

MODELISATION DES COUTS DE REFERENCE DE TRI ET DE TRANSPORT -FILIERE REP EMBM ET PAP

Coûts de référence pour la filière
REP emballages ménagers et
papiers graphiques

RAPPORT FINAL

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble des acteurs ayant contribué à l'étude et notamment les personnes ayant participé au comité de suivi :

Catherine JUNG (AFEP)
Philippe THUVIEN (AFEP)
Solène CHAMBARD (CPME)
Benoist BERTON (MEDEF)
Philippe JOGUET (MEDEF)
Nadjib RENAI (RCUBE)
Sylviane OBERLE (AMF)
Stéphane DURU (AMORCE)
Nicolas GARNIER (AMORCE)
André LEGER (AMORCE)
Jean-Michel BUF (ARF)
Bertrand BOHAIN (CNR)
Jacques BORDAT (ALLIANCE RECYCLAGE)
Clément BERNARD (CME)
Lise OLSINA (CME)
Clothilde VERGNON (CME)
Stéphane PANOUE (FEDEREC)
Sophie SICARD (FEDEREC)
Dany DUNAT (FEI)
Philippe BAL (NICOLLIN)
Christophe MALLEVAYS (PAPREC)
Matthieu CARRERE (VEOLIA)
Jean-Christophe GAVALLET (FNE)
Ysaline JEAN-JACQUES (FNE)
Caroline MONTALCINO (Censeur d'Etat)
Kevin SAUQUES (DGCCRF)
François COMPTE (DGCL)
Thomas LAJARGE (DGE)
Nadia DADOUCHE (DGPR)
Adeline PATUREAU (DGPR)
Thierry ROLLAND (ADEME)
Stéphane DURAND (CITEO)
Eric FROMONT (CITEO)

CITATION DE CE RAPPORT

Thierry OUDART, Eurecka. ADEME. 2023. Modélisation des coûts de référence de tri et de transport - Filière REP EMBM et PAP : coûts de référence pour la filière REP emballages ménagers et papiers graphiques. 37 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr/>

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 : 2023MA000057

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : EURECKA – OUDART Thierry

Coordination technique – ADEME : VAN de VOORDE Juliette – PASQUIER Sylvain
Direction/Service : Direction de la Supervision des filières REP

SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	5
ABSTRACT	6
1. CONTEXTE ET PRINCIPES DE LA MODELISATION	8
2. EVALUATION DES COUTS DE TRI	8
2.1. Méthodologie	8
2.2. Hypothèses techniques clés retenues.....	10
2.2.1. Dimensionnement général.....	10
2.2.2. Dimensionnement sur les flux entrants	10
2.2.3. Dimensionnement des infrastructures	11
2.2.4. Dimensionnement des process.....	12
2.3. Typologies de centres de tri sélectionnées et Parc de centres de tri	13
2.3.1. Typologies de centres de tri.....	13
2.3.2. Parc de centres de tri	14
2.4. Tonnages.....	15
2.4.1. Tonnes de référence mises en marché.....	15
2.4.2. Composition des flux entrants	16
2.4.3. Evaluation des flux sortants.....	17
2.5. Modélisation des coûts d'investissement	19
2.5.1. Bâtiments et VRD	19
2.5.2. Process.....	20
2.5.3. Etudes	21
2.6. Modélisation des coûts d'exploitation.....	23
2.6.1. Amortissements et taux d'intérêt sur les emprunts.....	23
2.6.2. Gros Entretien Renouvellement	23
2.6.3. Frais de personnel	24
3. EVALUATION DES COUTS DE TRANSFERT ET DE TRANSPORT	29
3.1. Modélisation des coûts de transfert.....	30
3.2. Modélisation des coûts de transport.....	31
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	33
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES	34
SIGLES ET ACRONYMES	35

RÉSUMÉ

Cette étude vise à modéliser des coûts de référence, répondant au besoin réglementaire dans le cadre de la responsabilité élargie des producteurs (REP), pour les centres de tri et pour le transport/transfert en amont des centres de tri dans le cadre d'un système optimisé de collecte et de tri des déchets d'emballages ménagers et de papiers graphiques en métropole.

Les coûts et hypothèses présentés dans le cadre de cette étude ne correspondent donc pas à l'organisation actuelle du tri et du transport/transfert sur le territoire, ni à un service prescriptif qui devrait s'imposer aux collectivités territoriales, mais à une organisation modélisée devant permettre de répondre aux objectifs de performances de collecte et de recyclage, tout en maîtrisant les coûts.

Les données et résultats présentés dans cette étude portent sur des données 2022 en investissement et en exploitation.

Les évolutions prévisionnelles de mises sur le marché et les objectifs de collecte et de recyclage ont été pris en compte à l'horizon 2026. L'évolution du parc de centres de tri et la typologie de ce parc a été mise à jour avec un parc prévisionnel en 2026 de 112 centres de tri en Extension des Consignes de Tri.

Les principaux résultats montrent, pour le tri, une hausse des coûts d'investissement et des coûts d'exploitation sur l'ensemble des postes de dépenses suivant la typologie retenue des centres de tri. Ces hausses sont liées au contexte réglementaire plus strict, aux impacts des mesures de protection incendie des centres de tri, et aux évolutions des coûts de matière première, d'énergie et à l'inflation.

Pour un centre de tri de 35 000 t/an de capacité nominale, typologie la plus représentée du parc en France (31 centres de tri sur 112), les montants d'investissement sont de 23,6 MEUR H.T. et les coûts d'exploitation (hors gestion des refus) sont de 197 EUR H.T./tonne entrante.

Pour les étapes de transfert et transport, les principaux coûts sont :

- des coûts de transfert variant entre 20 EUR et 30 EUR H.T./t suivant le milieu et le tonnage transféré.
- des coûts de transport de 90 EUR H.T./h sur des flux multimatériaux avec une densité de 0,12 en semi-remorque.

Ces coûts unitaires seront utilisés pour évaluer le coût global de référence du système optimisé de collecte sélective et de tri en France des emballages ménagers et des papiers graphiques.

ABSTRACT

This study aims to model "reference" costs, meeting the regulatory need in the context of extended producer responsibility (EPR), for Material Recycling Facility (MRF) and for transport/transfer upstream of sorting centres within the framework of an optimized system for collecting and household packaging and paper sorting in mainland France.

The costs and assumptions presented in this study do not represent the current organization of sorting and transport/transfer, nor do they constitute a prescriptive service imposed on local authorities. Rather, it is a modelled organization designed to meet performance goals for collection and recycling while controlling costs.

The data and results presented in this study are based on data from 2022, including investment and operating costs. Future market trends and planned objectives of collection and recycling have been taken into account for 2026. An updated forecast of the number of sorting plants, with a total of 112 sorting centres in 2026, has also been provided.

For sorting, the main results indicate an increase in both investment costs and operating costs for all cost categories whatever to the size of sorting centre. These increases are due to the stricter regulatory context, the impacts of fire safety measures, and rising material and energy prices inflation.

For example, a 35,000-ton annual capacity (the most common in France with 31 plants out of a total of 112), investment amounts would be €23.6 million and operational expenses (excluding refuse management) would be €197 per ton of incoming material.

As for transport and transfer stages, the main costs are:

- transfer fees varying between €20 and €30 per ton depending on the region and volume transferred,
- transport costs of €90 per hour for multi-material source selective collection (mix paper and packaging) with a density of 0.12 on a semitrailer.

These unit costs will be used to evaluate the overall cost of France's optimized selective collection and sorting system for household packaging and paper.

AVERTISSEMENT

Cette étude vise à modéliser des coûts de référence de tri et de transport/transfert en amont des centres de tri dans le cadre d'un système optimisé de collecte et de tri des déchets d'emballages ménagers et des papiers graphiques en métropole.

Cette modélisation a été réalisée par le cabinet de conseil EURECKA entre février et juin 2023, sous maîtrise d'ouvrage de l'agence de la transition écologique (ADEME). Les membres du COSUI, réunissant les différentes parties prenantes, ainsi que les éco-organismes de la filière ont été consultés.

L'objectif est de **modéliser des coûts de référence, répondant au besoin réglementaire dans le cadre de la responsabilité élargie des producteurs (REP)** d'établir les coûts d'un système optimisé de collecte et de tri des emballages ménagers et des papiers graphiques.

Les coûts et hypothèses présentés dans le cadre de cette étude ne correspondent pas à l'organisation actuelle du tri et du transport/transfert sur le territoire, que ce soit en termes de processus de collecte, d'outil industriel de tri des déchets ou même de performances de recyclage des déchets, mais à une organisation modélisée devant permettre de répondre aux objectifs de performances de collecte et de recyclage, tout en maîtrisant les coûts. **Ils ne correspondent pas non plus à un service prescriptif qui devrait s'imposer aux collectivités territoriales.**

La modélisation repose en particulier sur les hypothèses suivantes :

- Une extension des consignes de tri portant sur 100% du territoire
- Une harmonisation des consignes de tri et du schéma de collecte multimatériaux sur l'ensemble du territoire prenant en compte le flux développement souples et rigides pour l'ensemble du parc
- La consigne pour recyclage n'est pas mise en place
- Les coûts de surtri des flux développement ne sont pas pris en compte
- La modernisation du parc de centre de tri sur l'ensemble du territoire, avec des installations adaptées à trier les flux en ECT ; ce parc est défini en tenant compte des organisations territoriales existantes
- Le site et terrain nécessaire pour la construction du centre de tri et de transfert est une zone sans contraintes techniques et environnementales spécifiques, ne nécessitant pas des aménagements complémentaires (fondations particulières, zone de compensation pour zone humides, espace protégé...)
- Le bâtiment modélisé est un bâtiment de type industriel « classique » sans intégration architecturale, ni contrainte constructive spécifique, en particulier les contraintes spécifiques de sol et sous-sol (fondations profondes, zones inondables...)
- Le bassin de population dimensionné pour chaque centre de tri correspond à sa capacité nominale
- Le site fonctionne en marche nominale (soit 2 postes de 7h/jour, 5 jours par semaine, 52 semaines par an) déduits en moyenne de 10 jours fériés par an
- Les aménagements prévus sont spécifiques et limités seulement au centre de tri et ne prennent pas en compte des besoins complémentaires ne rentrant pas dans le cadre de ces évaluations (autres activités sur le site : UVE, transfert, déchèterie...)
- Les locaux prévus sont spécifiques et limités seulement aux besoins du centre de tri et n'intègrent pas des locaux complémentaires à l'usage de la collectivité ou de l'opérateur, ni les cas particuliers de recours à l'insertion nécessitant des besoins supplémentaires en locaux sociaux et bureaux spécifiques (formation, encadrement)
- Les aménagements complémentaires de communication ne sont pas pris en compte (circuit de visite complet...)¹
- Les aménagements extérieurs sont limités au minimum et ne prennent pas en compte des demandes spécifiques liées au terrain ou à l'environnement du site
- Il n'est pas pris en compte de dispositions spécifiques imposées dans certains marchés
- Le risque d'aléas est pris en compte à travers le taux de disponibilité du centre de tri et les frais de gestion. Les aléas plus exceptionnels ne sont pas pris en compte
- Les frais de personnel sont réputés prendre en compte l'ancienneté moyenne de la profession ainsi que le coût moyen du personnel selon une pondération entre les prestataires privés et les régies
- Les chiffres indiqués dans le présent rapport sont la modélisation d'hypothèses retenue pour la mi-2022
- Les modèles de centres de tri développés dans le cadre de cette étude sont optimisés par rapport aux caractéristiques des flux de collecte acceptés alors que dans la réalité, une certaine flexibilité sera nécessaire pour prendre en compte la variabilité et l'évolution des caractéristiques des flux entrants, ce qui engendre des coûts complémentaires

Les coûts présentés ne doivent pas être dissociés de la prise en compte de l'ensemble de ces hypothèses. Ainsi, dans le cas d'une contrainte ou d'une exigence particulière s'écartant de ces hypothèses, une attention particulière doit être portée à son incidence sur les coûts.

¹ Dans le cadre des coûts de référence de la REP, les coûts de ces aménagements pourraient relever de la communication.

1. Contexte et principes de la modélisation

Dans le cadre de travaux d'actualisation des coûts unitaires de référence de collecte et de tri des déchets d'emballages ménagers et de papiers graphiques menés par l'ADEME en préparation du réagrement 2024-2029 de la filière REP, une réévaluation des hypothèses de modélisation des coûts de tri et de transport/transfert est apparue nécessaire.

En effet, à date, l'évaluation des coûts de tri et de transport/transfert s'appuyait sur différents travaux de modélisation menés dans le cadre d'études ADEME et/ou CITEO :

- Une modélisation des coûts de tri réalisée lors de l'étude sur l'organisation du tri et du surtri dans le cadre de l'extension des consignes sur les déchets d'emballages ménagers, menée par l'ADEME et CITEO et publiée en mars 2019 (sur la base de données 2017) puis actualisée en juin 2020 (sur la base de données 2019).
- Une modélisation des coûts de transport et de transfert établie en 2020 (sur la base de données 2019).

Plusieurs paramètres présents au sein de ces deux modélisations ayant évolué depuis 2019, la présente étude a eu pour objet la réalisation d'une nouvelle évaluation des deux outils de modélisation cités ci-dessus.

L'année de référence pour cette nouvelle évaluation est l'année 2022 autant que possible. Compte tenu des fluctuations importantes de coûts observées en 2021 et 2022, la prise en compte des coûts est basée sur des données autant que possible à mi-2022 (exemple : indice pour l'évolution des coûts de personnel).

A noter qu'elle portera uniquement sur les coûts des prestations relevant du SPGD (Service Public de Gestion des Déchets). Ainsi, les coûts des centres de surtri ne seront pas évalués, tout comme les coûts de transport au titre des étapes suivant l'étape du centre de tri : transport vers un centre de surtri ou vers un recycleur.

L'évaluation porte sur les coûts et les enveloppes de la métropole. Les territoires d'outre-mer font l'objet de travaux spécifiques. Tous les coûts sont exprimés hors TVA.

Les données présentées dans cette étude portent sur des coûts par typologie de centre de tri et sur des coûts unitaires de transfert et de transport. La consolidation des coûts au niveau national ne fait pas partie de cette étude.

2. Evaluation des coûts de tri

2.1. Méthodologie

La modélisation consiste à reconstituer un coût de tri sur la base d'hypothèses de dimensionnement et de fonctionnement des installations de tri cherchant à représenter les cas les plus fréquents, tout en considérant un fonctionnement optimisé.

Le calcul des coûts de tri dans le "système optimisé" repose sur une modélisation d'un parc de centres de tri modernisé, en métropole, avec des profils de coûts distincts par type de centre et sur les principes suivants :

- Une **extension des consignes de tri** portant sur 100% du territoire
- Une **harmonisation des consignes de tri et du schéma de collecte** multimatériaux sur l'ensemble du territoire prenant en compte le flux développement souples et rigides pour l'ensemble du parc
- La consigne pour recyclage n'est pas mise en place
- Les coûts de surtri des flux développement ne sont pas pris en compte
- La **modernisation du parc de centres de tri sur l'ensemble du territoire**, avec des installations adaptées à trier les flux en ECT ; ce parc est défini en tenant compte des organisations territoriales existantes
- Le site et terrain nécessaire pour la construction du centre de tri et de transfert est une zone sans contraintes techniques et environnementales spécifiques, ne nécessitant pas des aménagements complémentaires (fondations particulières, zone de compensation pour zone humides, espace protégé...)
- Le bâtiment modélisé est un bâtiment de type industriel « classique » sans intégration architecturale, ni contrainte constructive spécifique, en particulier les contraintes spécifiques de sol et sous-sol (fondations profondes, zones inondables...)

- Le bassin de population dimensionné pour chaque centre de tri correspond à sa capacité nominale
- Le site fonctionne en marche nominale (soit 2 postes de 7h/jour, 5 jours par semaine, 52 semaines par an) déduit en moyenne de 10 jours fériés par an
- Les aménagements prévus sont spécifiques et limités seulement au centre de tri et ne prennent pas en compte des besoins complémentaires ne rentrant pas dans le cadre de ces évaluations (autres activités sur le site : UVE, transfert, déchèterie...)
- Les locaux prévus sont spécifiques et limités seulement aux besoins du centre de tri et n'intègrent pas des locaux complémentaires à l'usage de la collectivité ou de l'opérateur, ni les cas particuliers de recours à l'insertion nécessitant des besoins supplémentaires en locaux sociaux et bureaux spécifiques (formation, encadrement)
- Les aménagements complémentaires de communication ne sont pas pris en compte (circuit de visite complet...)
- Les aménagements extérieurs sont limités au minimum et ne prennent pas en compte des demandes spécifiques liées au terrain ou à l'environnement du site
- Il n'est pas pris en compte de dispositions spécifiques imposées dans certains marchés
- Le risque d'aléas est pris en compte à travers le taux de disponibilité du centre de tri et les frais de gestion. Les aléas plus exceptionnels ne sont pas pris en compte
- Les frais de personnel sont réputés prendre en compte l'ancienneté moyenne de la profession ainsi que le coût moyen du personnel selon une pondération entre les prestataires privés et les régies
- Les modèles de centres de tri développés dans le cadre de cette étude sont optimisés par rapport aux caractéristiques des flux de collecte acceptés alors que dans la réalité, une certaine flexibilité sera nécessaire pour prendre en compte la variabilité et l'évolution des caractéristiques des flux entrants, ce qui engendre des coûts complémentaires

Afin de tenir compte des évolutions importantes des coûts sur les 3 dernières années, et pour évaluer les coûts optimisés du parc en tenant compte de leur année de construction, une distinction a été faite entre :

- les **centres de tri construits et mis en route jusqu'en 2021** :
 - Prise en compte des coûts d'investissement valeurs 2019 (prenant déjà en compte l'actualisation de 2020 des surcoûts liés à la protection incendie pour ces sites)
 - Coûts d'exploitation base mi-2022
- les **centres de tri mis en route en 2022, et ceux restant à construire jusque 2026** :
 - Prise en compte des coûts d'investissement valeurs mi-2022
 - Coûts d'exploitation base mi-2022

Une répartition du parc est faite par capacité (en t/h et tonnes par an) et par année de démarrage du tri en ECT entre :

- Les centres de tri mis en route jusqu'en 2021
- Les centres de tri mis en route en 2022 (démarrage de l'exploitation et du tri mi-2022)
- Les centres de tri restant à réaliser entre 2023 et 2026

Ces 2 dernières catégories sont regroupées pour l'analyse globale des coûts du parc en 2026 (sur la base des coûts 2022). Hormis la projection du parc et l'estimation des tonnages à horizon 2026, il n'a pas été fait de travail de projection sur les coûts.

Dans le cadre de cette étude, c'est le gisement contribuant de l'année 2022 qui est utilisé comme point de départ pour les calculs des tonnages du système optimisé. Les tonnages de matériaux collectés et recyclés sont calculés à partir de ce gisement contribuant.

Les flux sortants, quant à eux, ont été construits à partir des niveaux de pureté à atteindre selon le standard des filières REP emballages et papier graphiques, et ce, pour chaque niveau de tri et pour l'ensemble du parc. Les standards matériaux retenus pour les plastiques sont :

- Flux bouteilles et flacons PET clair
- Flux rigides PE / PP
- Flux développement rigides
- Flux développement souples

Ont ensuite été déterminés les taux de captage et de pureté requis pour atteindre lesdits standards :

- Concernant le taux de pureté : les calculs reposent sur un nombre donné de séparateurs (décartonneur, crible, séparateur corps creux / films, tri optique.) et d'opérateurs de tri (lignes fibreux, ligne de tri des films, ligne de refus, lignes plastiques, tri des métaux ferreux et non ferreux, etc.). Le nombre de séparateurs conditionne les coûts d'investissements et le nombre de trieurs conditionne les coûts d'exploitation

- Concernant le taux de captage : pour le tri simplifié et pour le tri flux développement, les meilleurs résultats observés à ce jour ont été considérés complétés par une modélisation pour les flux les plus récents (flux développement souples).

Les éléments détaillés concernant les flux sont présentés ci-après.

2.2. Hypothèses techniques clés retenues

Les hypothèses techniques retenues pour le dimensionnement d'un centre de tri sont détaillées ci-après.

2.2.1. Dimensionnement général

Nombre d'heures d'ouverture et d'utilisation du process du centre de tri : le fonctionnement du process d'un centre de tri est prévu en régime nominal sur une base de 2 postes par jour de 7h/poste, 5 jours par semaine et 52 semaines par an. En déduisant les jours fériés (10 jours en moyenne par an), on obtient 250 jours de fonctionnement par an (5 jours x 52 semaines -10 jours). Certains centres de tri peuvent fonctionner à certaines périodes (travaux, détournement de tonnages...) en 3 postes et/ou le samedi, mais ce fonctionnement n'est pas pris en compte comme un fonctionnement nominal. A noter que le centre de tri peut recevoir les collectes sélectives sur des horaires plus larges suivant les horaires et jours de collecte nécessitant des moyens supplémentaires (personnel, engins), qui ne sont pas pris en compte dans cette étude.

- ⇒ 2 postes par jour de 7h/poste, 5 jours par semaine, 52 semaines par an (-10 jours fériés), soit 3 500 h/an

Suivant les organisations des centres de tri, une pause peut être incluse dans ce temps de travail. L'hypothèse prise est de 20' de pause par poste de travail, ce qui donne une présence au poste de travail de 3330 h/an.

Taux d'utilisation du process (ou taux de tri effectif) : il correspond au temps de tri effectif pendant lequel le process permet de trier des matériaux soit le temps de fonctionnement de la chaîne de tri sur une période (heure compteur ou GPAO) divisé par le temps de présence au poste de tri (devant la table de tri) - l'écart dû aux temps d'arrêt non prévus (pannes, bourrages...)

- ⇒ **Taux d'utilisation du process** = temps de fonctionnement de la chaîne de tri / temps de présence des opérateurs devant le tapis de tri
- ⇒ De 100% de disponibilité du process, la valeur est ainsi ramenée à **90%** (donnée retenue pour la modélisation).

Temps de tri effectif : ce temps est la résultante des 2 données précédentes et permet d'évaluer le nombre d'heures de fonctionnement du process par an :

- ⇒ Temps de tri effectif = Nb heures de présence au poste de tri x Taux d'utilisation
- ⇒ **Temps de tri effectif = 3 330 h x 90% = 3 000 h par an**

Débit nominal : le débit nominal correspond au débit de tri moyen sur l'année, en entrée de process, pour le flux Multi-Matériau en ECT (100%) pendant **le temps de tri effectif de 3 000 h par an**

Capacité annuelle : La capacité annuelle en tonnage est la résultante des 2 données précédentes :

- ⇒ Capacité annuelle = Temps de tri effectif x débit nominal
- ⇒ **Exemple : pour un débit nominal de 10 t/h, la capacité annuelle est donc = 3 000 h x 10 t/h = 30 000 t/an**

2.2.2. Dimensionnement sur les flux entrants

Les densités du flux Multi-Matériaux sont également des paramètres importants et structurants pour le centre de tri avec des impacts significatifs :

- Sur les stocks amont
- Sur le process : les équipements sont dimensionnés pour traiter du volume et non des tonnages.

Les valeurs de densité sur ces 2 étapes, stocks amont et process, sont différentes. En effet, pour le stock amont, les flux arrivent en BOM ou en FMA après transfert, et sont compactés. Lors de l'alimentation du process, un système de régulation et de dosage entraîne un foisonnement du flux et une baisse de cette

densité en kg/m³. Cette densité process est un critère pour le dimensionnement de la chaîne de tri car les équipements traitent surtout du volume :

Flux entrants sur flux MM 100% en ECT	Etapas	Valeur retenue
Mélange Emballages + papiers graphiques en stock amont	Stock amont	84 kg / m ³
Mélange Emballages + papiers graphiques en entrée process	Entrée ligne process	73 kg / m ³

Tableau 1 : Hypothèse de densité des flux entrants

Les poids unitaires par objet sont, aussi, un élément à prendre en compte pour évaluer les besoins en personnel de tri. En particulier, ces poids moyens sont utilisés dans le cadre de l'application de la norme XF 35-702 pour évaluer la charge de travail des opérateurs de tri (2 400 à 4 800 actions techniques maximum). Les évaluations de charge de travail sont basées sur une charge de tri par poste avec un nombre d'actions techniques moyenne sur un poste de travail.

Les poids moyens pris comme hypothèses intègrent les évolutions à la baisse observées ces dernières années sur différents matériaux. Pour certains matériaux, les process séparant souvent par tranche granulométrique les flux entrants, une distinction entre les « gros éléments » et les autres a été faite compte tenu des fortes disparités de poids moyen et de l'impact sur les opérateurs de tri :

Flux	Matériau	Poids moyen par objet
Fibreux :	• Journaux Revues Magazines (JRM)	80 g
	• Papiers Bureautique	5 g
	• PCNC (Papier Carton Non Complexé) autres <300mm environ	40 g
	• PCNC (Papier Carton Non Complexé) gros >300mm environ	300 g
	• PCC (Papier Carton Complexé)	25 g
Plastiques :	• Bouteilles et Flacons	25 g
	• Pots et barquettes	15 g
	• Films gros >300mm environ	100 g
	• Films autres <300mm environ	15 g
Métaux :	• Acier	80 g
	• Aluminium	15 g

Tableau 2 : Hypothèse de poids moyen par objet

2.2.3. Dimensionnement des infrastructures

Les hypothèses prises pour les différents bâtiments et infrastructures sont détaillées ci-dessous par zone et pour les principaux paramètres :

Zone	Paramètres	Hypothèses
Hall de réception / stockage amont	Zone d'alimentation (avec trémie d'alimentation)	150 m ²
	Aire de manœuvres des camions pour vidage :	
	• surface pour CDT < 50 000 t/an	400 m ²
	• surface doublée pour CDT > 50 000 t/an	800 m ²
	Hauteur maximum de stockage	5 m
	Hauteur utile moyenne du stock (avec talutage)	4 m utile
Hall process	Capacité de stockage avant tri (Stockage intérieur (FIFO sur une base d'une semaine maximum de stockage))	3 jours
	Surface minimum	500 m ²
	Surface additionnelle par séparateur de flux	+ 150 m ² /séparateur

Zone aval	Produit stocké en vrac (ex : 1.11) Produit stocké en balles ou en paquets : <ul style="list-style-type: none"> • surface pour CDT < 30 000 t/an • surface x1,5 pour CDT > 30 000 t/an Aire de chargement et Presse à balles : <ul style="list-style-type: none"> • surface pour CDT < 50 000 t/an • surface x1,5 pour CDT > 50 000 t/an 	150 m ² /produit 50 m ² / produit 75m ² / produit 600 m ² 900 m ²
Bureaux et locaux sociaux	1 bureau pour 8 opérateurs (avec un max de 5 bureaux) Locaux divers (salle réunion, infirmerie, archives) (hors salle de visite et circuit de visite) Locaux sanitaires (H/F + coefficient de remplacement x1,5) (hors cas particuliers de recours à l'insertion nécessitant des besoins supplémentaires en locaux sociaux et bureaux spécifiques (formation, encadrement))	12 m ² / bureau 100 m ² 3 m ² /agent
Voirie Raccordement Divers	Voirie de circulation et de manœuvre autour des bâtiments (périmètre du bâtiment) et pont bascule Aire de retournement des camions et semis <ul style="list-style-type: none"> • surface pour CDT < 30 000 t/an • surface x1,5 pour CDT > 30 000 t/an Parking nb total de personnel (ETP) travaillant sur le CDT	X m ² = Périmètre bâti x 10 m de largeur (exemple : pour un bâtiment de 3600m ² (4x60m de périmètre = 2400m ² de voirie) 1 000 m ² 1 500m ² 25 m ² / personne

Tableau 3 : Hypothèses techniques pour le dimensionnement des infrastructures

2.2.4. Dimensionnement des process

Les process de tri sont constitués d'ensemble d'équipements que l'on retrouve dans tous les centres de tri. Ce « découpage » du process permet de dimensionner les lignes de tri en fonction des capacités annuelles à trier et en fonction des niveaux de tri à atteindre pour les flux sortants.

Les principaux équipements et séparateurs sont listés et repris ci-dessous :

Zone	Description	Alimentateur et Séparateur
Alimentation	<ul style="list-style-type: none"> • Ouvreur des sacs et alimentateur du process • Régulateur de débit 	Trémie d'alimentation et de régulation
Tri mécanique	<ul style="list-style-type: none"> • Séparateur Cartons (trommel, balistique...) • Crible granulométrique (trommel, disques) • Séparateur CC/CP (balistique...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Décartonneur • Crible • Crible fines • Séparateur CC/CP
Tri fibreux	<ul style="list-style-type: none"> • Tri optique plastiques • Tri optique JRM ou PCNC • Tri optique bureautique 	<ul style="list-style-type: none"> • Tri optique fibreux
Tri films	<ul style="list-style-type: none"> • Séparateur films/CC (balistique, aéraulique...) • Tri optique films 	<ul style="list-style-type: none"> • Séparateur films/CC • Tri optique films
Tri Plastiques rigides et PCC	<ul style="list-style-type: none"> • Tri optique Plastiques rigides, • Tri optique PCC, 	<ul style="list-style-type: none"> • Tri optique plastiques et cartons
Tri des métaux	<ul style="list-style-type: none"> • Séparateur(s) magnétique(s) - Overband • Machine(s) à Courant de Foucault (MCF) 	
Tri manuel	<ul style="list-style-type: none"> • Cabine de tri • Local caractérisation 	
Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> • Presse à balles • Presse à paquets 	

Tableau 4 : Hypothèses techniques pour le dimensionnement des process (alimentation et séparateur)

L'estimation du nombre de séparateurs en fonction de la capacité du centre de tri permet d'évaluer la surface du bâtiment process.

2.3. Typologies de centres de tri sélectionnées et Parc de centres de tri

2.3.1. Typologies de centres de tri

Pour l'établissement des typologies de centres de tri, 2 paramètres ont été pris en compte :

- La capacité de tri : elle est définie sur la base d'un fonctionnement en 2 postes/jour, 5 jours/semaine, ce qui représente 3 000 heures de fonctionnement par an telle que décrit en 3.1.2.1. Elle est exprimée en tonnes par heure (débit ou capacité horaire) et en tonnes par an. L'hypothèse prise pour les flux entrants est 100% en flux MM. Une population équivalente indicative a été estimée sur la base de l'hypothèse de ratio de collecte suivante : 50 kg/hab/an pour le flux de collecte MM, se rapprochant des objectifs moyens à atteindre sur la période 2022 à 2026.
- 3 niveaux de tri sont distingués :
 - Tri simplifié (corps creux) : centres de tri qui effectuent un tri des flux suivant :
 - Un mix fibreux : mélange papiers graphiques et PCNC
 - Un flux de Corps Creux (plastiques rigides, PCC, Aluminium) sortant de balistique renvoyé sur un autre centre de tri en local. En l'état, ce flux Corps Creux ne rentre pas dans les flux repris par les éco-organismes. C'est donc le coût de surtri de ce flux, repris en local sur un 2^{ème} centre de tri pour atteindre les standards, qui est pris en compte dans le cadre de cette étude.
 - Les autres flux produits sont : flux développement souples, aciers,
 - Les capacités des centres de tri en tri très simplifié se situent dans la tranche 10 kt/an.
 - Tri simplifié : centres de tri triant :
 - Un mix fibreux : mélange papiers graphiques et PCNC
 - Un flux plastiques rigides comportant des bouteilles, flacons, pots et barquettes et repris par les éco-organismes. Les capacités des centres de tri en tri simplifié se situent dans la tranche de capacité 15 kt/an. Une deuxième étape est ensuite nécessaire pour le surtri du Mix plastiques rigides. Cette 2^{ème} étape ne fait pas l'objet de cette étude puisque gérée directement par les éco-organismes.
 - Les autres flux produits sont : flux développement souples, PCC, acier, aluminium,
 - Tri flux développement² : centres de tri triant :
 - Les flux fibreux en différentes catégories : PCNC, 1.11, PCM
 - Des plastiques rigides en 3 flux comportant des bouteilles, flacons, pots et barquettes (PET clair BF, PE/PP, Flux développement (PET coloré BF, PET PB, PS)). Les capacités des centres de tri en tri flux développement se situent dans les tranches de capacité 15, 25, 35, 45 et 60 kt/an. Une deuxième étape est ensuite nécessaire pour le surtri du flux développement repris par les éco-organismes. Cette 2^{ème} étape ne fait pas l'objet de cette étude puisque gérée directement par les éco-organismes.
 - Les autres flux produits sont : flux développement souples, PCC, acier, aluminium.

Les capacités des typologies des précédentes études étaient de 15, 25, 45, 60 kt/an. Il a été ajouté et créé une typologie à 35 kt/an correspondant à un panel et à un nombre de centres de tri important. Cela permet d'avoir une meilleure représentativité du parc. Cette typologie 35 kt/an a été complètement recréé sur la base des différentes hypothèses. Cela permet également d'affiner les coûts sur des centres de tri intermédiaires de la tranche 25-45 kt/an qui constituent la majorité du parc.

La capacité à 80 kt/an avait été évaluée dans les études précédentes. Au vu du parc actuel et de la projection 2026, il paraît raisonnable de ne plus retenir cette typologie, d'autant que le centre de tri le plus important en 2 postes est à environ 65 kt/an. Le 60 kt/an représentera la tranche maximum regroupant les centres de tri de grande capacité en 2 postes.

Avec ces hypothèses, cela fait donc 7 types de centres de tri à modéliser pour couvrir le parc de centres de tri en 2026. Ces 7 typologies avec leur terminologie (TS pour Tri Simplifié, TFD pour Tri Flux développement) sont représentées dans le tableau ci-après :

² Certains centres de tri en 2023 produisent des flux différents et il est prévu qu'ils basculent en flux développement d'ici 2026.

Débit nominal (en t/h)	Capacité (en t/an) ³	Population équivalente indicative ⁴	Tri simplifié (flux CC)	Tri simplifié	Tri flux Développement
3,3	10 000	200 000 habitants	TS10		
5	15 000	300 000 habitants		TS15	TFD 15
8,3	25 000	500 000 habitants			TFD 25
11,7	35 000	700 000 habitants			TFD 35
15	45 000	900 000 habitants			TFD 45
20	60 000	1 200 000 habitants			TFD 60

Tableau 5 : Typologie de centre de tri retenus pour l'étude

2.3.2. Parc de centres de tri

Le parc de centres de tri retenu correspond aux installations définitives qui sont adaptées à trier les flux en ECT et ne tient pas compte des solutions transitoires. Ce parc 100% ECT devrait sensiblement correspondre au parc en place en 2026 en métropole.

La répartition estimée du parc de centres de tri par typologie de centre de tri se fait par encadrement de la capacité (ex: modèle TFD35=35 kt/an pour la tranche de centre de tri ayant une capacité en 2 postes entre 30 000 et 40 000 t/an). Les quelques centres de tri existants qui ne sont pas en flux Multi-Matériau sont affectés à la tranche équivalente en population.

Comme décrit précédemment, la répartition du parc est faite par capacité (en t/h et t/an) et aussi par année de démarrage du tri en ECT entre :

- Les centres de tri mis en route jusqu'en 2021 (CDT ≤ 2021)
- Les centres de tri mis en route en 2022 (démarrage de l'exploitation et du tri en 2022)
- Les centres de tri restant à réaliser entre fin 2022 et fin 2025 (échéance de mise en route)

Ces 2 dernières catégories sont regroupées pour l'analyse globale des coûts du parc 2026 (CDT ≥ 2022).

L'affectation du parc donne les résultats suivants :

Typologie de centre de tri	Capacité (en t/an) ⁵	Population équivalente indicative ⁶	Nombre de CDT ≤ 2021	Nombre de CDT ≥ 2022	Nombre total de CDT	Capacité totale en Mhab.	Capacité totale en ktonnes/an
TS10	10 000	200 000 hab.	4		4	0,8	40
TS15	15 000	300 000 hab.	4		4	1,2	60
TFD15	15 000	300 000 hab.	10	5	15	4,5	225
TFD25	25 000	500 000 hab.	15	10	25	12,5	625
TFD35	35 000	700 000 hab.	15	16	31	21,7	1 085
TFD45	45 000	900 000 hab.	15	8	23	20,7	1 035
TFD60	60 000	1 200 000 hab.	3	7	10	12	600
TOTAL			66	46	112	73,4	3 670

Tableau 6 : Répartition du parc en France métropolitaine en 2026

A l'horizon 2026, le parc est estimé à 112 centres de tri définitifs en ECT sur la France métropolitaine. Le nouveau modèle à 35 kt/an représente le modèle principal sur le parc 2026 en France métropolitaine. La répartition du parc peut être représentée avec le graphique suivant :

³ Sur une base de fonctionnement en 2 postes/jour, 5 jours/semaine, ce qui représente 3 000 heures de fonctionnement par an.

⁴ Sur une base de performance de collecte sélective en MM de 50 kg/hab/an

⁵ Sur une base de fonctionnement en 2 postes/jour, 5 jours/semaine, ce qui représente 3 000 heures de fonctionnement par an.

⁶ Sur une base de performance de collecte sélective en MM de 50 kg/hab/an

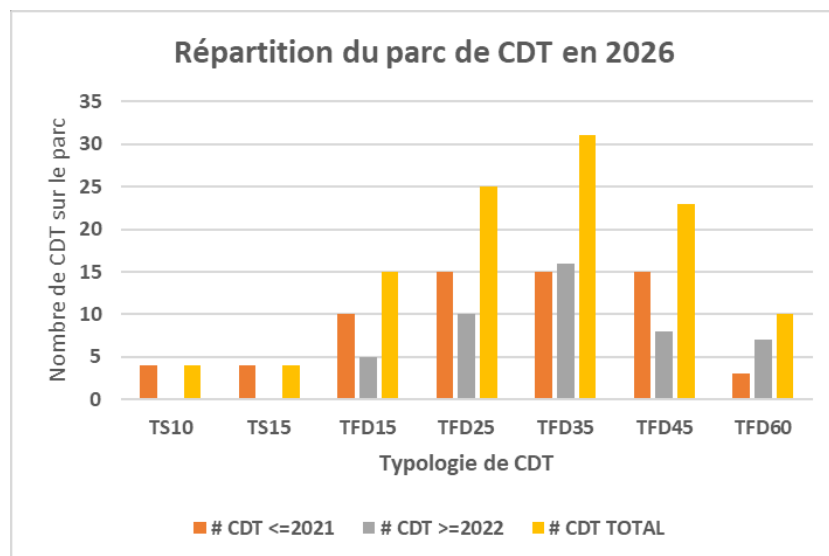


Figure 1 : Répartition du parc de CDT en fonction des typologies et de la période de mise en route

2.4. Tonnages

L'évaluation des tonnages concernés par l'évaluation des coûts de tri pour la France Métropolitaine porte sur les points suivants :

- Gisement et Tonnes de référence mises sur le marché
- Taux de collecte et flux entrants en centres de tri
- Flux sortants de centres de tri

Ces valeurs concernent l'année 2022 et une projection à l'horizon 2026 est faite. Ces valeurs et projections sont provisoires et susceptibles d'évoluer dans le cadre des travaux de l'ADEME sur les coûts de référence du SPGD (collecte + tri).

2.4.1. Tonnes de référence mises en marché

Les tonnes de référence mises en marché sont des données de prospective CITEO :

- Les données de gisement « mis en marché » par matériau en 2022 avec les projections pour 2026 (emballages et papiers graphiques « propres »):
 - Papiers graphiques : la baisse du gisement est régulière depuis plusieurs années. La poursuite de cette baisse sur les prochaines années est partagée par tous les acteurs.
 - Emballages ménagers : l'estimation proposée permet de prendre en compte un début de baisse sur les emballages plastiques (dispositions AGEC en vue de la réduction des plastiques à usage unique). Elle prend également en compte une progression du carton et de l'aluminium.
- La prise en compte du taux de souillure correspondant aux mesures réalisées par l'ADEME lors des campagnes de caractérisation (différence entre emballages « neufs » et emballages mis dans le bac de collecte sélective).

Le croisement de ces deux données permet l'évaluation du gisement national d'emballages et papiers graphiques souillés pour 2022 et la projection pour 2026.

Pour la France Métropolitaine, les populations suivantes ont été prises pour le calcul du gisement ramené par habitant : 65 337 287 habitants pour 2022 et 65 877 024 habitants pour 2026 (projections INSEE).

La répartition par résine et par typologie d'emballages a été faite pour coller au mieux aux caractéristiques des flux sortant :

Matériaux		Gisement périmètre étude tri (en kg/hab/an)		Taux de souillure	Gisement souillé (en kg/hab/an)	
		2022	2026		2022	2026
Papiers graphiques		18,60	13,69	2%	18,98	13,97
Emballages ménagers		39,87	40,59		45,88	46,58
Emballages papier/carton		15,77	17,93		17,52	19,93
Non complexé	PCNC	12,73	14,95	10%	14,14	16,61
Non complexé (>A4)	PCNC	2,00	2,00	10%	2,22	2,22
Complexé	PCC	1,04	0,98	10%	1,16	1,09
Emballages plastiques		18,88	17,32		22,47	20,61
PETc BF	PETc BF	5,02	4,80	13%	5,77	5,52
PE/PP	PE BF	1,28	1,14	13%	1,47	1,31
	PE PB	0,99	0,94	18%	1,20	1,14
	PP	1,67	1,58	18%	2,04	1,92
Bouchons	Bouchons	0,52	0,48	13%	0,60	0,55
Flux dev rigides	PETc PB	0,75	0,86	18%	0,91	1,05
	PETf BF	0,97	0,84	13%	1,11	0,96
	PETop BF lait	0,09	0,08	13%	0,10	0,10
	PETop BF aut	0,12	0,10	13%	0,13	0,12
	PS	1,08	1,04	18%	1,31	1,27
	PE PB autres	0,51	0,38	18%	0,62	0,47
Flux dev souples	Films PE/PP	4,59	4,13	18%	5,60	5,04
Autres plastiques	Autres	1,31	0,95	18%	1,60	1,16
Emballages métaux		5,22	5,33		5,90	6,04
Acier	Acier	3,66	3,52	10%	4,06	3,91
Alu	Alu	1,56	1,81	15%	1,83	2,13
TOTAL		58,47	54,29		64,87	60,55

Tableau 7 : Gisement emballages et papiers graphiques en France Métropolitaine en 2022 et 2026

Le gisement global mis sur le marché est de 64,9 kg/hab/an pour 2022 et 60,6 kg/hab/an pour 2026 montrant une baisse globale due aux papiers graphiques.

2.4.2. Composition des flux entrants

A partir des performances de 2022, il est possible d'évaluer le taux de collecte par matériau 2022. Pour 2026, une estimation des taux de collecte par matériau a été faite (source : ADEME), prenant en compte les objectifs réglementaires. Les trajectoires des tonnes recyclées correspondent au périmètre des tonnes passant sur les centres de tri (ne sont pas intégrés les DOM, le hors SPGD, les cartons issus des déchèteries, les métaux de mâchefer).

Ces éléments permettent d'évaluer les tonnages de collecte sélective et la composition moyenne des flux entrant en centre de tri.

Ces valeurs sont provisoires et susceptibles d'évoluer dans le cadre des travaux de l'ADEME sur les coûts de référence du SPGD (collecte + tri).

En complément, il est nécessaire d'ajouter la part d'indésirables présents dans le bac de collecte sélective.

Ces indésirables sont de plusieurs types :

- Déchets non ciblés par les consignes de tri : non emballages ménagers et non papiers graphiques
- Déchets ciblé souillés (emballages non vidés)

Les emballages et papiers graphiques présents dans le flux entrant dans le centre de tri mais non extraits dans les process (ex : plastiques noirs, éléments fins (petits emballages et papiers...)) ne pouvant pas être

techniquement et économiquement captés par les process actuels, ne sont pas considérés comme des indésirables.

Pour évaluer le **taux d'indésirables** (éléments non conformes y compris fines) en entrant de centre de tri, les hypothèses prises en compte ont été réévaluées avec les données 2023 de l'étude en cours réalisée par CITEO sur les taux d'indésirables dans un panel de centres de tri.

Le **taux d'indésirables retenu est de 14,5%** pour 2022 (source : caractérisations CITEO) et il est considéré constant pour 2026.

La **masse volumique** calculée en entrée process est estimée ci-après pour 2022 et 2026 suivant la composition moyenne estimée. (Remarque : Cette masse volumique est différente de celle du stock amont)

Flux entrants sur flux MM 100% en ECT	2022	2026
Mélange Emballages + papiers graphiques en stock process	73 kg/m3	57 kg/m3

Tableau 8 : Hypothèse de masse volumique des flux entrants process

2.4.3. Evaluation des flux sortants

Les flux sortants sont les flux repris par les filières ou les éco-organismes pour les flux à surtrier, avec des niveaux de pureté à atteindre selon le standard des REP, et ce, pour chaque niveau de tri (simplifié, flux développement). Dans le cadre de cette étude, il a été pris en compte l'évolution des standards, en particulier concernant le flux développement. Les deux flux développement sont intégrés pour l'ensemble des types de centre de tri :



Figure 2 : Description des Flux développement rigide et souple

Les flux sortants ont été construits à partir des **niveaux de pureté minimum** à atteindre selon le standard des REP, et ce, pour chaque niveau de tri (simplifié, flux développement). Pour l'aluminium, les puretés sont des teneurs en aluminium, valeurs mesurées en filière (décomptant les éléments non aluminium (bouchons, complexes plastiques ou papiers...)) et non mesurables en centre de tri).

Matériau / flux sortant	Tri simplifié	Tri flux Développement
Papiers graphiques pour désencrage	97%	97%
Papiers bureaux - archives		97%
Emballage non complexé (PCNC)		95%

Matériau / flux sortant	Tri simplifié	Tri flux Développement
Carton (PCNC>A4)	95%	95%
Emballage complexé (PCC)	95%	95%
BF-PET clair	90%	98%
BF+PB PEHD + BF+PB PP		98%
Flux développement (BF PET coloré, PB PET, PS)		90%
Flux développement Films PE + PP	90%	90%
Acier (pureté équivalente à une teneur en acier de 88%)	95%	95%
Aluminium (teneur en aluminium)	45% ⁷	45%
2 nd flux petits aluminium et souples – teneur en aluminium	40%	40%

Tableau 9 : Taux de pureté minimum pour chaque matériau et flux sortant retenu pour l'étude

Les taux de captage ont été évalués sur la base de la proportion du flux entrant en centre de tri envoyé dans le bon flux sortant. Les hypothèses intègrent les évolutions des emballages et la prise en compte des flux développement rigides et souples. Pour le tri flux développement, les meilleurs résultats observés à ce jour ont été considérés. Ces taux sont des taux théoriques définis pour la modélisation et non mesurables sur le terrain.

Matériau / flux sortant	Tri simplifié	Tri simplifié	Tri flux Développement
Papiers graphiques pour désencrage	97%	97%	95%
Papiers bureaux - archives			95%
Emballage non complexé (PCNC)			95%
Carton (PCNC>A4)	97%	97%	95%
Emballage complexé (PCC)	85%	85%	90%
BF-PET clair	97%	95%	94%
BF+PB PEHD + BF+PB PP	96%	94%	93%
Flux développement (BF PET coloré, PB PET, PS)	94%	92%	90%
Flux développement Films PE + PP	80%	80%	80%
Acier	93%	93%	95%
Aluminium (« gros »)	70%	70%	75%
Petits aluminium et souples			60%

Tableau 10 : Taux de captage pour chaque matériau retenu pour l'étude

Il est possible d'évaluer les taux de refus (par rapport au tonnage entrant) en tenant compte :

- des taux de pureté à atteindre,
- des taux de captage pour chaque matériau et pour chaque niveau de tri,
- de la **freinte** correspondant aux pertes entre les entrées et sorties de matériaux (humidité, jus de presse...), **estimée à 1,5%**

L'estimation du taux de refus se fait selon le calcul suivant :

⁷ Teneur en aluminium : valeur mesurée en filière (décomptant les éléments non aluminium (bouchons, complexes plastiques ou papiers...). Valeur non mesurable en centre de tri : la pureté en centre de tri est une pureté emballages (incluant les autres matières), avec une valeur de pureté indicative de 90%.

$$\text{Taux de refus (en \%)} = \frac{\text{Tonnage entrant} \times (1 - \% \text{ freinte}) - \sum \text{ tonnages sortant conformes au standard}}{\text{Tonnage entrant}}$$

En fonction des typologies de centres de tri et surtout du niveau de tri une estimation du taux de refus sortant peut être faite :

Paramètres	TS10	TS15	TFD15	TFD25	TFD35	TFD45	TFD60
Capacité en tonnes /an :	10 000	15 000	15 000	25 000	35 000	45 000	60 000
Débit nominal en t/h :	3,3	5,0	5,0	8,3	11,7	15,0	20,0
% de refus sortant CDT :	11,0%	14,4%	16,3%	16,3%	16,3%	16,3%	16,3%

Tableau 11: Taux de refus sortant CDT pour chaque typologie de centre de tri

2.5. Modélisation des coûts d'investissement

Le calcul des investissements des centres de tri dans le "système optimisé" repose sur une modélisation d'un parc de centres de tri modernisé en métropole, avec des profils de coûts distincts par type de centre.

2.5.1. Bâtiments et VRD

Les montants d'investissements pris en compte pour les bâtiments et VRD reprennent la méthodologie existante. Les surfaces nécessaires sont calculées selon les hypothèses présentées en §2.2.3. Cette surface de bâtiment industriel est ensuite multipliée par un coût unitaire au m².

Compte tenu des contraintes supplémentaires liés aux dispositions spécifiques pour l'incendie, des hausses des coûts observées sur les 2 dernières années et de l'inflation constatée (matières premières, énergie...), les valeurs ont été distinguées entre :

- Les centres de tri construits et mis en route jusqu'en 2021 : Prise en compte des coûts d'investissement valeurs 2019 : une prise en compte des surcoûts liés à la protection incendie pour ces sites avait déjà été intégrée
- Les centres de tri mis en route en 2022, et ceux restant à construire jusque 2026 : Prise en compte des coûts d'investissement réévalués : les valeurs 2022 sont issues des projets existants et réalisés avec une mise en service en 2022. Les coûts indiqués sont toujours des coûts optimisés comme décrit en introduction de ce rapport. En fonction des besoins et spécificités de chaque projet, des cahiers des charges, des contraintes locales, les coûts réels peuvent être supérieurs à ces coûts optimisés.

Les coûts d'étude (frais architecte, étude de suivi) sont dissociés et sont présentés dans le paragraphe 3.4.3. Dans la synthèse les coûts d'étude liés au bâtiment/VRD sont présentés sur une ligne spécifique.

Dispositions spécifiques pour l'incendie :

La dernière étude en 2020 avait, d'ores et déjà, intégré un certain nombre de type de dispositions pour la protection incendie :

- Spécificités liées aux structures du bâtiment (parois coupe-feu, résistance au feu des matériaux, écrans de cantonnement, dispositifs de sécurisation des personnes, accès pompiers, ...)
- Systèmes de détection de l'incendie et les alarmes
- Systèmes d'extinction de l'incendie de type RIA, extincteurs, réserve pompiers...
- Système d'extinction automatisée d'un départ de feu (sprinklage, canons à eau, rideaux d'eau...)
- Dispositions liées aux aménagements spécifiques du stockage amont (séparation des alvéoles)

L'évaluation des coûts pour 2022 et l'actualisation des hypothèses de coûts portent donc sur l'intégration des dispositions complémentaires imposées sur de plus en plus de projet neuf par les assureurs suite aux derniers sinistres depuis 2020, en particulier extinction automatisée sur la totalité du process et sur différents niveaux (alvéoles, sous tapis, sur et sous équipement...).

Compte tenu de la nécessité d'avoir ce type d'équipements spécifiques quelle que soit la taille du centre de tri (cuve sprinkler avec pompes, réseau d'alimentation...), il est pris comme nouvelles hypothèses :

- Une part fixe valable quelle que soit la taille du centre de tri : hypothèse à 250 kEUR pour un centre de tri construit en 2022, prenant en compte un taux d'équipement du parc à 50%
- Une part variable réévaluée à 200 EUR/m² de bâtiment en intégrant les hausses du coût des équipements et matériels

Ces coûts tiennent également compte des hausses des coûts observées pour les projets construits ces 2 dernières années.

Paramètres	Valeurs 2019	Valeurs 2022
Bâtiments industriels (hors disposition incendie)	900 EUR/m ²	1 000 EUR/m ²
Dispositions incendie		
• part fixe	0	250 kEUR ⁸
• part variable	150 EUR/m ²	200 EUR/m ²
Bureaux et locaux sociaux	1 500 EUR/m ²	1 800 EUR/m ²
VRD		
• part fixe (CDT <30 000 t/an)	300 kEUR	360 kEUR
• part fixe (CDT >30 000 t/an)	500 kEUR	600 kEUR
• part variable	200 EUR/m ²	230 EUR/m ²

Tableau 12 : Hypothèses de coût pour les infrastructures

2.5.2. Process

Les montants d'investissements pris en compte pour les process reprennent la méthodologie existante.

Les investissements sont distingués en 5 catégories :

- Alimentateur et régulateur de flux : le coût inclut l'équipement et le tapis d'alimentation de la ligne
- Séparateur de flux (équipement process (crible, tri optique) : le coût moyen par séparateur inclut le séparateur (l'équipement) et son environnement (tapis, structures, part électricité)
- Ligne de conditionnement : inclus la presse à balles pour la mise en balles des plastiques et papiers cartons (hors graphiques évacués en vrac) et la presse à paquets (acier) et une alvéole par matériau.
- Cabine de tri : inclus la cabine et sa structure, les tables de tri et les postes de travail et le système de ventilation-chauffage-climatisation
- Local caractérisation

Tous les coûts d'installation, de montage mécanique et électrique, d'assurances, de MSI sont inclus dans les postes ci-dessus.

Les coûts d'étude sont dissociés et sont présentés dans le paragraphe suivant. Dans la synthèse les coûts d'étude liés au process seront ajoutés au montant process.

Pour les **centres de tri construits et mis en route jusqu'en 2021** : Prise en compte des coûts d'investissement valeurs 2019.

Pour les **centres de tri mis en route en 2022, et ceux restant à construire jusque 2026** : Prise en compte des coûts d'investissement réévalués. Les valeurs base 2022 sont issues des projets existants et réalisés avec une mise en service en 2022. Les coûts indiqués sont toujours des coûts optimisés comme décrit en introduction de ce rapport. En fonction des besoins et spécificités de chaque projet, des cahiers des charges, les coûts réels peuvent être supérieurs à ces coûts optimisés.

Les postes de coûts des équipements et séparateurs sont listés ci-dessous :

Paramètres	Valeurs 2019	Valeurs 2022
Alimentateur / régulateur de flux :		
• jusque 50 000 t/an	300 kEUR	360 kEUR
• Pour les CDT > 50000 t/an doublement de la ligne	600 kEUR	720 kEUR

⁸ hypothèse à 500 kEUR pour un centre de tri construit 2022, Ce montant est pris à 50% (soit 250 k€) compte tenu de l'évolution des aménagements non réalisés sur tous les CDT à mi 2022 suivant les contraintes assurantielles

Séparateur / Equipement process (hors alimentateur)	500 kEUR/séparateur	600 kEUR/séparateur
Ligne de conditionnement <ul style="list-style-type: none"> part fixe part variable par alvéole de stockage 	500 kEUR 80 kEUR/alvéole	600 kEUR 96 kEUR/alvéole
Cabine de tri <ul style="list-style-type: none"> part fixe part variable (nombre de trieurs + 50% de réserve) 	100 kEUR 25 kEUR/poste de travail	120 kEUR 30 kEUR/poste de travail
Local caractérisation	2 x 25 kEUR	2 x 30 kEUR

Tableau 13 : Hypothèses de coût pour les process

Les nombres d'alimentation et de séparateurs retenu est repris dans le tableau ci-après. La répartition des équipements par typologie de centres de tri est donnée à titre indicatif pour la modélisation :

Débit nominal (en t/h)	TS10	TS15	TFD15	TFD25	TFD35	TFD45	TFD60
Alimentateur / Déliteur	1	1	1	1	1	1	2
Décartonneur	1	1			1	1	2
Trommel/Crible 1			1	1	1	1	2
Séparateur CP/CC	1	1	1	1	1	2	2
SOP Fibreux	1	1	2	3	4	5	6
SOP Fibreux bureautique							1
Autres (fines...)				1	1	1	2
Séparateur CC/Films	1	1	1	1	1	1	1
SOP Films		1	1	1	1	1	1
SOP plastiques rigides		1	2	3	3	4	4
SOP refus/retour valo / autres					1	1	2
TOTAL	5	7	9	12	15	18	25

Tableau 14 : Hypothèses du nombre d'alimentation et de séparateurs pour les typologies de centres de tri

2.5.3. Etudes

Les études concernent 2 postes décrits ci-dessous :

- Etudes liées au bâtiment/VRD et au projet : incluant les frais d'architecte, de permis de construire, de suivi de chantier jusqu'à la réception des ouvrages.
- Etudes liées au process : études d'exécution du projet incluant la fabrication, et le suivi de la partie process jusqu'à la MSI et la réception

Pour les centres de tri construits et mis en route jusqu'en 2021 : Prise en compte des valeurs 2019.

Pour les centres de tri mis en route en 2022, et ceux restant à construire jusque 2026 : Prise en compte des valeurs réévalués. Les valeurs 2022 sont issues des projets existants et réalisés avec une mise en service en 2022. Elles prennent en compte à la fois la hausse des contraintes techniques et environnementales sur les sites nécessitant des études complémentaires et la hausse des coûts d'ingénierie.

Les coûts indiqués sont toujours des coûts optimisés comme décrit en introduction de ce rapport. En fonction des besoins et spécificités de chaque projet, des cahiers des charges, les coûts réels peuvent être supérieurs à ces coûts optimisés.

L'évaluation des coûts pour le poste études est la suivante :

Paramètres	Valeurs 2019	Valeurs 2022
Etudes liés au bâtiment/VRD (% du montant des investissements pour bâtiment et VRD)	10%	11%

Etudes liés au process (% du montant des investissements process)	6%	7%
--	----	----

Tableau 15 : Hypothèses de coût pour les études

2.5.4. Coût d'investissement pour les différentes typologies de centres de tri

Dans la synthèse ci-dessous, pour la partie process, les coûts d'étude sont liés au montant process, et pour les Bâtiments/VRD ils sont conservés à part. L'application des hypothèses vue précédemment aux différentes typologies de centres de tri retenus donnent les résultats suivants :

Pour les **centres de tri construits et mis en route jusqu'en 2021** : Prise en compte des hypothèses 2019.

Paramètres	TS10	TS15	TFD15	TFD25	TFD35	TFD45	TFD60
Capacité en tonnes /an :	10 000	15 000	15 000	25 000	35 000	45 000	60 000
Débit nominal en t/h :	3,3	5,0	5,0	8,3	11,7	15,0	20,0
Nombre de séparateurs de flux (y.c. alimentateur) :	5	7	9	12	15	18	25
Total bâtiment industriel (en m ²) :	2 666	2 958	4004	4 930	5 977	6 975	9 389

Investissements (en EUR H.T.)	TS10	TS15	TFD15	TFD25	TFD35	TFD45	TFD60
Bâtiment / VRD	4 041 000	4 426 000	5 863 000	7 026 000	8 608 000	9 820 000	12 579 000
Process	3 670 000	4 855 000	6 572 000	8 321 000	9 991 000	12 103 000	16 184 000
Etudes (poste bâtiment/VRD)	404 000	443 000	586 000	703 000	861 000	982 000	1 258 000
TOTAL	8 115 000	9 724 000	13 021 000	16 050 000	19 460 000	22 905 000	30 021 000

Tableau 16 : Montant d'investissement par typologie pour les centres de tri mis en route <=2021

Pour les **centres de tri mis en route en 2022**, et **ceux restant à construire jusque 2026** : Prise en compte des valeurs réévaluées. Les valeurs 2022 sont issues des projets existants et réalisés avec une mise en service en 2022. Les coûts indiqués sont toujours des coûts optimisés comme décrit en introduction de ce rapport.

Paramètres	TS10	TS15	TFD15	TFD25	TFD35	TFD45	TFD60
Capacité en tonnes /an :	10 000	15 000	15 000	25 000	35 000	45 000	60 000
Débit nominal en t/h :	3,3	5,0	5,0	8,3	11,7	15,0	20,0
Nombre de séparateurs de flux (y.c. alimentateur) :	5	7	9	12	15	18	25
Total bâtiment industriel (en m ²) :	2 657	3 036	4 186	4 993	6 050	6 932	9 218

Investissements 2022 (en EUR H.T.)	TS10	TS15	TFD15	TFD25	TFD35	TFD45	TFD60
Bâtiment / VRD	4 893 000	5 413 000	7 174 000	8 358 000	10 168 000	11 412 000	14 412 000
Process	4 651 000	5 983 000	8 166 000	10 285 000	12 307 000	14 866 000	19 937 000
Etudes (poste bâtiment/VRD)	538 000	595 000	789 000	919 000	1 118 000	1 255 000	1 585 000
TOTAL (en EUR H.T.)	10 082 000	11 991 000	16 129 000	19 562 000	23 593 000	27 533 000	35 934 000

Evolution >=2022 / <=2021 (en %)	24%	23%	24%	22%	21%	20%	20%
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tableau 17 : Montant d'investissement par typologie pour les centres de tri mis en route >= 2022

L'évaluation des montants d'investissement (bâtiment/VRD et process) valeurs 2022 montre une hausse des coûts entre 20 et 24% suivant les typologies par rapport centres de tri construits et mis en service jusqu'en 2021 (base de coûts 2019).

2.6. Modélisation des coûts d'exploitation

Les coûts d'exploitation sont distingués en 5 catégories :

- Amortissement :
- Entretien et Gros Entretien et Renouvellement (GER) :
- Frais de personnel fixes et variables :
- Autres frais fixes et variables : cela inclut les frais d'assurance, de contrôles réglementaires
- Frais de gestion :

Tous les coûts calculés sont hors gestion des refus de tri (transport et traitement) Les coûts correspondants étant très dépendant des contextes territoriaux, ils ne sont pas pris en compte dans le cadre de la présente modélisation (ils sont par contre pris en compte dans le calcul du coût global de référence du service optimisé). Les tonnages correspondant sont pris en compte dans tous les dimensionnements du centre de tri et par conséquent dans les coûts correspondants.

2.6.1. Amortissements et taux d'intérêt sur les emprunts

Les amortissements concernent 2 postes décrits ci-dessous :

- Amortissements liés au bâtiment/VRD, incluant les études : la durée d'amortissement retenu pour les bâtiments est de 20 ans au vu des retours d'expérience et des durées prises par les collectivités et opérateurs.
- Amortissements liés au process, incluant les études : la durée d'amortissement retenu pour les process est de 7 ans au vu des retours d'expérience et des évolutions régulières des process

Pour les taux d'intérêt relatifs aux emprunts liés aux investissements, vu les fluctuations et hausses récentes de ces taux, ces taux ont été ajustés :

Pour les **centres de tri construits et mis en route jusqu'en 2021** : Prise en compte des hypothèses 2019, les investissements ayant été réalisés avec des montants et taux d'intérêt de cette période.

Pour les **centres de tri mis en route en 2022, et ceux restant à construire jusque 2026** : Prise en compte des valeurs réévalués : les valeurs 2022 sont issues des projets existants et réalisés avec une mise en service en 2022. Les coûts indiqués sont toujours des coûts optimisés comme décrit en introduction de ce rapport. En fonction des besoins et spécificités de chaque projet, des cahiers des charges, les coûts réels peuvent être supérieurs à ces coûts optimisés.

L'évaluation des taux d'intérêt est :

Paramètres	Valeurs 2019	Valeurs 2022
Bâtiment (études et travaux) (sur une durée de 20 ans)	1,5%	2,5%
Process (études et travaux) (sur une durée de 7 ans)	1,5%	2,5%

Tableau 18 : Hypothèses de taux d'intérêt pour les emprunts

2.6.2. Gros Entretien Renouvellement

Le Gros Entretien Renouvellement (GER) correspond à des opérations d'entretien et de renouvellement programmé et ne relevant pas de l'entretien quotidien sur l'ensemble des investissements. Il couvre les

réparations et le remplacement à l'identique ou à fonction identique de tous les matériels défectueux de façon à maintenir l'installation en bon état de marche et d'assurer ses performances. Il n'inclut pas les opérations d'entretien maintenance du quotidien qui sont pour de faibles montants individuels.

Les postes GER concernent 2 postes décrits ci-dessous :

- GER liés au bâtiment/VRD ;
- GER liée au process : pour l'ensemble du process ;

Il est communément pris un pourcentage du montant des investissements par an représentant une moyenne lissée des travaux à réaliser sur la période de fonctionnement du centre de tri. En exploitation ces travaux sont variables d'une année sur l'autre en fonction, par exemple, des renouvellements d'équipement.

Pour les **centres de tri construits et mis en route jusqu'en 2021** : Prise en compte des nouvelles valeurs réévaluées 2022

Pour les **centres de tri mis en route en 2022, et ceux restant à construire jusque 2026** : Prise en compte des valeurs réévaluées. Les valeurs 2022 sont issues des projets existants et réalisés avec une mise en service en 2022.

Les coûts indiqués sont toujours des coûts optimisés comme décrit en introduction de ce rapport. En fonction des besoins et spécificités de chaque projet, des cahiers des charges, les coûts réels peuvent être supérieurs à ces coûts optimisés.

Ces coûts tiennent compte des hausses observées ces 2 dernières années. Les coûts constatés sont liés aux hausses des coûts de matière impactant le coût des pièces de rechange et aux hausses des coûts d'intervention (personnel et déplacement).

L'évaluation des coûts du GER est :

Paramètres	Valeurs 2019	Valeurs 2022
Bâtiment (investissement) (% du montant des investissements pour bâtiment et VRD)	1%	1,1%
Process (études et investissement) (% du montant des investissements process)	3%	3,3%

Tableau 19 : Hypothèses de coût pour le GER

2.6.3. Frais de personnel

Les postes frais de personnel concernent les postes décrits ci-dessous :

- Nombre de postes de travail pris comme hypothèses pour l'exploitation :
- Coût par typologie de personnel : les coûts correspondent à un coût annuel du poste de travail soit un Equivalent Temps Plein (ETP)

La répartition et la typologie du nombre de personnes est décrite dans le tableau ci-dessous avec les hypothèses prises en exploitation :

Paramètres		Nombre	Seuil
Responsable de site	Non posté	1 ETP pour les CDT > 30 000t/an	>30 kt/an
Responsable opérationnel	Non posté	1 ETP pour les CDT < 40 000t/an +1 ETP pour les CDT > 40 000t/an	<40 kt/an >40 kt/an
Responsable Maintenance	Non posté	1 ETP pour les CDT > 20 000t/an	>20 kt/an
Administratif (Gestion, Pont bascule, contrôle qualité/caractérisation)	Non posté ou posté	2 ETP pour les CDT < 20 000t/an +1 ETP pour les CDT < 40 000t/an +1 ETP pour les CDT < 60 000t/an	20 kt/an 40 kt/an 60 kt/an
Maintenance	Posté	2 ETP pour les CDT < 30 000t/an +1 ETP pour les CDT < 40 000t/an +1 ETP pour les CDT < 60 000t/an	30 kt/an 40 kt/an 60 kt/an
Entretien	Posté	1 ETP pour les CDT < 30 000t/an +1 ETP pour les CDT < 50 000t/an +1 ETP pour les CDT < 60 000t/an	30 kt/an 50 kt/an 60 kt/an

Conducteurs d'engins	Posté (et non posté)	2 ETP pour les CDT < 20 000t/an en TS 4 ETP pour les CDT < 30 000t/an +1 ETP pour les CDT >30 000t/an	Tri simplifié 30 kt/an >30 kt/an
Opérateurs Trieurs	Posté	<u>Estimation faite en fonction de la typologie de centre de tri et du niveau de tri</u>	

Tableau 20 : Hypothèses du nombre et typologie de personnel

En application ces hypothèses aux différents modèles, on obtient les résultats du nombre de postes de travail (en ETP) pour chaque modèle :

Paramètres	TS10	TS15	TFD15	TFD25	TFD35	TFD45	TFD60
Responsable de site	-	-	-	-	1	1	1
Responsable opérationnel	1	1	1	1	1	2	2
Responsable Maintenance	-	-	-	1	1	1	1
Administratif (Pont bascule, contrôle qualité)	2	2	2	3	3	4	4
Maintenance (posté)	2	2	2	2	3	4	4
Entretien (posté)	1	1	1	1	2	2	3
Conducteurs d'engins (posté)	2	2	4	4	5	5	6
Opérateurs Trieurs (posté)	6	8	24	32	36	42	50
TOTAL	14	16	34	44	52	61	71

Tableau 21 : Hypothèses du nombre et typologie de personnel (ETP) par modèle

Les coûts par typologie de personnels sont repris dans le tableau ci-après. Ces coûts sont des coûts du poste de travail sur une base annuelle incluant les coûts du personnel, les congés payés et le remplacement du personnel pendant ces congés (intérim ou rotation de personnel). Il s'agit donc d'un coût par ETP. L'évolution des coûts de personnel a été prise à partir de l'évolution des indices officiels (indice SNAD – ICM03) :

Période	07/2019	07/2022	Evolution en %
Indice ICM03	102,39	111,46	+8,86%

Tableau 22 : Hypothèses de hausses des indices de coût de personnel

Paramètres	Répartition	Valeurs 2019	Valeurs 2022
Responsable de site	Frais fixes	60 000 €	65 315 €
Responsable opérationnel	Frais fixes	50 000 €	54 429 €
Responsable Maintenance	Frais fixes	50 000 €	54 429 €
Administratif (Pont bascule, contrôle qualité)	Frais fixes	40 000 €	43 543 €
Maintenance (posté)	Frais variables	45 000 €	48 986 €
Entretien (posté)	Frais variables	35 000 €	38 100 €
Conducteurs d'engins (posté)	Frais variables	40 000 €	43 543 €
Opérateurs Trieurs (posté)	Frais variables	35 000 €	38 100 €

Tableau 23 : Hypothèses des frais de personnel

2.6.4. Autres frais

Les autres frais concernent les frais fixes et variables d'exploitation. Compte tenu des fortes variations de certains postes, il est proposé de détailler par sous poste afin d'avoir une analyse plus précise et permettre une actualisation future de ces postes.

Ces postes sont décrits ci-après :

- Frais fixes :
 - Assurances : cela concerne les assurances du centre de tri, en particulier les assurances incendie qui ont continué à augmenter ces dernières années. Au vu des modalités et conditions assurantielles très différentes d'un centre de tri à l'autre (franchise, montant des primes, ...) et des difficultés d'avoir une base de montant d'assurance homogène, des montants ont été proposés et partagés avec les membres du COSUI.
 - Contrôle : ce poste est relatif aux contrôles périodiques.
 - Location engins : cela concerne la mise à disposition des engins de manutention (chargeurs, pince à balles) non pris en compte dans les investissements (en contrat de location (type full service))
- Frais variables : ces frais sont détaillés en 4 postes :
 - Electricité : cela concerne l'ensemble du process et du centre de tri (locaux sociaux). Afin de tenir compte des variations du prix du kWh observés ces dernières années, ce poste est décomposé avec une consommation optimisée à 60 kWh/t entrante CDT. La base du prix du kWh est prise à 0,15 €/kWh pour l'année 2022.
 - Carburant : ce poste concerne les engins de manutention (chargeurs, pince à balles). Il est ramené à la tonne entrante à 1,4 €/t pour l'année 2022.
 - Fils de fer (ligaturage) pour les balles : ce poste concerne les matériaux mis en balles (papiers cartons hors graphiques (pris en vrac), plastiques et aluminium). Il est ramené à la tonne entrante à 2,1 €/t pour l'année 2022
- Frais de gestion : ces frais de support, de siège, administratif ... sont calculés sur la base du % du montant des coûts hors refus, hors amortissements. Ils n'incluent pas la marge.

Pour le modèle TS10, un coût additionnel a été pris pour le tri complémentaire dans le centre de tri voisin de la fraction Corps Creux sortant balistique de ce modèle (hypothèse de 25% du flux entrant). Le coût de ce tri complémentaire a été pris sur la base du coût de tri (hors refus) du TFD45 correspondant aux configurations de ces centres de tri en 2 étapes.

Les hypothèses prises pour chacun de ces postes sont détaillées ci-dessous :

Paramètres	Poste	Valeur 2019	Valeur 2022
Frais fixes	Assurances	90 k€/an si CDT <30 kt/an 180 k€/an si CDT >30 kt/an	180 k€/an si CDT <30 kt/an 300 k€/an si CDT >30 kt/an
	Contrôle	20 k€/an si CDT <30 kt/an 30 k€/an si CDT >30 kt/an	20 k€/an si CDT <30 kt/an 30 k€/an si CDT >30 kt/an
	Location engins	50 k€/an si CDT <30 kt/an 100 k€/an si CDT >30 kt/an	55 k€/an si CDT <30 kt/an 110 k€/an si CDT >30 kt/an
Frais variables	Electricité (consommation optimisée à 60 kWh/t sur une base de 0,15 €/kwh)	12 €/t	9 €/t
	Carburant (coût pour engins)		1,4 €/t
	Fils de fer (coût hors mise en balles des graphiques)		2,1 €/t
	Autres		0,5 €/t
Frais de gestion (support, siège, gestion, administration, etc.)	% du montant des coûts hors refus, hors amortissements, n'incluent pas la marge	20 %	20 %

Tableau 24 : Hypothèses des autres frais

2.6.5. Coûts d'exploitation pour les différentes typologies

L'application des hypothèses vue précédemment aux différentes typologies de centres de tri retenues donnent les coûts 2022 suivants :

Pour les **centres de tri construits et mis en route <= 2021** :

Coût de tri AVEC amortissement (en EUR H.T./t entrante)	TS10	TS15	TFD15	TFD25	TFD35	TFD45	TFD60
Amortissements des investissements	82	68	91	68	59	55	54
Entretien et GER	17	14	19	14	12	11	11
Frais de personnel (opérateurs de tri)	23	20	61	49	39	36	32
Autres frais de personnel	36	24	30	22	21	20	16
Autres frais de fonctionnement	102 ⁹	48	58	45	45	41	36
TOTAL (hors refus) 2022	259	174	259	198	177	162	150

Tableau 25 : Coût d'exploitation avec amortissement 2022 par modèle des CDT opérationnels <= 2021

Coût de tri AVEC amortissement (en EUR H.T./t entrante)	TS10	TS15	TFD15	TFD25	TFD35	TFD45	TFD60
TOTAL (hors refus) 2019	230	155	240	187	167	152	141
Evolution 2022 / 2019 (en %)	13%	13%	8%	6%	6%	7%	6%

Coût de tri HORS amortissement) (en EUR H.T./t entrante)	TS10	TS15	TFD15	TFD25	TFD35	TFD45	TFD60
TOTAL (hors refus) 2019	145	84	144	115	104	95	85
Evolution 2022 / 2019 (en %)	23%	27%	17%	13%	13%	13%	12%

Tableau 26 : Comparaison des coûts d'exploitation 2022 par modèle des CDT opérationnels <= 2021

Pour les **centres de tri mis en route en 2022, et ceux restant à construire jusque 2026** : Prise en compte des valeurs réévalués. Les valeurs base 2022 sont issues des projets existants et réalisés avec une mise en service en 2022. Les coûts indiqués sont toujours des coûts optimisés comme décrit en introduction de ce rapport. En fonction des besoins et spécificités de chaque projet, des cahiers des charges, les coûts réels peuvent être supérieurs à ces coûts optimisés.

Coût de tri AVEC amortissement (en EUR H.T./t entrante)	TS10	TS15	TFD15	TFD25	TFD35	TFD45	TFD60
Amortissements des investissements	108	88	120	89	76	70	69
Entretien et GER	21	17	23	17	15	14	14
Frais de personnel (opérateurs de tri)	23	20	61	49	39	36	32
Autres frais de personnel	36	24	30	22	21	20	16
Autres frais de fonctionnement	107 ¹⁰	48	59	45	46	41	37

TOTAL (hors refus) 2022	296	199	293	222	197	180	168
--------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tableau 27 : Coût d'exploitation avec amortissement 2022 par modèle des CDT opérationnels >= 2022

Coût de tri AVEC amortissement (en EUR H.T./t entrante)	TS10	TS15	TFD15	TFD25	TFD35	TFD45	TFD60
TOTAL (hors refus) 2019	230	155	240	187	167	152	141
Evolution 2022 / 2019 (en %)	28%	28%	22%	19%	18%	19%	19%

Coût de tri HORS amortissement (en EUR H.T./t entrante)	TS10	TS15	TFD15	TFD25	TFD35	TFD45	TFD60
TOTAL (hors refus) 2019	145	84	144	115	104	95	85
Evolution 2022 / 2019 (en %)	29%	31%	20%	16%	16%	16%	16%

Tableau 28 : Comparaison des coûts d'exploitation 2022 par modèle des CDT opérationnels >= 2022

3. Evaluation des coûts de transfert et de transport

En amont des centres de tri, une partie des flux de collecte sélective passe par des étapes de transfert et de transport, étapes situées entre la collecte et le centre de tri. Ces étapes permettent de réduire les coûts globaux et de regrouper et transporter les flux de collecte sélective sur des distances plus importantes. Le passage par une plateforme de transfert (PT) ne résulte pas uniquement de la recherche d'une réduction des coûts mais traduit aussi des besoins pratiques observés sur le terrain : le transfert permet de libérer les BOM de leur fonction première qui est la collecte. Les plateformes de transfert offrent, de plus, une véritable flexibilité /sécurité pour l'exploitation, notamment en permettant d'orienter les flux vers d'autres destinations, et d'assurer dans certains cas un tampon en amont du centre de tri en cas de besoin.

Ces éléments montrent qu'il y a des vrais enjeux d'optimisation relatifs à la fonction transfert et transport qui diffèrent selon les situations et contextes locaux.

Les évaluations des coûts de transfert et de transport sont reprises ci-après.

A noter que les deux modélisations portent uniquement sur les coûts des prestations relevant du SPGD (Service Public de Gestion des Déchets). Ainsi, les évacuations ne porteront pas sur les coûts de transport au titre des étapes suivant l'étape du centre de tri : transport vers un centre de surtri ou vers un recycleur.

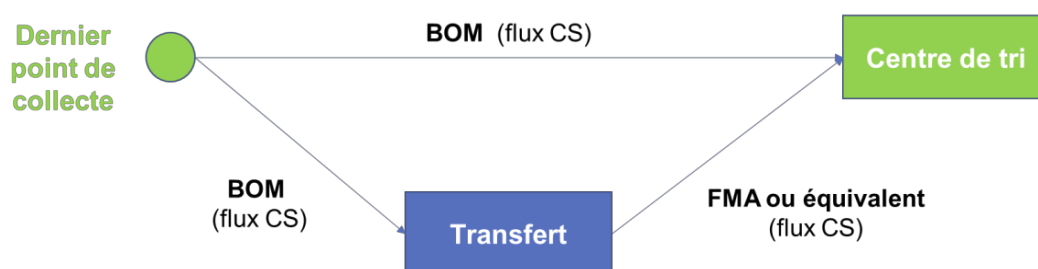


Figure 3 : Représentation schématique des étapes de transfert et transport¹¹

Comme pour les étapes de tri, les modélisations des étapes transfert et transport ont comme objectif de modéliser des coûts de référence, répondant au besoin réglementaire dans le cadre de la responsabilité élargie des producteurs (REP) d'établir les coûts d'un système optimisé de collecte et de tri des emballages ménagers et des papiers graphiques.

Les coûts et hypothèses présentés dans cette partie ne correspondent donc pas à l'organisation actuelle du transport/transfert sur le territoire. Ils ne correspondent pas non plus à un service prescriptif qui devrait s'imposer aux collectivités territoriales.

Le calcul des coûts de transfert et de transport dans le "système optimisé" repose sur une modélisation, en métropole (les territoires d'outre-mer font l'objet de travaux spécifiques, en-dehors de la présente étude), et sur les principes suivants :

- Une extension des consignes de tri portant sur 100% du territoire,
- Une harmonisation des consignes de tri et du schéma de collecte multimatériaux sur l'ensemble du territoire
- Le site et terrain nécessaire pour la construction du centre de transfert est une zone sans contraintes techniques et environnementales spécifiques, ne nécessitant pas des aménagements complémentaires (fondations particulières, zone de compensation pour zone humides, espace protégé...)
- Le bâtiment modélisé est un bâtiment de type industriel « classique » sans intégration architecturale, ni contrainte constructive spécifique, en particulier les contraintes spécifiques de sol et sous-sol (fondations profondes, zones inondables...)

¹¹ BOM : Benne à Ordures Ménagères

FMA : Semi-remorque à Fond Mouvant Alternatif

- Le centre de transfert pris comme hypothèses est un centre de transfert en gravitaire avec des semi-remorques FMA pour le transport
- Le site fonctionne en marche nominale
- Les aménagements prévus sont spécifiques et limités seulement au centre de transfert et ne prennent pas en compte des besoins complémentaires ne rentrant pas dans le cadre de ces évaluations (autres activités sur le site : UVE, tri, déchèterie...)
- Les locaux prévus sont spécifiques et limités seulement aux besoins du centre de transfert et n'intègrent pas des locaux complémentaires à l'usage de la collectivité ou de l'opérateur
- Les aménagements extérieurs sont limités au minimum et ne prennent pas en compte des demandes spécifiques liées au terrain ou à l'environnement du site
- Il n'est pas pris en compte de dispositions spécifiques imposées dans certains marchés
- Les frais de personnel sont réputés prendre en compte l'ancienneté moyenne de la profession ainsi que le coût moyen du personnel selon une pondération entre les prestataires privés et les régies

3.1. Modélisation des coûts de transfert

Les hypothèses prises pour les différents bâtiments et infrastructures sont détaillées ci-dessous et pour les principaux paramètres :

Zone	Paramètres	Hypothèses	Valeurs 2022
Bâtiment transfert	Zone de vidage et transfert Zone de chargement des camions (+100m ² >=5000t/an)	200 m ² 200 m ² +100m ² (si >=5000 t/an)	1 000 EUR/m ²
Bureaux et locaux sociaux	1 bureau + 1 local divers Locaux sanitaires (H/F)	12 m ² / bureau 10 m ²	1 800 EUR/m ²
Voirie Raccordement Divers	Voirie de circulation et pont bascule et parking VL Aire de retournement des camions et semis	500 m ² 500 m ²	230 EUR/m ²

Tableau 29 : Hypothèses techniques pour le dimensionnement des infrastructures

Les hypothèses prises pour les différents coûts d'exploitation sont détaillées ci-dessous et pour les principaux paramètres :

Paramètres	Description	Valeurs 2022
Taux d'intérêt	Bâtiment (études et travaux) (sur une durée de 20 ans)	2,5%
Etudes liés au bâtiment/VRD	% du montant des investissements pour bâtiment et VRD	11%
Bâtiment et VRD	% du montant des investissements pour bâtiment et VRD	2%
Frais de personnel	Administratif (Pont bascule, gestion) (hypothèse à 1 ETP)	43 543 €
Autres frais fixes	Assurances, contrôle, divers	15 000 €
Autres frais variables	Electricité, divers	0,5 €/t
Frais de gestion (support, gestion, administration, etc.)	% du montant des coûts, hors amortissements, n'incluent pas la marge	20%

Tableau 30 : Hypothèses techniques pour les coûts d'exploitation

Les coûts de transfert peuvent fortement varier, en fonction :

- De l'activité sur site : site dédié pour la collecte sélective ou mutualisation entre plusieurs flux (OMr, Verre, autres flux...) et/ou activités (déchèteries, UVE...)
- De la configuration des plateformes et des modes de transfert des flux : vidage au sol avec reprise, vidage gravitaire dans la remorque de transport...
- Des tonnages transférés.

La modélisation se base sur une configuration dédiée de centres de transfert pour des tonnages de collecte sélective allant de 2000 à 8000 t /an (soit un équivalent de 40 000 à 160 000 habitants).

Tonnage transféré (en t/an)	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
Investissement (en EUR H.T.)	760 000	760 000	760 000	870 000	870 000	870 000	870 000

Tableau 31 : Modélisation des coûts d'investissements de transfert

L'application des hypothèses vue précédemment donnent les coûts estimatifs suivants :

Tonnage transféré (en t/an)	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
Amortissement (20 ans)	24	16	12	11	9	8	7
GER - Entretien	8	5	4	3	3	2	2
Personnel	22	15	11	9	7	6	5
Frais fixes (Assurances...)	8	5	4	3	3	2	2
Frais variables (électricité...)	1	1	1	1	1	1	1
Frais de gestion	7	5	4	3	3	2	2
TOTAL (en EUR H.T./t)	69	46	35	30	25	21	19

Tableau 32 : Modélisation des coûts annuels de transfert

Ces coûts sont fortement dépendants des tonnages transférés. Sur les bases de cette modélisation, ils varient entre 19 et 69 €/t suivant les tonnages transférés.

3.2. Modélisation des coûts de transport

Les coûts de transport prennent en compte différentes hypothèses dans le cadre du système optimisé et sont calculés à partir des paramètres suivants :

- Type de camion pour le transport : semi-remorque avec Fonds Mouvant Alternatif (FMA). D'autres solutions existent selon l'origine du transfert et des lieux de traitement utilisés comme des caissons à compaction. Ces solutions tendent à se réduire compte tenu des coûts d'exploitation et de transport plus élevés. Elles ne seront pas prises en compte dans le cadre de cette étude.
- Volume transporté : 90m3 (certaines semi-remorques peuvent aller jusqu'à 100m3)
- Densité et Tonnages transportés : c'est un paramètre clé d'autant que le passage en ECT a entraîné une baisse de densité, par conséquent une baisse des tonnages transportés par voyage, et donc une hausse des coûts. Pour un flux Multi Matériau en ECT, la densité prise en compte est de 0,12, soit une charge par semi-remorque de 10,8 t/FMA
- Coût horaire du véhicule : le coût horaire est évalué à 90 € HT/h afin de prendre notamment en compte la hausse du coût des carburants et des salaires
- Temps d'immobilisation sur site : temps de chargement sur le transfert et déchargement sur le centre de tri, incluant les temps de pesée et d'attente sur le centre de transfert et le centre de tri. Le temps pris comme hypothèse est de 2 h.

Les hypothèses utilisées pour le calcul des coûts de transport sont reprises dans le tableau ci-après :

Paramètres	Hypothèses
Volume transporté par camion	90 m3
Densité (flux collecte sélective Multi-Matériau)	0,12
Coût horaire de véhicule incluant : <ul style="list-style-type: none"> - Coût d'investissement du véhicule FMA avec remorques de rechange - Amortissement sur 7 ans - Frais d'entretien et maintenance - Coût des conducteurs avec remplacement - Frais fixes (assurances, contrôle technique...) - Frais variables (carburant (30l/100km à 1,86 €/l moyenne 2022 INSEE) 	90 EUR/h

- Frais de gestion (administratif, encadrement, support, siège...) à hauteur de 20%	
Temps d'immobilisation sur site (transfert et centre de tri)	2 h
Vitesse moyenne semi-remorque par milieu :	
- Rural	65 km/h
- Mixte rural	60 km/h
- Mixte urbain	45 km/h
- Urbain	40 km/h
- Touristique	40 km/h

Tableau 33 : Hypothèses pour la modélisation des coûts de transport

Ces hypothèses, complétée de la distance moyenne entre centres de tri et centres de transfert (évaluée dans le cadre de la modélisation du coût global en tenant compte de la superficie des territoires et du nombre de centres de tri et de plateformes de transfert par territoire) permettent d'évaluer le coût du transport correspondant.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEME, Juillet 2021, Note de calcul pour l'évaluation des coûts de référence dans le cadre d'un système optimisé de collecte et de tri des déchets d'emballages managers et des papiers graphiques en métropole
- ADEME/Citeo, 2011, actualisée en juin 2014, Etude adaptabilité
- ADEME, 2014, actualisée en juin 2014, Etude prospective
- AFNOR, 2018, Norme AFNOR NF X35-702 - Sécurité des machines – Principes ergonomiques pour la conception des cabines de tri manuel des déchets recyclables secs ménagers et assimilés issus des collectes sélectives
- INRS, ED 6098 – Centres de tri de déchets recyclables secs ménagers et assimilés issus des collectes séparées – Guide de prévention pour la conception
- INRS, ED 4702 – Septembre 2018, Documents sur la prévention des risques d'incendie
- Arrêtés ministériels du 6 juin 2018 fixant les prescriptions techniques détaillées, Décret n° 2018-458 du 6 juin 2018 définissant les nomenclatures et régimes à respecter (déclaration, enregistrement et autorisation), Réglementation ICPE définissant, entre autres, les moyens de lutte contre l'incendie
- ADEME - ArcelorMittalFrance – CITEO, 2018, Guide de recommandations pour l'amélioration du tri des emballages en acier et en aluminium dans le cadre de la modernisation des centres de tri
- FNADE, 2018, « Recommandations principales pour la Prévention des incendies en centre de tri de déchets d'emballages et de papiers ménagers. »
- CITEO, 2020, Etude sur les coûts de collecte et de tri des papiers graphiques
- ADEME, Mai 2016, Organisation de la collecte des déchets d'emballages ménagers et de papiers graphiques dans le service public de gestion des déchets

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

FIGURES

Figure 1 : Répartition du parc de CDT en fonction des typologies et de la période de mise en route.....	15
Figure 2 : Description des Flux développement rigide et souple	17
Figure 3 : Représentation schématique des étapes de transfert et transport.....	29

TABLEAUX

Tableau 1: Hypothèse de densité des flux entrants.....	11
Tableau 2: Hypothèse de poids moyen par objet.....	11
Tableau 3 : Hypothèses techniques pour le dimensionnement des infrastructures.....	12
Tableau 4 : Hypothèses techniques pour le dimensionnement des process (alimentation et séparateur)	12
Tableau 5 : Typologie de centre de tri retenus pour l'étude.....	14
Tableau 6 : Répartition du parc en France métropolitaine en 2026	14
Tableau 7 : Gisement emballages et papiers graphiques en France Métropolitaine en 2022 et 2026	16
Tableau 8 : Hypothèse de masse volumique des flux entrants process	17
Tableau 9 : Taux de pureté minimum pour chaque matériau et flux sortant retenu pour l'étude	18
Tableau 10 : Taux de captage pour chaque matériau retenu pour l'étude.....	18
Tableau 11 : Taux de refus sortant CDT pour chaque typologie de centre de tri.....	19
Tableau 12 : Hypothèses de coût pour les infrastructures	20
Tableau 13 : Hypothèses de coût pour les process	21
Tableau 14 : Hypothèses du nombre d'alimentation et de séparateurs pour les typologies de centres de tri	21
Tableau 15 : Hypothèses de coût pour les études.....	22
Tableau 16 : Montant d'investissement par typologie pour les centres de tri mis en route <=2021.....	22
Tableau 17 : Montant d'investissement par typologie pour les centres de tri mis en route >= 2022	23
Tableau 18 : Hypothèses de taux d'intérêt pour les emprunts.....	23
Tableau 19 : Hypothèses de coût pour le GER.....	24
Tableau 20 : Hypothèses du nombre et typologie de personnel.....	25
Tableau 21 : Hypothèses du nombre et typologie de personnel (ETP) par modèle	25
Tableau 22 : Hypothèses de hausses des indices de coût de personnel.....	25
Tableau 23 : Hypothèses des frais de personnel.....	25
Tableau 24 : Hypothèses des autres frais	26
Tableau 25 : Coût d'exploitation avec amortissement 2022 par modèle des CDT opérationnels <= 2021	27
Tableau 26 : Comparaison des coûts d'exploitation 2022 par modèle des CDT opérationnels <= 2021	27
Tableau 27 : Coût d'exploitation avec amortissement 2022 par modèle des CDT opérationnels >= 2022	28
Tableau 28 : Comparaison des coûts d'exploitation 2022 par modèle des CDT opérationnels >= 2022	28
Tableau 29 : Hypothèses techniques pour le dimensionnement des infrastructures.....	30
Tableau 30 : Hypothèses techniques pour les coûts d'exploitation	30
Tableau 31 : Modélisation des coûts d'investissements de transfert.....	31
Tableau 32 : Modélisation des coûts annuels de transfert.....	31
Tableau 33 : Hypothèses pour la modélisation des coûts de transport.....	32

SIGLES ET ACRONYMES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
BF	Bouteilles et Flacons
CDT	Centre de tri
CDST	Centre de Surtri
ECT	Extension des Consignes de Tri
ETP	Equivalent Temps Plein
FMA	Fond Mouvant Alternatif (concerne les semi-remorques pour le transport en vrac)
MM	Flux Multi-Matériaux composé d'emballages hors verre et de papiers graphiques
MSI	Mise en Service Industrielle
PB	Pots et Barquettes
PCNC	Flux d'emballages en Papier Carton Non Complexé
PCC	Flux d'emballages en Papier Carton Complexé
PG	Flux de papiers graphiques
PL (ou mix rigides)	Flux à surtrier d'emballages en plastique rigide comprenant notamment l'ensemble des pots, barquettes, bouteilles et flacons
PT	Plateforme de Transfert
TS	Tri simplifié (utilisé pour les modèles de centre de tri)
TFD	Tri Flux développement (utilisé pour les modèles de centre de tri)
UVE	Unité de Valorisation Energétique

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, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - 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 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.



MODELISATION DES COUTS DE REFERENCE DE TRI ET DE TRANSPORT -FILIERE REP EMBM et PAP

Cette étude vise à modéliser des coûts de référence, répondant au besoin réglementaire dans le cadre de la responsabilité élargie des producteurs (REP), pour les centres de tri et pour le transport/transfert en amont des centres de tri dans le cadre d'un système optimisé de collecte et de tri des déchets d'emballages ménagers et de papiers graphiques en métropole.

Les coûts et hypothèses présentés dans le cadre de cette étude ne correspondent donc pas à l'organisation actuelle du tri et du transport/transfert sur le territoire, ni à un service prescriptif qui devrait s'imposer aux collectivités territoriales, mais à une organisation modélisée devant permettre de répondre aux objectifs de performances de collecte et de recyclage, tout en maîtrisant les coûts.

