler la grande difficulté de mesure des teneurs en inertes indésirables < 2 mm, induisant une variabilité importante de cette mesure selon l'opérateur. Les performances d'épuration affichées par les vendeurs de déconditionneurs concernent généralement les indésirables cités par la norme AFNOR NFU 44-051, c'est-à-dire > 2 mm ou > 5 mm. Il n'est pas admissible de broyer finement les indésirables pour les faire « disparaître » sous les seuils granulométriques définis par cette norme.

Ces résultats proposent une image identique à celle du taux d'impuretés de la matière organique : le taux d'épuration diminue fortement en prenant en compte les teneurs en éléments fins. Cette donnée n'est pas communiquée par les fabricants contrairement au taux d'impuretés de la matière organique. Les taux d'épuration des impuretés pour les cinq sites semblent satisfaisants ($\geq 94\%$).

Tableau 11 : Estimation du taux d'épuration des impuretés et indésirables des lignes de déconditionnement des sites visités (en % MS)

	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5
Taux d'épuration de de l'ensemble des indésirables	96,2 %	98 %	98,5 %	93,9 %	98 %
Taux d'épuration des indésirables > 2 mm	97,1 %	99,5 %	99,1 %	95,9 %	99 %
Taux d'épuration des impuretés (Verre, métaux, plastiques > 2 mm)	98 %	99,7 %	99,6 %	94,2 %	99,1 %

Le tableau ci-dessous présente le taux de captation de la pulpe organique.

Tableau 12 : Estimation du taux de captation de la matière organique des lignes de déconditionnement visitées (en % MS)

	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5
Taux de captation	85,9 %	90,3 %	98,5 %	87,8 %	88,4 %

4.1.2.5. Traitement de la matière organique et des refus

L'intérêt du déconditionnement des biodéchets emballés est de permettre la valorisation organique des biodéchets en éliminant les indésirables de la matière organique valorisable. La valorisation de la matière organique issue du déconditionnement peut par exemple être réalisé par exemple par compostage ou méthanisation. Dans le cas des cinq sites visités, la matière organique est valorisée par méthanisation.

Sur les cinq sites visités, les refus sont principalement envoyés en incinération. Un seul site envoie les refus en enfouissement.

Il est intéressant d'étudier la possibilité de valoriser les refus dans d'autres filières que celles de l'enfouissement ou de l'incinération. Les filières qui pourraient être envisagées sont notamment :

- Les CSR
- La gazéification
- Le tri en centre de tri pour valorisation matière
- **Valorisation des refus issu du déconditionnement de biodéchets emballés en tant que CSR**

Pour rappel sur les CSR, l'ADEME précise, sur la page dédiée de son site internet, notamment que :

« À partir de déchets non dangereux solides, et après extraction de la fraction recyclable, les CSR sont préparés de façon à permettre une valorisation énergétique performante en chaleur et/ou en électricité, en substitution d'énergie fossile. Ils sont stockables et se caractérisent par un potentiel énergétique relativement élevé (mesuré par le Pouvoir calorifique inférieur (PCI)). La teneur en polluants (halogénés, métaux lourds...), en humidité et leur granulométrie doivent être compatibles avec les procédés de valorisation énergétique, de traitement des fumées et avec les exigences réglementaires sur le devenir des cendres.

Les CSR peuvent être rangés en deux catégories en fonction de la provenance des déchets :

Les CSR sont issus des refus de tri des déchets des activités économiques, des collectes sélectives des emballages, des encombrants de déchèteries (déchets secs et riches en résidus de plastiques, bois, papier... non recyclables dans les conditions actuelles). On distingue :

- les CSR de haute qualité (ou qualité cimentière) (PCI > 18 MJ/kg et teneur en chlore < 0,5 %), principalement utilisés en cimenteries en France ;
- et les CSR de bonne qualité (PCI entre 12 et 18 MJ chlore < 1,5 %) qui seront destinés à des chaudières dédiées aux CSR.

Les unités de préparation des CSR sont réglementairement des unités de traitement des déchets. »

Trois paramètres clés caractérisent un CSR : le PCI, la teneur en chlore et l'humidité. Les deux premiers paramètres ont été analysés pour compléter la description de la qualité des refus.

Le tableau suivant présente le PCI, la teneur en chlore et le taux de matière sèche des refus sur les cinq sites visités.

Tableau 13 : PCI, teneurs en chlore et en matière sèche des refus pour chacun des sites visités

	PCI (MJ/kg)	Teneur en chlore sur MS	Taux de MS	Teneurs en incombustibles
Site 1	22	0,45 %	44,2 %	0 %
Site 2	18	0,48 %	61,4 %	0 %
Site 3	24	2 %	46,1 %	0 %
Site 4	18	0,6 %	51,1 %	19 %
Site 5			78,8 %	0 %

Au regard du PCI et de la teneur en chlore des refus, les refus issus des sites 1, 2 et 4 pourraient représenter un intérêt en filière CSR.

Outre les paramètres de la norme, l'utilisateur du CSR établit des spécifications portant sur la granulométrie, l'humidité, la teneur en cendres, la teneur en polluants (halogènes, métaux lourds, etc.).

Le PCI des refus sur les cinq sites est compris entre 18 et 24 MJ/kg pour tous les sites, ce qui est supérieur à la limite basse de 18 MJ/kg demandée pour un CSR de haute qualité.

La teneur en chlore des refus est très variable d'un site à l'autre. Elle est comprise entre 0,45 et 2 %. Certains sites ont une teneur en chlore conforme à une utilisation en cimenterie (< 0,5 %) ou à une utilisation en chaudière dédiée (< 1,5 %). Un des sites a une teneur en chlore trop importante pour envisager une valorisation des refus en tant que CSR.

Le taux d'humidité des refus est très élevé par rapport aux seuils exigés pour une valorisation en CSR (< 15 %). En effet, les taux d'humidité sont compris entre 21 et 56 %. Avant la production de CRS, il serait donc nécessaire d'abaisser la valeur de l'humidité, au stade de la production des refus et / ou de la préparation des CSR elle-même.

Les teneurs en incombustibles (métaux, verres, cailloux, etc.) sont très variables. En effet, seul un site présente une teneur en incombustibles dans les refus non nulle (19 %). Ceci s'explique par le fait que :

- La ligne de déconditionnement de ce site présente d'autres étapes de tri en sortie de l'équipement de déconditionnement, ce qui permet une meilleure séparation de ce type d'indésirables ;
- Sur les autres sites, ce type d'indésirables est très faiblement présent dans les intrants ($\leq 0,1$ %) et se retrouvent dans la pulpe.

Bien qu'aucun seuil chiffré de la teneur en incombustibles ne soit imposé par les utilisateurs, il est connu que la présence d'incombustibles est une contrainte importante pour les cimentiers. De ce fait, pour une valorisation en tant que CSR, la diminution de ces corps étrangers doit être envisagée au stade de la préparation, mais également au stade de l'obtention des refus, en amont.

De ce fait, en l'état, la valorisation des refus en tant que CSR ne semble pas envisageable. Au minimum, si le taux de chlore est correct, des étapes d'abaissement de l'humidité et de la teneur en incombustibles sembleraient nécessaires.

- **Valorisation par gazéification des refus issus du déconditionnement des biodéchets emballés**

La gazéification appartient à la famille des procédés thermo-chimiques, au même titre que la combustion ou la pyrolyse. Elle permet de valoriser toute matière combustible en gaz combustible (syngas) lui-même ensuite valorisable pour différentes applications énergétiques. Pour un fonctionnement optimal, la gazéification impose des contraintes, essentiellement au niveau du taux d'humidité (< 30 %) et de la granulométrie. Le taux de cendres et leur température de fusion font aussi partie des critères clefs, en fonction de la technologie utilisée.

Tout comme pour la valorisation en tant que CSR, les refus semblent présenter un taux d'humidité trop élevé pour une valorisation par gazéification en l'état.

Des analyses complémentaires doivent être menées sur des paramètres tels que le taux de cendre et les teneurs en polluants (halogènes, métaux lourds) pour déterminer l'intérêt d'une valorisation en tant que CSR ou par gazéification. De plus, la faisabilité d'une valorisation des refus dans l'une de ces filières semblent devoir être évaluée au cas par cas, au vu notamment de la forte disparité dans les teneurs en chlore entre les différents sites.

Les analyses réalisées dans le cadre de la présente étude ont été faites à titre exploratoire pour présenter une première image de la qualité des refus.

4.1.2.6. Enseignements des essais réalisés

Les cinq essais menés permettent de tirer des premiers enseignements sur la performance des installations de déconditionnement. Cependant, pour être conclusifs, ils devraient être confirmés lors d'une campagne d'essais sur des temps plus longs, sur davantage d'échantillons, de technologies et d'équipements de déconditionnement différents.

Les éléments suivants ont pu être établis :

- **Typologie de biodéchets traités sur les installations de déconditionnement**

Il a été confirmé que les installations de déconditionnement traitent une diversité de biodéchets et pas uniquement des biodéchets emballés issues des GMS et de l'IAA. Ces installations permettent également l'épuration des erreurs de tri des biodéchets triés à la source issus des ménages et de la restauration collective et commerciale. En effet, trois sites sur les cinq visités réceptionnent des biodéchets triés à la source provenant de la restauration et un site réceptionne également des biodéchets triés à la source provenant des ménages.

- **Acceptabilité de biodéchets entrants**

Comme indiqué par les fabricants, tous les types de biodéchets et d'emballages sont acceptés par les équipements. Cependant, les exploitants donnent des consignes de limitation du verre à leurs clients. Il apparaît ainsi que la qualité du tri est prédominante pour obtenir une pulpe organique de qualité.

Sur tous les sites, un contrôle visuel poussé est mené avant traitement et les gros éléments indésirables sont systématiquement retirés manuellement.

Certains sites ont mentionnés une récurrence des erreurs de tri dans les flux de biodéchets des GMS, ce qui les incitent à refuser ce type d'intrants. Il semble pertinent de sensibiliser la filière GMS au tri des biodéchets et à l'importance de celui-ci.

- **Capacité de traitement**

La capacité de traitement effective des installations s'est avérée parfois inférieure aux données annoncées par les fabricants. Cela est dû au fait que la nature des intrants influe sur la capacité de traitement. Pour certains types d'intrants, la capacité de traitement peut donc être inférieure à la capacité maximale annoncée par les fabricants.

- **Qualité du broyage**

Comme cela a été relevé lors des essais, la forme et la taille des refus s'avèrent très variables d'un site à l'autre. Au-delà de l'influence de la qualité du tri, la création d'éléments fins < 2 mm semble plus importante lorsque les emballages sont découpés en petits morceaux.

- **Qualité de la pulpe organique**

Sauf sur un site, la qualité de la pulpe organique semble satisfaisante pour s'affranchir d'une étape complémentaire d'épuration avant ou après méthanisation ou compostage pour atteindre les exigences posées pour le retour au sol. Un seul site réalise deux étapes complémentaires de tri (tri aéroulque et filtre à tambour) avant valorisation de la pulpe car les intrants qu'il réceptionne contiennent notamment un taux non négligeable de cailloux-calcaire (3,4 % contre < 0,1 % sur les autres sites) que l'équipement de déconditionnement ne permet pas de trier efficacement.

- **Qualité des refus**

Les quantités de MONS retrouvées dans les refus ne sont pas négligeables. En effet, les taux de captation de la matière organique sont compris entre 85 et 90 %.

Ce taux pourrait être augmenté en intégrant un système de lavage efficace des refus en sortie de l'équipement de déconditionnement afin de récupérer la matière organique présente dans ces refus.

- **Consommation d'eau**

Les quantités d'eau ajoutée sont très variables d'un site à l'autre. Un site n'ajoute pas systématiquement de l'eau au process de déconditionnement, mais seulement pour certains intrants (ex : betteraves).

Sur les sites visités, la consommation d'eau s'élève entre 8 et 20 % du tonnage d'intrants). Les quantités d'eau ajoutée sont à considérer lors de la logistique de transport vers les sites de traitement. En revanche, les taux de matière sèche obtenus correspondent aux besoins des usines de méthanisation fonctionnant par voie humide.

4.2. Coût d'investissement et d'exploitation

Les données présentées dans cette partie ont été fournies par les exploitants des sites visités et par les fournisseurs d'équipements. Les coûts varient beaucoup selon la taille de l'installation.

Il est impossible d'estimer de manière représentative la rentabilité d'un site de déconditionnement de manière générale car celle-ci est dépendante d'un grand nombre de facteurs, notamment de la taille de l'installation, des étapes de tri, du type d'intrants ou encore de l'équipement choisi.

C'est pourquoi, il a été choisi de plutôt présenter des fourchettes de prix afin de donner un premier aperçu des coûts aux exploitants qui seraient intéressés par l'implantation d'un équipement de déconditionnement.

- **L'achat d'équipements**

Le coût d'achat de la ligne de déconditionnement varie beaucoup en fonction :

- De la capacité de traitement de l'installation
- De la présence ou non d'autres étapes de tri en aval de l'équipement de déconditionnement.

Pour les sites dont la ligne de déconditionnement n'est composée que de l'équipement de déconditionnement, le coût d'investissement s'élevait à environ 300 kEUR.

Les fournisseurs d'équipements ont signalé des coûts allant de 27 à 500 kEUR.

- **Intrants**

Les fournisseurs d'intrants payent le traitement de leurs biodéchets sur le site de déconditionnement. Le prix du traitement sur le site de déconditionnement varie en fonction de différents facteurs :

- Le type d'emballage
- Le pouvoir méthanogène du biodéchet
- Du taux d'erreurs de tri potentiels
- De la nécessité d'un déconditionnement manuel préalable (gros cartons, palettes)
- De la prestation de lavage des palbox ou non

Le prix facturé observé était de 35 à 72 EUR/t.

- **Le traitement des refus**

Le coût de traitement des refus est variable selon la filière vers laquelle ils sont dirigés et selon la localisation de l'installation. Pour le site qui envoyait les refus en enfouissement, le coût s'élevait à 110 EUR/t.

Pour l'incinération, le coût était de 125 EUR/t en moyenne, auquel s'ajoute environ 200 EUR/an pour le transport.

- **Traitement de la pulpe organique**

Les installations de déconditionnement visitées étant situées sur des installations de méthanisation, la pulpe organique est directement traitée par méthanisation, ce qui ne représente pas de coût supplémentaire.

- **Personnel**

Le personnel réalise les tâches suivantes :

- Réception et contrôle des intrants,
- Nettoyage, contrôles visuels et entretien de la ligne de déconditionnement,
- Lavage des contenants et des roues des véhicules de transport des intrants.

Le nombre de salariés nécessaires à la mise en œuvre d'un équipement de déconditionnement dépend de la taille de l'installation et donc de la quantité d'intrants traités. La mise en œuvre d'un équipement de déconditionnement nécessite l'emploi d'une personne à temps plein au minimum, pour 6 à 8 h de travail par jour.

Les sites visités traitant de 2 000 à 10 000 t/an de biodéchets emballés employaient 1 personne. Le site visité qui traitait plus de 20 000 t/an de biodéchets emballés employait 2 personnes.

- **Maintenance**

L'entretien d'un équipement de déconditionnement semble relativement simple. Il consiste à nettoyer l'équipement et au contrôle visuel de l'état des pièces tous les jours, au graissage régulier et à la vidange annuelle des boîtiers.

De ce fait, la maintenance simple est effectuée par l'exploitant. Certains exploitants ont fait le choix d'un contrat de maintenance avec le constructeur. Le coût de maintenance est très variable en fonction de la taille de l'installation, de la complexité du process et des équipements annexes à l'équipement de déconditionnement. Dans le cas d'un contrat de maintenance, le coup de maintenance s'élève à environ 9 kEUR/an pour l'équipement de déconditionnement seul. Un des exploitants visités réalise l'intégralité de la maintenance, sans contrat. La maintenance de son équipement s'élève à 2,5 kEUR/an environ, en fonction des pièces qu'il est nécessaire de remplacer.

- **Consommables**

Une unité de déconditionnement consomme de l'eau et de l'électricité.

La consommation d'eau et d'électricité par tonne de matière traitée dépend de l'équipement choisi et du type d'intrants.

La consommation d'eau des sites visités s'élevait entre 8 et 20 % du tonnage intrant. Les fournisseurs d'équipements affichaient entre 0 et 25 % du tonnage intrant.

La consommation en électricité était de 4 et 11kWh par tonne de matière brut traitée. Les fournisseurs d'équipements affichaient une consommation électrique entre 5 et 10 kWh par tonne de matière brut traitée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR. Caractérisation des déchets – Prélèvement des déchets – Procédure-cadre pour l’élaboration et la mise en œuvre d’un plan d’échantillonnage = Characterization of Waste – Sampling of waste materials – Framework for the preparation and application of a Sampling Plan = Charakterisierung von Abfällen – Probenahme von Abfällen – Rahmen für die Vorbereitung und Anwendung eines Probenahmeplans. Norme française NF EN 14899. Avril 2006, Indice de classement : X 30-400, 24 pages.
- Fachverband Biogas. Hintergrundpapier H-010 Entpackung von Lebensmittelabfällen und Abtrennung von Fremdstoffen. 2020

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 : Rubrique 2791 « Installation de traitement de déchets non dangereux à l’exclusion des installations visées par les rubriques 2515, 2711, 2713, 2714, 2716, 2720, 2760, 2771, 2780, 2781, 2782, 2794, 2795 et 2971 »	10
Tableau 2 : Synthèse des réponses aux questionnaires adressés aux fabricants	19
Tableau 3 : Classification des technologies de déconditionnement	26
Tableau 4 : Activité principale des sites de déconditionnement en activité en France en 2020	26
Tableau 5 : Fabricants des équipements de déconditionnements installés en France	27
Tableau 6 : Technologies de déconditionnement installés en France	27
Tableau 7 : Présentation des sites visités	37
Tableau 8 : Biodéchets traités annuellement et le jour du prélèvement sur chaque site	39
Tableau 9 : Reconstitution de la composition de la partie d’indésirables du flux entrant (en % de MS arrondi au dixième) ..	40
Tableau 10 : Capacité de traitement sur matière brut, taille de la maille, quantité d’eau et consommation électrique	40
Tableau 11 : Estimation du taux d’épuration des impuretés et indésirables des lignes de déconditionnement des sites visités (en % MS)	41
Tableau 12 : Estimation du taux de captation de la matière organique des lignes de déconditionnement visitées (en % MS)	41
Tableau 13 : PCI, teneurs en chlore et en matière sèche des refus pour chacun des sites visités	42
Tableau 14 : Taux de matière sèche et de matière organique relevés dans la pulpe organique	48
Tableau 15 : Taux d’impuretés et d’indésirables sur sec relevés dans la pulpe organique	48
Tableau 16 : Taux de matière sèche et de matière organique relevés dans les refus	49
Tableau 17 : Taux d’impuretés et d’indésirables relevés dans les refus	49

FIGURES

Figure 1 : Schéma des points de prélèvements possibles des refus et de la pulpe	14
Figure 2 : Schéma générique d’une ligne de déconditionnement	25
Figure 3 : Localisation des installations de déconditionnement en France (au 21/04/2020)	27
Figure 4 : Schéma générique d’une ligne de déconditionnement intégrant un broyeur séparateur	30
Figure 5 : Schéma générique d’une ligne de déconditionnement intégrant une presse à vis	31
Figure 6 : Schéma générique d’une ligne de déconditionnement hydromécanique	31
Figure 7 : Exemple d’emprise au sol des différentes zones composant une installation de déconditionnement de faible capacité (les aires couvertes sont indiquées en orange)	36
Figure 8 : Définitions des indésirables et des impuretés	38
Figure 9 : Exemple d’éléments fins passant à travers une maille de 2 mm	38

SIGLES ET ACRONYMES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AFNOR	Association française de normalisation
GMS	Grandes et moyennes surfaces
IAA	Industries agroalimentaires
MO	Matière organique
MONS	Matière organique non synthétique
MS	Matière sèche
PCI	Pouvoir calorifique inférieur

ANNEXE 1 : RESULTATS DETAILLES DE L'ANALYSE D'ECHANTILLONS DE MATIERE ORGANIQUE PRELEVES LORS DES ESSAIS MENES SUR LES CINQ INSTALLATIONS DE DECONDITIONNEMENT

Pour bien comprendre les résultats du taux d'indésirables des échantillons de pulpe organique prélevés présentés dans le tableau ci-dessous, il importe de garder en mémoire l'avertissement présenté en point 4.1.2.2.

Les tableaux ci-dessous présentent la qualité de la pulpe organique obtenue. Ces données ont permis de déterminer le taux d'épuration et de captation.

La somme indésirables totaux et MO est inférieure ou supérieure à 100%, ce qui s'explique par les différentes sources d'imprécision (prise d'échantillon, pertes au cours des essais, pesées, etc.).

Tableau 14 : Taux de matière sèche et de matière organique relevés dans la pulpe organique

Site	%MS	%MO sur sec
Site 1	24,1 %	91,9 %
Site 2	32,8 %	93,5 %
Site 3	22,9 %	93,6 %
Site 4	21,1 %	87,3 %
Site 5	21,1 %	92,8 %

Rappel : les sites ont été anonymisés et cette numérotation est sans rapport avec le Tableau 7.

Tableau 15 : Taux d'impuretés et d'indésirables sur sec relevés dans la pulpe organique

Site	Taux d'impuretés > 2 mm (verre, métaux, plastique)	Taux d'indésirables > 2 mm (verre, métaux, plastique, cailloux-calcaire)	Taux d'indésirables total, y compris les éléments fins < 2 mm
Site 1	0,3 %	0,44 %	0,58 %
Site 2	0,05 %	0,07 %	0,36 %
Site 3	0,08 %	0,18 %	0,28 %
Site 4	0,65 %	0,65 %	0,99 %
Site 5	0,11 %	0,12 %	0,25 %

Rappel : les essais ont été conduits sur une durée courte et le nombre d'échantillons prélevés est faible. De plus les performances des sites sont sujettes à des variations en fonction notamment de la composition des déchets entrants.

ANNEXE 2 : RESULTATS DETAILLES DE L'ANALYSE D'ECHANTILLONS DE REFUS PRELEVES LORS DES ESSAIS MENES SUR LES CINQ INSTALLATIONS DE DECONDITIONNEMENT

Pour bien comprendre les résultats de l'analyse des indésirables des échantillons de refus prélevés présentés dans le tableau ci-dessous, il importe de garder en mémoire l'avertissement présenté en point 4.1.2.2. Il y est notamment rappelé que la mesure de la teneur en éléments fins < 2 mm est particulièrement délicate à mettre en œuvre et reste donc dépendante de l'opérateur et que le taux de MO dans le refus est faussé par la forte présence de plastique (matière organique non synthétique).

Les tableaux ci-dessous présentent la qualité des refus obtenus. Ces données permettront de déterminer le taux d'épuration et de captation.

La somme indésirables totaux et MO est inférieure ou supérieure à 100%, ce qui s'explique par les différentes sources d'imprécision (prise d'échantillon, pertes au cours des essais, pesées, etc.).

Tableau 16 : Taux de matière sèche et de matière organique relevés dans les refus

Site	%MS	%MO sur sec
Site 1	44,2 %	90,9 %
Site 2	61,4 %	92,6 %
Site 3	46,1 %	80,7 %
Site 4	51,1 %	82,5 %
Site 5	78,8 %	89 %

Tableau 17 : Taux d'impuretés et d'indésirables relevés dans les refus

Site	Taux d'impuretés > 2 mm (verre, métaux, plastique)	Taux d'indésirables > 2 mm (verre, métaux, plastique, cailloux-calcaire)	Taux d'indésirables total, y compris les éléments fins < 2 mm
Site 1	44,7 %	44,7 %	44,7 %
Site 2	95 %	95 %	95 %
Site 3	97,2 %	97,2 %	97,4 %
Site 4	39,5 %	55,9 %	57,4 %
Site 5	44 %	44 %	44 %

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



Les solutions de déconditionnement des biodéchets emballés et leurs performances

L'objectif de l'étude est d'inventorier, classifier, décrire et comparer les performances des différentes technologies de déconditionnement ainsi que de présenter les installations de déconditionnement. Le but est de contribuer au développement de la filière de valorisation des biodéchets.

Les équipements de déconditionnement étudiés dans le présent rapport doivent pouvoir déconditionner un flux de biodéchets emballés en mélange provenant de la filière Grandes et Moyennes surfaces (GMS). Sont hors champ de l'étude les équipements déconditionnant des monoflux ou seulement une partie des flux de la grande distribution.

L'étude se base principalement sur une enquête bibliographique, sur l'analyse des entretiens menés avec les acteurs du déconditionnement et la visite de cinq installations de déconditionnement sur lesquelles des essais ont été menés.

L'étude a permis :

- D'inventorier les fabricants et les technologies existantes d'équipements de déconditionnement de biodéchets emballés
- De mettre en place une méthodologie d'évaluation des performances de ces équipements
- D'élaborer un outil d'aide à la décision pour le choix d'un équipement de déconditionnement

Cette étude améliore les connaissances sur les technologies et les performances des équipements de déconditionnement de biodéchets emballés.

