



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Organización Industrial

Creación de una herramienta de cálculo de impactos ambientales para centros de tratamiento de residuos

Autor:

Izquierdo Sacristan, Pedro

Responsable de Intercambio en la Uva

Blanca Giménez Olivarria

Universidad de destino

École Nationale Supérieure des Arts et Métiers

Valladolid, septembre 2024.

TFG REALIZADO EN PROGRAMA DE INTERCAMBIO

TÍTULO: Développement d'un calculateur d'impacts environnementaux et rédaction d'une analyse de cycle de vie pour centres de tri de déchets.

ALUMNO: Pedro Izquierdo Sacristan

FECHA: 06/09/2024

CENTRO: Institut de Chambéry Arts et Métiers

UNIVERSIDAD: École Nationale Supérieure des Arts et Métiers

TUTOR: Tom Bauer

Resumen: El objetivo de este proyecto es crear una herramienta que sirva para cuantificar el impacto ambiental de la construcción y explotación de los centros de tratamiento de residuos diseñados y construidos por la empresa Néos. Este informe detallará el funcionamiento de esta herramienta, así como las motivaciones de uso para la empresa y la metodología de análisis de ciclo de vida adaptada a las plantas de clasificación de desechos. De la misma forma presentará brevemente los otros proyectos realizados durante mi periodo en Néos.

Palabras clave : calculateur carbone, analyse de cycle de vie, indicateurs environnementaux, process de tri, bilan carbone



2023-2024

Mémoire de stage de fin d'étude

**Développement d'un calculateur d'impacts
environnementaux et rédaction d'une analyse de cycle de
vie pour centres de tri de déchets.**

IZQUIERDO, Pedro

Tuteur industriel : **BOLOT, Alexandre**

Tuteur pédagogique : **BAUER, Tom**



NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

ANNEE : 2024

TYPE DE RAPPORT : SFE ☒ Master ☐ Mastère Spécialisé® ☐

CAMPUS DE RATTACHEMENT : Campus Arts et Métiers Cluny

AUTEUR : IZQUIERDO, Pedro

TITRE : Développement d'un calculateur d'impacts environnementaux et rédaction d'une analyse de cycle de vie pour centres de tri de déchets.

TUTEUR PEDAGOGIQUE : BAUER, Tom

ENTREPRISE PARTENAIRE : Néos

NOMBRES DE PAGES : 46

NOMBRE DE REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : 10

RESUME : Ce projet vise à élaborer un outil simplifié d'évaluation des impacts environnementaux des projets de conception de centres de tri de Néos. Le présent rapport décrira le fonctionnement de cet outil, la méthodologie d'analyse du cycle de vie adaptée aux centres de tri et présentera succinctement les autres réalisations menées dans le cadre de mon contrat de professionnalisation au sein de Néos.

MOTS CLES : calculateur carbone, analyse de cycle de vie, indicateurs environnementaux, process de tri, bilan carbone

Remerciement

Je tiens avant tout à remercier monsieur Christophe BERNAD qui m'a accueilli au sein de son entreprise, et m'a offert la possibilité de travailler pour une mission en accord avec mes convictions ainsi que mon projet professionnel.

Alexandre BOLOT et Aurélie RIGAUT qui m'ont soutenu et accompagné dans mon intégration dans l'entreprise, qui me consacrent une partie de leur temps, et avec qui j'ai eu la chance de travailler quotidiennement

Table des matières

CHAPITRE A PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	8
A.1 HISTORIQUE DE L'ENTREPRISE	8
A.2 LES VALEURS DE L'ENTREPRISE	8
A.3 ENGAGEMENTS RSE DE L'ENTREPRISE	9
A.4 ORGANIGRAMME DE L'ENTREPRISE	10
A.5 NEOS AU SEIN DU MARCHE DES CENTRES DE TRI DE DECHETS	11
CHAPITRE B MA MISSION DANS L'ENTREPRISE	12
B.1 PRESENTATION	12
B.2 CALCULATEUR D'IMPACT CARBONE	12
B.2.1 Objectifs initiaux	13
B.2.2 Introduction à l'outil	14
B.2.3 Structure générale du calculateur	16
B.2.4 Choix des impacts environnementaux	20
B.2.5 Onglets résultats	21
B.2.6 Fonctionnalités supplémentaires de l'outil	26
B.3 ANALYSE DU CYCLE DE VIE	36
B.3.1 Introduction et objectifs de l'étude	36
B.3.2 Définition du champ de l'étude	36
B.3.3 Calcul de l'inventaire : données et hypothèses	38
B.3.4 Evaluation des impacts	40
B.3.5 Evaluation de la qualité des données	43
B.3.6 Limites de l'étude	45
CHAPITRE C AUTRES MISSIONS	45
C.1 BILAN CARBONE	45
C.2 ETUDE DES BANDES DES CONVOYEURS	47
C.3 CHALLENGE DE LA MOBILITE BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE	48
CHAPITRE D CONCLUSION	49
BIBLIOGRAPHIE	50
TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX	50
ANNEXES	51

Chapitre A Présentation de l'entreprise

Néos est une entreprise 100% française basée à Beaune, en Bourgogne. Elle emploie plus de 70 collaborateurs et réalise des centres de traitement des déchets ménagers ou industriels. Elle totalise à ce jour plus de 100 références et son chiffre d'affaires annuel est de 33 millions d'euros.

Son métier d'ensemblier consiste à concevoir, réaliser, mettre en service et maintenir des installations de traitement de déchets ménagers et industriels.

A.1 Historique de l'entreprise

- **1956 : Karl Friedhelm Horstmann et la création**

Création de la société Horstmann par Karl Friedhelm Horstmann dont l'objet est la conception et la fabrication d'un convoyeur révolutionnaire pour extraire le charbon des wagons de chemins de fer.

- **1994 : Création de Horstmann France**

Implantée en Bourgogne, à Beaune (21), Horstmann France est créée pour l'étude et la réalisation de projets de tri et de compostage sur les marchés francophones.

- **2002 : Nouveau nom : Néos**

Horstmann France crée son nouveau nom commercial pour le marché français.

- **2003 : Premier centre de tri**
- **2011 : Néos crée son bureau d'études automatisme – supervision**
- **2015 : Néos devient une entreprise 100% française**
- **2018 : Développement de Noé LEC, Low Energy Consumption**

Une application pilotée qui contrôle et optimise la consommation énergétique des centres de tri

A.2 Les valeurs de l'entreprise

« Ensemblier de votre environnement » (Néos, s.d.)

L'humain

L'humain est au centre des préoccupations de néos : salariés, clients, partenaires, bénéficiaires des performances de nos installations

La diversité

L'équipe, dans sa diversité et ses différences est créatrice de performance

L'environnement

Les préoccupations environnementales étant la source des activités, néos se sent redevables envers l'environnement

La recherche et la technique

Rechercher des idées d'aujourd'hui pour créer les standards de demain : la technique au service de

L'environnement et des valeurs humanistes.

La satisfaction client

La satisfaction finale du client prime et donne sens aux efforts de néos

A.3 Engagements RSE de l'entreprise

Le développement du secteur recyclage des déchets combiné aux succès commerciaux de l'entreprise ont produit une forte croissance d'activité qui a conduit néos à une restructuration profonde de son organisation.

Dans ce contexte et pour préserver les valeurs fondatrices qui l'ont guidée, l'entreprise est entrée dans une dynamique RSE.

Néos a obtenu le label national Engagé RSE Rexcelys®. Délivré par France Qualité à la suite d'une évaluation effectuée selon 10 thèmes et 40 critères, cette labellisation atteste de l'engagement de l'entreprise tant en matière environnementale et sociale, que de maîtrise de la qualité.

néos répond ainsi aux attentes de ses clients concernant une prise en compte avérée des enjeux de la RSE.

A.4 Organigramme de l'entreprise

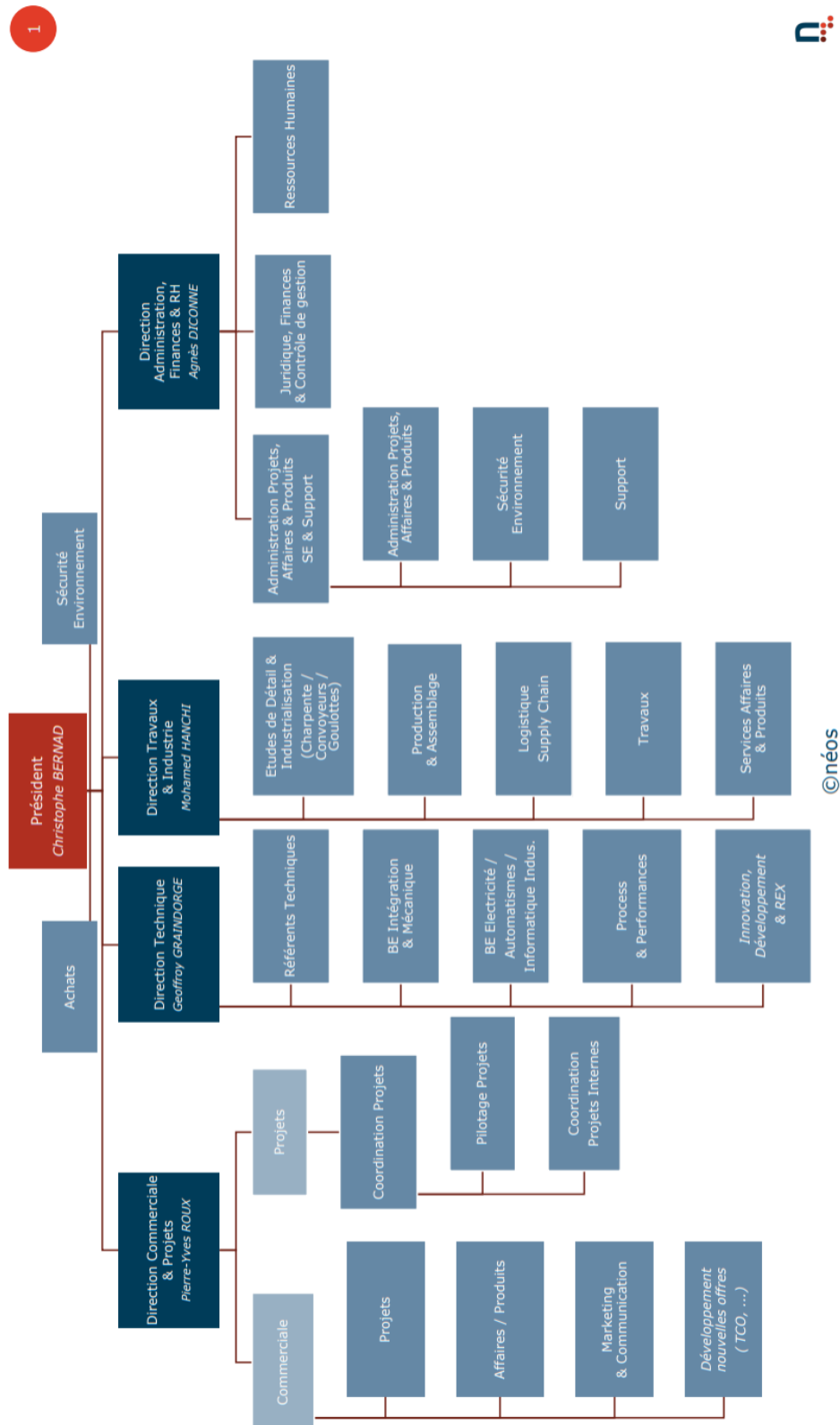


Figure 1 Organigramme néos

A.5 Néos au sein du marché des centres de tri de déchets

Pour se lancer dans un projet, néos doit d'abord décrocher un appel d'offre lancé par un client qui sera le futur gestionnaire du centre. Le client est généralement un acteur territorial mais certains clients sont des privés qui ont décroché un contrat auprès d'acteurs territoriaux.

Néos répond à un appel d'offre en s'associant avec un architecte qui dessinera le bâtiment et un constructeur qui bâtera ce dernier. Néos ne s'occupe que de la partie « déchet » du centre. Ces trois lots forment un groupement. Le groupement propose un projet qui récapitule la vie et le coût du centre de tri de sa conception à sa destruction. Cette proposition se fait sur trois présentations sur une période de 8 à 12 mois. C'est à ce moment que néos est en concurrence directe avec les autres installateurs de centre de tri.

Si le groupement remporte l'appel d'offre, il encadre une période de deux ans impliquant conception, échange avec le client, et installation avant que les premiers déchets soient triés dans le centre.

Lors de la conception, néos conçoit le fonctionnement du centre de tri mais pas les machines de tri, ni les presses à balles. Ces dernières sont achetées par néos à des fournisseurs pour équiper le centre.

De même que les utilités (traitement de l'air, climatisation, équipements électrique et informatique).

Pour ce qui est des convoyeurs et de la charpente, néos choisit leur motorisation, dimensions, inclinaison, équipements, mais ces derniers sont également produits par un fournisseur. On ne parle pas ici de la charpente du bâtiment mais bien de la charpente qui soutient les convoyeurs, les machines de tri, les passerelles sont incluses dans la charpente.

On peut compter un an environ pour concevoir le centre de tri.

Au cours de la dernière année il y a le chantier dans lequel néos est chargé d'installer les équipements de tri, les mettre en route, et les tester.

La phase de tests peut durer jusqu'à 2 ou 3 mois pour les chantiers les plus problématiques.

Néos a un deuxième visage avec noe (Néos Original Equipment), ce sont des équipements conçus par

néos pour les centres. Noé étant encore très jeune, les équipements de néos représentent une large minorité des équipements que néos installe.

Chapitre B Ma mission dans l'entreprise

B.1 Présentation

Néos, soucieuse de l'environnement et soucieuse de l'image qu'elle renvoie à ses partenaires, a engagé une démarche d'évaluation objective de ses centres de tri depuis 2022. Cette démarche vise à double objectif : d'une part, elle permet à l'entreprise de s'assurer de la cohérence de ses actions avec ses valeurs en matière de développement durable, et d'autre part, elle augmente ses chances de succès dans les appels d'offres en démontrant sa proactivité en matière de RSE.

Dans ce domaine, j'ai une mission principale qui consiste à travailler sur la deuxième version d'un calculateur permettant d'estimer l'impact environnemental des projets de l'entreprise. L'idée est que cet outil serve d'indicateur pour les réponses aux appels d'offres, complétant ainsi l'indicateur financier des projets, et qu'il aide à avoir une meilleure vision de l'impact des centres de tri afin de pouvoir les optimiser environnementalement. En parallèle, l'idée est de rédiger une analyse du cycle de vie générique pour les centres de traitement des déchets afin de faciliter le travail des chefs de projet si cette analyse leur est utile un jour.

D'autre part, j'ai également eu d'autres missions à accomplir cette année. La plus importante a été le calcul du bilan carbone de l'année d'activité précédente, calcul qui est déjà établi dans l'entreprise et est réalisé chaque année depuis 3 ans. J'ai également mené un projet d'étude de la viabilité de différents matériaux à utiliser pour les bandes transporteuses des convoyeurs, équipement très présent dans les centres de tri de déchets. Cependant, ces projets ne seront pas au cœur de ce rapport et je ne les décrirai pas en détail.

En plus de cela, d'autres petites missions ont été ajoutées au fil de l'année, sachant que toute initiative ou idée de projet concernant ce thème a été bienvenue au sein de l'entreprise. J'ai été supervisé et accompagné par Alexandre Bolot, responsable du département Process & Performance, qui m'a facilité le développement de ces missions, dont j'ai eu l'entière responsabilité.

B.2 Calculateur d'impact carbone

Mon arrivée a marqué la continuité du travail initié par Jules Bouleau, mon prédécesseur. Un important travail de conception des machines et de réalisation sur le logiciel SimaPro avait déjà été accompli. Ma mission consistait donc à développer une seconde version de cet outil sur Excel, à la fois simple d'utilisation pour des collaborateurs non experts en analyse de cycle de vie et suffisamment performante pour fournir des résultats fidèles à la réalité sans manipulations excessives.

L'objectif principal est de doter l'entreprise d'un outil permettant de mesurer l'impact environnemental de ses projets. Cet indicateur permettra à l'entreprise de :

Réduire son empreinte environnementale en identifiant les aspects les plus impactantes de ses projets et en mettant en place des actions correctives.

Renforcer ses arguments dans le cadre des appels d'offres en démontrant son engagement en faveur du développement durable et sa capacité à mener des projets respectueux de l'environnement.

En clair, il s'agit de doter l'entreprise d'un levier concret pour concilier performance économique et responsabilité environnementale.

B.2.1 Objectifs initiaux

Avant de commencer le développement de cette deuxième version du calculateur carbone, j'avais une série d'objectifs ou d'aspirations pour le projet.

Objectifs	Réalisation
Bien connaître et comprendre tout le travail effectué avant mon arrivée	Prendre le temps pour analyser la modélisation faite sur Simapro
Approfondir et affiner la modélisation de l'équipement dans SimaPro	Modéliser les équipements pas pris en compte et améliorer certains équipements
Inclure potentielle impact de la fin de vie du centre	Modéliser sur Simapro le scénario le plus réaliste pour la fin de vie du centre
Rendre la calculatrice plus facile à utiliser	Automatiser le remplissage des données nécessaires au calcul de l'impact du centre
Automatiser l'ACV d'un projet lambda dans la calculatrice	En utilisant des macros, amenez l'utilitaire à générer l'analyse du projet analysé.
Obtention de résultats rapides	Base de données interne pour éviter d'aller à Simapro pour obtenir les résultats
Répondre aux futurs besoins des utilisateurs potentiels de la calculatrice	Être en contact avec le service commercial et le service performance
Niveau élevé de fiabilité des résultats	Matrice de Weidema
Calcul de l'incertitude et du niveau de détail de l'étude automatisée	Développer un système pour calculer l'incertitude de l'étude
Former les collaborateurs intéressés par son utilisation	Organisation de séances de formation

Limiter la complexité de la construction de l'outil pour favoriser la compréhension et les modifications futures	Consacrer suffisamment de temps à la création de tableaux afin que les formules utilisent des références de tableaux plutôt que des cellules individuelles, améliorant ainsi la lisibilité et la compréhension
---	---

B.2.2 Introduction à l'outil

Pour que l'ajout de l'indicateur environnemental aux projets soit viable pour l'entreprise, cet outil doit être facile à utiliser et nécessiter le moins de manipulations possible. C'est pourquoi j'ai voulu automatiser autant que possible le remplissage des données et rendre la calculatrice aussi simple que possible.

B.2.2.1 Base de données interne

La première version de la calculatrice consistait à remplir les données nécessaires, que nous aborderons plus tard, pour compléter une base de calcul. Cette base de calcul a un format que le programme Simapro est capable de lire et par conséquent, en ouvrant et en manipulant ce programme, après avoir importé cette base de calcul créée, nous sommes capables d'obtenir l'impact environnemental du projet. Cette méthode présente des aspects positifs et négatifs. Le grand avantage réside dans la précision des résultats et la mise à jour des données de la base de données interne Ecoinvent, mais d'autre part, elle prend beaucoup de temps aux employés peu familiers avec Simapro.

Par conséquent, l'idée de cette deuxième version est de créer une base de données interne afin d'obtenir les résultats directement depuis Excel. Cette base de données interne devra être mise à jour à une certaine fréquence pour actualiser les facteurs d'émission tels que l'impact de la production d'un kilowattheure, qui sont mis à jour annuellement dans Ecoinvent.

L'option de la base de calcul pour Simapro restera intégrée pour les cas où une étude plus détaillée est nécessaire.

Pour rendre cela possible, le tableau suivant (*Tableau 1 Facteurs d'émission*) regroupe l'impact sur les quatre catégories d'impact, qui seront expliquées plus tard, d'une seule unité de tous les équipements et composants possibles des centres de tri. Ces facteurs d'émission sont multipliés par le nombre d'unités de chaque équipement pour obtenir l'impact total du centre.

Tableau 1 Facteurs d'émission

				Facteurs d'émission			
				Changement climatique	Epuisement des ressources minérales	Epuisement des ressources en eau	Epuisement des ressources fossiles
				(kg CO2 eq.)	(Kg Sb eq.)	(m3 water eq.)	(MJ)
Process	Séparation	Equipement ▾	Unité ▾				
		Trommel Petit		136713	0,6	34105	1531944
		Trommel Moyen		157416	0,8	39511	1765382
		Trommel Grand		176657	0,8	44306	1980503
		Aéraulique Petit		17225	0,4	4954	196833
		Aéraulique Moyen		23055	0,7	6683	264939
		Aéraulique Grand		29140	0,9	8536	335154
		Crible balistique		53551	0,4	13717	589919
		Crible balistique		57819	0,4	14354	640134
		Crible à disque Petit		15364	0,1	4880	170797
		Crible à disque Moyen		30727	0,3	9760	341581
		Crible à disque Grand		53773	0,5	17080	597771
		Tri Optique Pellenc		14009	1,3	5089	180489
		Tri Optique TOMRA largeur 2800		10101	1,1	3693	119884
		Tri Optique TOMRA largeur 1400		8729	0,8	3009	102266
		Tri Optique TOMRA largeur 2800		11187	1,2	4169	133882
		Robot		12328	1,1	4478	158830
		OVAP		7705	0,7	2799	99269
		Séparateur non ferreux		7005	0,6	2544	90244
		Poulie magnétique		525	0,0	191	6768
		Silos		4	0,0	1	45
		Désimbriqueur Double		4763	0,1	1045	53218
	Convoyage	PL Néos Petit		5808	0,1	1991	74101
		PL Néos Moyen		8219	0,1	2888	106091
		PL Néos Grand		8813	0,1	3125	115374
		PL Néos Très grand		10706	0,1	3794	141145
		PL Horstmann Petit		6348	0,1	2031	78666
		PL Horstmann Moyen		8914	0,1	2936	112988
		PL Horstmann Grand		9565	0,1	3175	123130
		PL Horstmann Très grand		11502	0,1	3846	149570
		U Petit		9154	0,1	2270	113731
		U Moyen		14234	0,1	3512	180908
		U Grand		23973	0,2	5843	308790
		PA Petit		7090	0,1	1760	90600
		PA Moyen		12400	0,1	3100	165000
Bâtiment	Utilité Compactation	PA Grand		14900	0,1	3780	201000
		PK Petit		22873	0,2	5461	284960
		PK Grand		39831	0,3	9427	504940
		Goulotte		683	0,0	203	7558
		Compacteur		10507	1,0	3816	135366
		Presse à balles		178967	16,6	65007	2305741
		Presse à paquet		15760	1,5	5725	203050
		Compresseurs (Air Comprimé)		10507	1,0	3816	135366
		Dépoussiéreur		3502	0,3	1272	45122
		Pesons		18	0,0	6	226
		Podium motorisé		569	0,0	119	6375
		Pompe à chaleur		2802	0,3	1018	36098
		Supervision		2672	0,7	741	32547
		Lot climatisation		1751	0,2	636	22561
		Cabine		3780	0,0	1360	48900
		Bâtiment		673	0,0	150	5950
		Charpente		2,5	0,0	0,597	27,1
		Béton		315,8	0,0	79	2445
		Acier d'armement pour beton		2311,2	0,0	772	24760
		Acier galvanisé (toit)		2539,2	0,1	960	27844
		Acier bardage		2244,5	0,0	735	23336
		Laine de verre		2,7	0,0	1	39
Exploitation	Laine de roche		1,3	0,0	0	15	
	Bilan puissance		0,1	0,0	0,0274	11,5	
	Fils de ligature		2,5	0,0	1	25	
	Engin thermique		63447,5	0,0	1327	1457141	
	maintenance convoyeurs		4780,8	0,1	2277	113652	

B.2.2.2 Fonctionnement base du calculateur

Pour chaque projet Néos, une liste d'équipements est créée. Cette liste a toujours à peu près le même format et contient tous les équipements du processus de tri qui seront utilisés dans ce centre. C'est à partir de ce document que fonctionne le calculateur.

L'idée est que la personne qui a besoin ou souhaite réaliser une étude d'impact environnemental d'un projet particulier copie les colonnes de la liste d'équipements indiquées afin de compléter les données nécessaires à l'étude dans la calculatrice de façon un peu automatique.

Tableau 2 Liste d'équipements

Modèle/type d'équipement	Longueur 1	Longueur 2	Longueur 3	Automatique Longueur tota	Poids équipement	Fournisseur
Trémie doseuse	13500			13500		FHF
Tambour doseur				0		FHF
PK	4000	10823,62	800	15623,62		FHF
Brosse				0		FHF
PA	16500	2000		18500		FHF
Brosse				0		FHF
Trommel				0		FHF
PL	6000			6000		NEOS
PL	5000			5000		PARINI
PL	10200	1300		11500		PARINI

Cette première fenêtre avec la liste des équipements est celle qui fournira les données au reste des fonctionnalités de l'utilitaire pour obtenir les résultats.

B.2.3 Structure générale du calculateur

B.2.3.1 Onglet principale centre de tri

Après avoir copié la liste des équipements du centre, la fenêtre suivante est la fenêtre principale, où se trouvent toutes les données du centre à étudier.

Pour l'analyse du centre, nous allons le diviser en trois parties ou étapes différentes. Une partie que nous appellerons "processus", où figureront toutes les machines et équipements du centre, une partie "construction" où sera indiqué le bâtiment en cas de construction et la structure, et une dernière appelée "exploitation", où figureront la consommation électrique du centre et quelques autres éléments que nous verrons plus tard.

Dans ce premier bloc se trouve la partie du processus de tri (*Figure 2 Process*), avec toutes les machines présentes dans ce centre. Les cases sans couleur sont des cases qui se remplissent automatiquement à la lecture de la liste des équipements, tandis que les cases bleues sont des machines ou équipements qu'il faut remplir manuellement si elles sont présentes. Dans cette première partie, nous voyons des équipements classés comme "séparation", "convoyage", "compactage" et "utilité".

[illegible]

 néos Ensembleur de votre environnement	
Compaction	
Equipement	Nombre
Compacteur	2
Presse à balles	1
Presse à paquet	1
Utilité	
Equipement	Nombre
Compresseurs (Air Comprimé)	3
Dépoussiéreur	1
Pesons	0
Podium motorisé	0
Pompe à chaleur	0
Supervision	1
Lot climatisation	1

Figure 2 Process

Il faut ensuite indiquer les données du bâtiment construit pour le centre. Néos n'étant pas l'entreprise qui construit le bâtiment, il n'est parfois pas possible de disposer des données exactes sur les matériaux utilisés dans le bâtiment.

C'est pourquoi il existe deux façons de le remplir :

La première et la plus précise consiste à connaître les matériaux exacts utilisés.

La seconde consiste à utiliser un ratio par mètre carré obtenu après avoir étudié en détail les constructions de centres précédents de Néos. Par mètre carré, environ 1,2 mètre cube de béton et 140 kg d'acier sont utilisés.

Pour une fonctionnalité que j'expliquerai plus tard, il est également demandé d'indiquer les mètres carrés de bâtiment qui ont été réutilisés, et non construits à neuf.

Bâtiment	
Deux manières de le compléter : - Indiquant la quantité précise de matériaux utilisés - Indiquant la surface (derrière il y a un ratio type de matériau par m2 calculé à partir d'autres centres) Pour les deux options, il faut signaler seulement la partie du bâtiment reconstruite par néos, sans inclure les parties réutilisées	
Avec matériaux	Equivalent surface
Béton (m3)	surface m2 construite
Acier d'armement pour béton (tonnes)	surface m2 réutilisée
Acier galvanisé (toit) (tonnes)	
Acier bardage (tonnes)	
Laine de verre (kg)	
Laine de roche (kg)	

Figure 3 Bâtiment

Pour terminer cette page principale, il y a la section "Exploitation du centre". Néos s'occupe principalement de la conception du centre et moins de son exploitation, mais il est important d'inclure l'impact de cette étape pour pouvoir estimer l'impact du centre pendant son cycle de vie.

La durée de référence que nous utilisons est de 10 ans, c'est la période que l'entreprise utilise pour d'autres calculs car c'est environ dix ans que d'autres centres construits par Néos ont duré avant qu'une mise à jour de l'équipement vers des machines d'une nouvelle génération ne soit effectuée ou que le centre ne soit à nouveau mis en concours pour une reconstruction.

Cependant, il est possible de changer les années et d'analyser comment l'impact du centre varie en fonction des années d'exploitation avec lesquelles l'étude est réalisée.

Exploitation	
La quantité de fils de ligature utilisé se calcule automatiquement à partir du taux de fonctionnement et du Bilan matière	
Bouton Résultats pour aller vers les résultats environnementaux du centre	
Bouton Extraire base de calcul pour enregistrer la base de données à ouvrir depuis SimaPro (tutoriel)	
Bouton Synthèse équipements : Tableau synthèse automatique avec les équipements de ce centre	
Taux de fonctionnement	
Nombre d'années d'utilisation estimé :	10
Nombre de jour de l'année où le centre fonctionne :	250
Nombre l'heure par jour où le centre fonctionne :	14
Taux de disponibilité du process :	90%
Nombre d'heure de fonctionnement :	31500
Bilan Puissance	
Consommation annuel (kWh)	2507388
Ce centre est-il motorisé par IE5?	oui à 75%
Engin d'exploitation	
Engin type chariot télescopique	2
Fils de ligature	
longueur de câble utilisée par tonne triée (m):	25
longueur de câble utilisée par jour (m):	2,98E+03
diamètre des câbles (mm) :	3,5
masse linéique (kg/m)	7,50E-02
Masse de câble utilisée par ans (kg)	5,59E+04

Figure 4 Exploitation

Ensuite, il faut indiquer la consommation d'électricité du centre. Cela se fait à l'aide d'un document que tous les projets possèdent et qui s'appelle "bilan puissance". Ce document indique la consommation électrique en kWh par an de toutes les machines, de l'éclairage et des bureaux du centre. Dans cette section, il faut également indiquer le nombre de chariots télescopiques utilisés dans le centre pour charger les déchets dans le trommel au début du processus, ainsi que les fils de ligature des balles de matière déjà séparée, calculés à partir de la matière entrante dans le centre. Cette matière est indiquée dans le tableau suivant. Il s'agit de valeurs connues par Néos et qui sont stockées dans le fichier "Bilan matière".

BILAN MATIERE			
	masse récupérées (kg/h)		masse récupérées (kg/an)
EMR > 320mm		0,0%	0,00E+00
EMR < 320mm	60,0	0,6%	1,89E+05
JRM	120,0	1,2%	3,78E+05
Papier Graphique		0,0%	0,00E+00
Gros de Magasin	20,0	0,2%	6,30E+04
PET ClFlac.	3300,0	33,0%	1,04E+07
PET ClP&B monocouche	500,0	5,0%	1,58E+06
PET Coul B&F	500,0	5,0%	1,58E+06
PET Coul P&B	340,0	3,4%	1,07E+06
PET opaque	260,0	2,6%	8,19E+05
PEHD Flac.	1500,0	15,0%	4,73E+06
PEHD P&B	600,0	6,0%	1,89E+06
PP Flac.	550,0	5,5%	1,73E+06
PP P&B	800,0	8,0%	2,52E+06
PS P&B	300,0	3,0%	9,45E+05
Multicouche P&B	300,0	3,0%	9,45E+05
ELA	50,0	0,5%	1,58E+05
Acier	95,0	1,0%	2,99E+05
Aluminium	20,0	0,2%	6,30E+04
Film PE	50,0	0,5%	1,58E+05
Films non valo.	30,0	0,3%	9,45E+04
Refus	335,0	3,4%	1,06E+06
Fines	200,0	2,0%	6,30E+05
Acier < 60mm	40,0	0,4%	1,26E+05
Aluminium < 60mm	30,0	0,3%	9,45E+04
Verre		0,0%	0,00E+00
Platinage		0,0%	0,00E+00
DEEE		0,0%	0,00E+00
Cuivre		0,0%	0,00E+00
Zinc		0,0%	0,00E+00
Plomb		0,0%	0,00E+00
PVC		0,0%	0,00E+00
Bois		0,0%	0,00E+00
TOTAL	10000,0	100%	3,15E+07

RÉSULTATS

Extraire base de calcul

Figure 5 Bilan matière

À ce stade, il y a la possibilité d'obtenir les résultats de deux manières différentes : via ce calculateur ou via Simapro. Pour utiliser Simapro, il faut extraire la base de calcul générée dont le logiciel peut lire (Figure 5 Bilan matière). Cependant, c'est la méthode utilisant cette deuxième version du calculateur carbone que je vais expliquer, car c'est sur elle que mon projet chez Néos s'est basé.

B.2.4 Choix des impacts environnementaux

Pour comprendre le choix des indicateurs, il faut avoir en tête le public visé. Les résultats sortants de ce calculateur sont à destination de futurs gestionnaires de centre de tri de déchets, dans le but de comprendre les impacts des centres de tri et d'aider à Néos à remporter un appel d'offres. Il faut donc des indicateurs communicatifs et cohérents avec le monde du recyclage.

Tableau 3 Catégories d'impact (ADEME, 2019)

Catégorie d'impact	Unité
Changement climatique	Kg CO2 eq.
Epuisement des ressources minérales	Kg Sb eq.
Epuisement des ressources en eau	m3 water eq of deprived water
Épuisement des ressources fossiles	MJ

Le principal indicateur environnemental est la contribution au réchauffement climatique, ou les émissions CO2eq. Le réchauffement climatique est aujourd'hui tant une priorité écologique que politique, c'est pourquoi Néos tient à observer sur les CO2eq avant tout.

Le deuxième indicateur que l'on va observer est la raréfaction des ressources minérales et métalliques. En effet, un des rôles premiers de la filière du recyclage est de sauvegarder des matériaux primaires.

Enfin les deux derniers indicateurs mis en avant seront l'utilisation de l'eau et de l'énergie fossile car ce sont également des indicateurs communicatifs et très proches de la filière du recyclage et de notre quotidien.

B.2.5 Onglets résultats

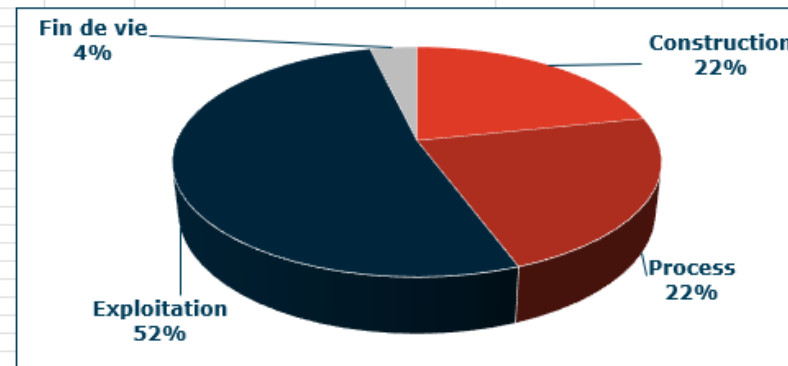
Une fois l'équipement du centre de tri spécifié, une estimation de l'impact environnemental est calculée. Les résultats sont présentés sous forme graphique et sous forme de tableaux. Pour les appels d'offres, des présentations visuelles et simples sont souvent requises, c'est pourquoi la première fenêtre de résultats offre une synthèse graphique facile à comprendre et à exporter pour faciliter la tâche des chefs de projet. La deuxième fenêtre dédiée aux résultats présente les données numériques détaillées, permettant de comparer l'impact de chaque équipement ou partie du centre. Cela permet d'identifier les points clés sur lesquels concentrer les efforts d'amélioration.

La première fenêtre de résultats présente également des indicateurs qui permettent de comparer l'impact environnemental de ce centre avec ceux d'autres centres Néos.

Impact carbone

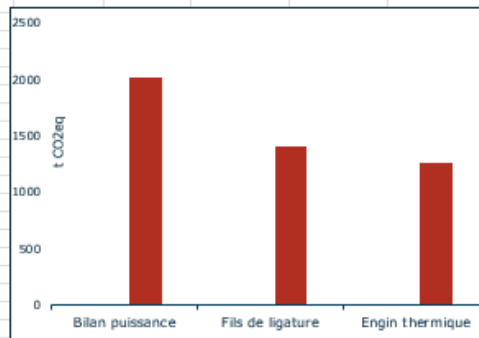
Emissions centre de tri en tonnes CO₂eq.

9121
(t CO₂eq.)



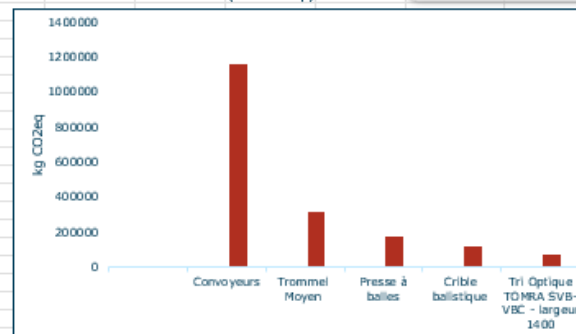
Revenir onglet
Centre de tri

Exploitation
4739
(t CO₂eq.)

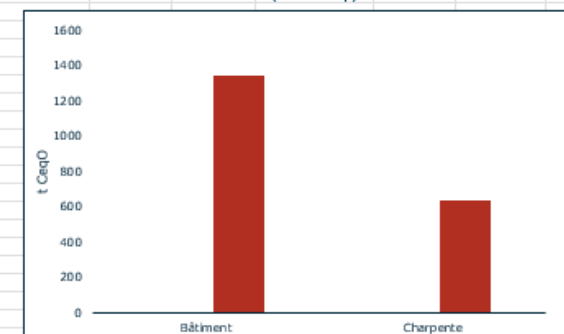


Process
2062
(t CO₂eq.)

Développer
résultats process



Construction
1981
(t CO₂eq.)



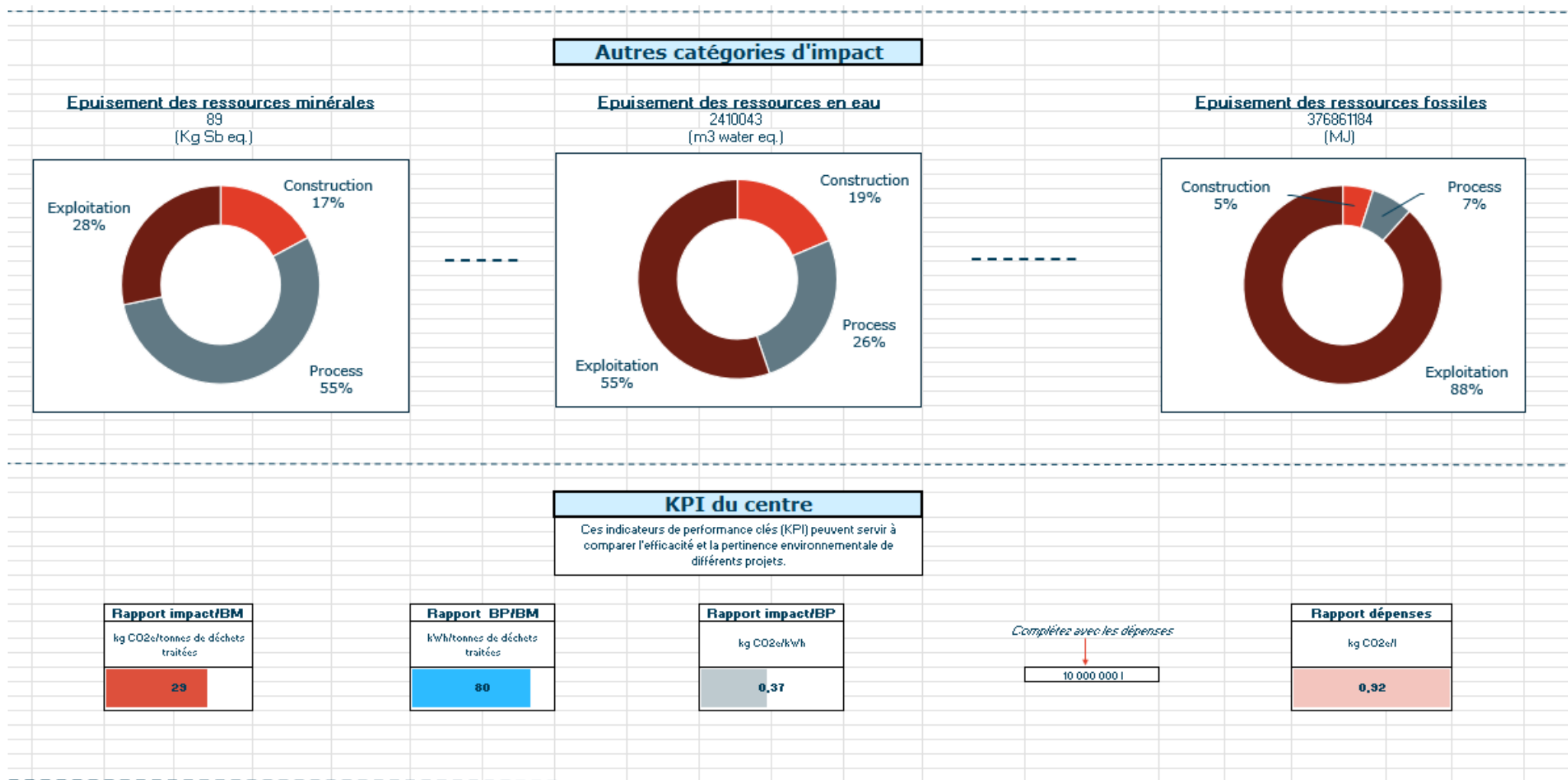


Figure 6 Résultats 1

Résultats				
	Changement climatique (kg CO2 eq.)	Epuisement des ressources minérales (Kg Sb eq.)	Epuisement des ressources en eau (m3 water eq.)	Epuisement des ressources fossiles (MJ)
Construction	1981000	15	449250	18675000
Process	2061817	49	629766	25520241
Exploitation	4739410	25	1331027	332665944
Fin de vie	338565	*	*	*
Total	9120792	89	2410043	376861184

Process				
	Changement climatique (kg CO2 eq.)	Epuisement des ressources minérales (Kg Sb eq.)	Epuisement des ressources en eau (m3 water eq.)	Epuisement des ressources fossiles (MJ)
Trommel Petit	0	0,0	0	0
Trommel Moyen	314831	1,5	79022	3530765
Trommel Grand	0	0,0	0	0
Aéraulique Petit	0	0,0	0	0
Aéraulique Moyen	0	0,0	0	0
Aéraulique Grand	0	0,0	0	0
Crible balistique	0	0,0	0	0
Crible balistique	115638	0,8	28709	1280269
Crible à disque Petit	0	0,0	0	0
Crible à disque Moyen	30727	0,3	9760	341581
Crible à disque Grand	0	0,0	0	0
Tri Optique Pellenc	0	0,0	0	0
Tri Optique TOMRA SVB-VBC - largeur 2800	0	0,0	0	0
Tri Optique TOMRA SVB-VBC - largeur 1400	69835	6,7	24076	818131
Tri Optique TOMRA DVT-VBC - largeur 2800	0	0,0	0	0
Robot	0	0,0	0	0
OVAP	23115	2,1	8396	297806
Séparateur non ferreux	42027	3,9	15266	541466
Poulie magnétique	1051	0,1	382	13537
Silos	35	0,0	13	451
Désimbriqueur Double	0	0,0	0	0
PL Néos Petit	145195	1,3	49771	1852515
PL Néos Moyen	164385	1,1	57763	2121815
PL Néos Grand	79319	0,6	28123	1038363
PL Néos Très grand	53529	0,4	18970	705725
PL Horstmann Petit	107919	0,9	34531	1337327
PL Horstmann Moyen	89140	0,6	29355	1129882
PL Horstmann Grand	76519	0,5	25398	985044
PL Horstmann Très grand	46007	0,3	15383	598281
U Petit	9154	0,1	2270	113731
U Moyen	42703	0,4	10537	542723
U Grand	95893	0,7	23372	1235160
PA Petit	0	0,0	0	0
PA Moyen	0	0,0	0	0
PA Grand	6833	0,1	2025	75575
PK Petit	0	0,0	0	0
PK Grand	238984	1,6	56561	3029642
Goulotte	27331	0,3	8100	302301
Compacteur	21014	1,9	7633	270733
Presse à balles	178967	16,6	65007	2305741
Presse à paquet	15760	1,5	5725	203050
Compresseurs (Air Comprimé)	31521	2,9	11449	406099
Dépoussiéreur	3502	0,3	1272	45122
Pesons	0	0,0	0	0
Podium motorisé	0	0,0	0	0
Pompe à chaleur	0	0,0	0	0
Supervision	2672	0,7	741	32547
Lot climatisation	1751	0,2	636	22561
Cabine	26460	0,3	9520	342300

Exploitation				
	Changement climatique (kg CO2 eq.)	Epuisement des ressources minérales (Kg Sb eq.)	Epuisement des ressources en eau (m3 water eq.)	Epuisement des ressources fossiles (MJ)
Bilan puissance	2010925	20	687024	288349661
Fils de ligature	1411727	4	594693	14036937
Engin thermique	1268950	1	26537	29142826
maintenance convoyeurs	47808	1	22772	1136519
Construction				
	Changement climatique (kg CO2 eq.)	Epuisement des ressources minérales (Kg Sb eq.)	Epuisement des ressources en eau (m3 water eq.)	Epuisement des ressources fossiles (MJ)
Bâtiment	1346000	4,54	300000	11900000
Charpente	635000	10,725	149250	6775000
Béton	0	0	0	0
Acier d'armement pour beton	0	0	0	0
Acier galvanisé (toit)	0	0	0	0
Acier bardage	0	0	0	0
Laine de verre	0	0	0	0
Laine de roche	0	0	0	0

Figure 7 Résultats 2

Cet exemple correspond à un centre de tri type conçu par Néos.

Pour une durée d'exploitation de 10 ans, l'impact carbone estimé se situe généralement entre 7 000 et 10 000 tonnes équivalent CO2. Environ 50 % vient de la partie **exploitation**. Cet impact est dû à la consommation énergétique du centre par les machines de tri, éclairage, chariots télescopiques, fils de ligature, maintenance pendant la période d'exploitation marqué, dans ce cas 10 ans.

Le processus de tri et la construction du bâtiment représentent généralement un impact environnemental similaire, soit environ 20 % chaque un.

L'impact du **process** correspond à l'impact lié à la production et au transport de tous les équipements utilisés pour la séparation des déchets. Toutes ces machines ont été modélisées dans SimaPro en utilisant les fiches techniques afin de connaître leurs compositions et leurs matériaux.

Dans la partie **construction**, nous incluons les matériaux nécessaires à la construction des parties neuves du bâtiment, une estimation de l'impact des grues et des quantités d'acier utilisées pour la charpente.

Ces pourcentages varient considérablement en fonction de divers facteurs : la capacité de traitement du centre, le type de déchets traités, la réutilisation ou non d'un bâtiment existant... Cependant, ces résultats peuvent donner une idée de l'impact estimé de la construction et de l'exploitation d'un centre type.

B.2.6 Fonctionnalités supplémentaires de l'outil

L'objectif principal était de disposer d'un outil permettant d'évaluer rapidement l'impact environnemental potentiel des centres de tri conçus par Néos. Cependant, pour répondre aux attentes de l'entreprise, d'autres objectifs ont été ajoutés :

- Présenter les résultats sous forme de graphiques pour les présentations commerciales,
- Quantifier ou simuler l'impact environnemental de différentes décisions de projet et
- Créer un document standard pour comparer les différents centres.

Fort de ces suggestions, cette deuxième version de l'outil calculateur carbone inclut les fonctionnalités supplémentaires suivantes.

B.2.6.1 Economies carbone

Il est logique que Néos souhaite valoriser les décisions prises dans les projets qui réduisent l'impact environnemental. C'est pourquoi l'outil calcule automatiquement les économies réalisées et leur origine à partir des données remplis dans l'onglet « Centre de tri ».

Ces économies potentielles proviennent principalement de trois sources : l'utilisation de convoyeurs fabriqués par Néos, le réemploi de parties de bâtiments existants et l'utilisation de systèmes de motorisation plus performants énergétiquement.

De plus, j'ai ajouté un tableau comparatif pour mieux visualiser les ordres de grandeur (ADEME, s.d.).

Economies carbon							
Emissions centre de tri en tonnes CO2eq. sans aucune action menée							
9350							
Emissions centre de tri en tonnes CO2eq.							
9152							
Une réduction de -2%				avec les trois actions expliquées ci-dessous			
				Quelques comparaisons			
				*Source: https://impactco2.fr/			
				Kilomètres parcourus en voiture thermique	Nombre d'aller-retour en avion Paris-NY (1 passager)	Nombre d'ordinateurs portables produits	Ans de chauffer un logement de 60m2 au gaz
tonnes CO2eq économisées							
Convoyeurs néos	38	≈		173401	19	208	16
Réutilisation bâtiment	138			625455	69	752	59
Motorisation IE5	22			101562	11	122	10
Total	198			900418	99	1082	85

Il y a quelques années, Néos a décidé de fabriquer ses propres **convoyeurs**, étant donné qu'il s'agit de l'équipement le plus utilisé dans ses centres. Cette décision leur a permis de gagner en autonomie par rapport à leur fournisseur polonais.

La différence d'impact estimée provient de deux sources : le transport et la production. Les activités de Néos étant limitées au territoire français, la distance parcourue par les convoyeurs une fois assemblés est logiquement plus courte lorsqu'ils sont fabriqués en France plutôt qu'en Pologne. En moyenne, les convoyeurs Néos parcourent environ 330 km, contre 1600 km pour les convoyeurs Horstmann. L'autre facteur d'économie est lié à la production d'électricité utilisée pour fabriquer les convoyeurs, car la production d'électricité en France est moins dépendante des énergies fossiles et donc moins carbonée qu'en Pologne.

La réutilisation d'une partie du **bâtiment** est la mesure qui permet de réaliser les économies les plus importantes, mais elle dépend fortement de chaque projet et de l'existence ou non d'un bâtiment existant.

Enfin, si historiquement les **moteurs** IE3 étaient utilisés, Néos a commencé à privilégier les moteurs IE5, plus performants énergétiquement (environ 20 % de plus selon les mesures réelles de Néos).

Pour calculer automatiquement ces économies, il suffit d'indiquer dans la fenêtre principale du calculateur le nombre de convoyeurs produits par Néos, la surface du bâtiment réutilisée et le pourcentage d'équipements motorisés en IE5. Les économies réalisées sont ensuite comparées à un nombre équivalent de vols Paris-New York, environ 2 tonnes CO₂eq pour l'aller-retour (Myclimate, s.d.)

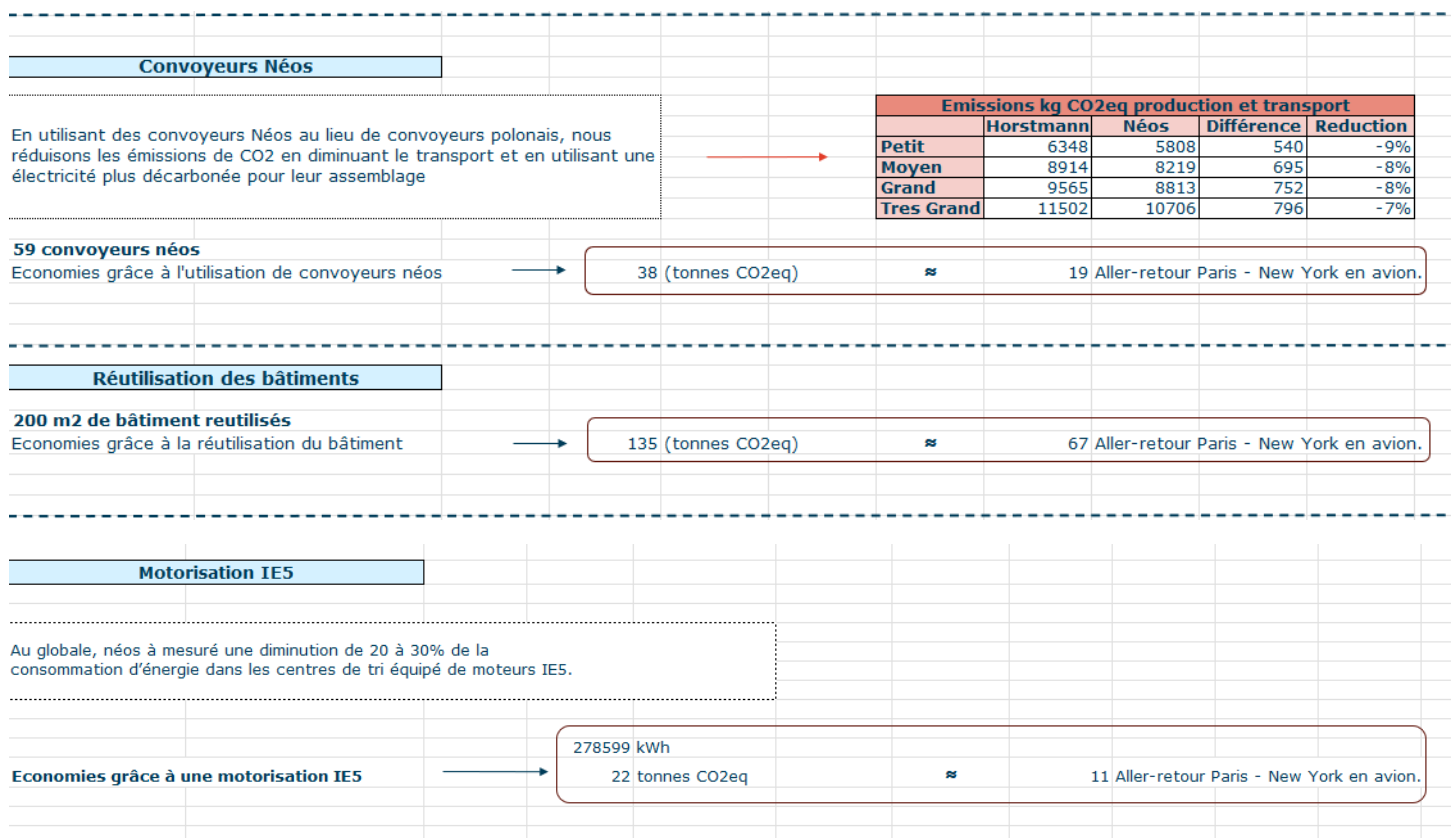


Figure 8 Onglet Economies carbone

B.2.6.2 Incertitude de l'étude

Comme nous le verrons plus tard, un document base a été rédigé afin d'anticiper d'éventuelles demandes d'analyse de cycle de vie sur nos projets. Pour l'inclure dans l'ACV et pour assurer la cohérence de l'étude, le calculateur évalue automatiquement la qualité et l'incertitude des données en fonction des équipements utilisés dans le centre étudié.

Le niveau de détail des données pour chaque machine et équipement du centre de tri peut être divisé en trois niveaux :

1. Analyse du cycle de vie (ACV) complète :

- Équipements pour lesquels nous avons réalisé une ACV complète, connaissant en détail les composants, les matériaux et les processus de fabrication.
- Incertitude de l'impact environnemental : 5%.
-

2. Rapport d'analyse :

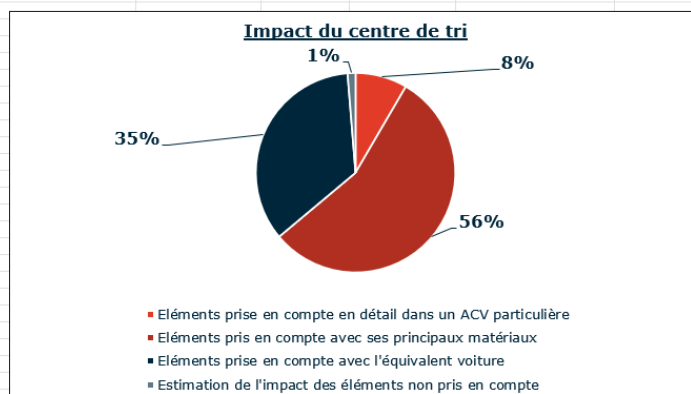
- Équipements pour lesquels nous avons réalisé un rapport interne analysant les dimensions et les matériaux principaux.
- Incertitude de l'impact environnemental : 10%.

3. Équivalent kilogramme voiture (kg-voiture) :

- Machines ou composants pris en compte uniquement par leur poids, en utilisant l'impact du cycle de vie d'une voiture comme référence (produit standardisé, *détailles en annexes).
- Incertitude de l'impact environnemental : 40%.
- Cette méthode est utilisée uniquement pour les composants légers, ne représentant pas une part importante du centre de tri, ou pour les composants complexes dont les données des fournisseurs sont insuffisantes.

Compte tenu de ces différences et des incertitudes liées aux données, l'outil calcule une incertitude globale estimée de l'étude, qui s'élève généralement autour de 20%.

Incertitude de cette étude: 20%



Equipements pris en compte en détail dans un ACV particulière

Nom équipement	Masse moyenne unitaire	Nombre moyen d'occurrence dans un centre	Masse totale	Impact total	Part moyenne de masse	Nombre d'occurrence dans ce centre	Masse totale	Part moyenne de masse	Impact totale	Part moyenne d'impact
PL	2016	100	201600	1000000	57,5%	98	197568	35%	762013	8%

Equipements pris en compte avec ses principaux matériaux

Nom équipement	Masse moyenne unitaire	Nombre moyen d'occurrence dans un centre	Masse totale	Impact total	Part moyenne de masse	Nombre d'occurrence dans ce centre	Masse totale	Part moyenne de masse	Impact totale	Part moyenne d'impact
Aéroulque	4300	1	4300	24000	1,2%	0	0	0%	0	0%
Crible à disques	3806	1	3806	30700	1,1%	1	3806	1%	30727	0%
Crible balistique	9750	2	19500	110000	5,6%	3	29250	5%	173457	2%
Goulottes	252	75	18900	51225	5,4%	40	10080	2%	27331	0%
PA	2500	7	17500	86800	5,0%	10	25000	4%	6833	0%
PK	6676	5	33380	150000	9,5%	6	40056	7%	238984	3%
U	3260	8	26080	113600	7,4%	8	26080	5%	147750	2%
Trémie doseuse	6676	1	3260	40000	0,9%	1	6676	1%	0	0%
Tri optique TOMRA	2500	10	25000	100000	7,1%	0	0	0%	0	0%
Trommel	32000	1	32000	157000	9,1%	2	64000	11%	314831	3%
Podium motorisé/ Rehausse	120	15	1800	9000	0,5%	0	0	0%	0	0%
Désimbrqueur								0%	0	0%
Cabine	1900	8	15200		4,3%	7	13300	2%	26460	0%
Charpente	1					250000	250000	68%	635000	7%
Béton	1					0	0	0%	0	0%
Acier d'armement pour béton	1					0	0	0%	0	0%
Acier galvanisé (toit)	1					0	0	0%	0	0%
Acier bardage	1					0	0	0%	0	0%
Laine de verre	1					0	0	0%	0	0%
Laine de roche	1					0	0	0%	0	0%
Bilan puissance									2010925	22%
Fils de ligature									1411727	16%

Equipements pris en compte en équivalent voiture

Nom équipement	Masse moyenne unitaire	Nombre moyen d'occurrence dans un centre	Masse totale	Impact total	Part moyenne de masse	Nombre d'occurrence dans ce centre	Masse totale	Part moyenne de masse	Impact totale	Part moyenne d'impact
Compacteur	3000	1	3000	15000	0,9%	2	6000	1%	21014	0%
Compresseur	3000	3	9000	45000	2,6%	3	9000	2%	31521	0%
CTA	500	1	500	2500	0,1%	1	500	0%	1751	0%
Dépoussiéreur	1000	1	1000	5000	0,3%	1	1000	0%	3502	0%
OVAP	2200	3	6600	33000	1,9%	3	6600	1%	23115	0%
Pesons	5	80	400	3340	0,1%	0	0	0%	0	0%

Poulie magnétique	150	2	300	1500	0,1%	2	300	0%	1051	0%
Presse à balles	51100	1	51100	255500	14,6%	1	51100	9%	178967	2%
Presse à paquets	4500	1	4500	22500	1,3%	1	4500	1%	15760	0%
Robot	3520	1	3520	29392	1,0%	0	0	0%	0	0%
Siege	50	15	750	2025	0,2%	0	0	0%	0	0%
SNF	200	2	400	2000	0,1%	6	1200	0%	42027	0%
Tri optique PELLEC	4000	10	40000	334000	11,4%	10	40000	7%	140091	2%
Equivalent surface	1340					2000	2680000	730%	1376000	15%
Engin thermique							1268950	346%	1268950	14%
Maintenance de convoyeurs							47808	13%	47808	1%

Equipements non pris en compte										
Nom équipement	Masse moyenne unitaire	Nombre moyen d'occurrence dans un centre	Masse totale	Impact total	Part moyenne de masse	Nombre d'occurrence dans ce centre	Masse totale	Part moyenne de masse	Impact total	Part moyenne d'impact
Lève bac	500	1	500	2500	0,1%	1	500	0%	2500	0%
Echantillonneur (goulotte avec tole → by - passe)	200	30	6000	16200	1,7%	30	6000	1%	16200	0%
griffe	1800	1	1800	9000	0,5%	1	1800	0%	9000	0%
Hotte (ou bouche) de dépoussiérage	250	10	2500	6750	0,7%	10	2500	0%	6750	0%
Porte (alvéoles de stockage) avec palan motorisé	200	15	3000	8100	0,9%	15	3000	1%	8100	0%
Répartiteur (disc spreader) silo (tolerie/grillage) → après cabine	300	10	3000	8100	0,9%	10	3000	1%	8100	0%
Tambour doseur	300	5	1500	4050	0,4%	5	1500	0%	4050	0%
séparateur objet long	100	2	200	1000	0,1%	2	200	0%	1000	0%
système anti enroulement (négligeable)					0,0%		0	0%	0	0%
trémie de presse à balle (goulotte)	250	1	250	675	0,1%	1	250	0%	675	0%
trappe (dans goulotte de cabine) commandée	50	20	1000	5000	0,3%	20	1000	0%	5000	0%
Eclairage process normal et secpure	1000	1	1000	8350	0,3%	1	1000	0%	8350	0%
Coffrets de prise de maintenance	20	10	200	1670	0,1%	10	200	0%	1670	0%
Ventilateur pour local (légère sur-pression local compresseur)	50	1	50	417,5	0,0%	1	50	0%	417,5	0%
Chauffage cabine	100	1	100	835	0,0%	1	100	0%	835	0%
Ouvre-sacs	3000	1	3000	15000	0,9%	1	3000	1%	15000	0%
Câble électrique	4457,47564	1	4457,47564	18600	1,3%	1	4457,47564	1%	18600	0%

Figure 9 Onglet Incertitude de l'étude

B.2.6.3 Bénéfices environnementaux du centre

Pour finir, nous aborderons les bénéfices environnementaux engendrés par les centres de tri. Ce résultat est issu d'une étude menée l'année dernière

Cette étude se base sur un document de l'ADEME paru en 2019 qui compare l'impact carbone des matériaux recyclés avec leurs équivalents non recyclés. Cette étude de l'ADEME **compare l'impact de l'utilisation de matériaux recyclés avec leur équivalent primaire.**

Prenons par exemple un châssis en acier : s'il est produit en acier recyclé, il nécessitera un peu plus d'acier que le même châssis en acier primaire pour compenser ses défauts. Cependant, sa production évite beaucoup d'étapes polluantes, notamment toute la séquence se déroulant dans les hauts-fourneaux

Il est tentant de **relier l'étude avec nos centres de tri**, nous partons du postulat suivant : « Les déchets triés permettent de recycler de la matière, et la matière recyclée permet d'éviter des émissions de GES en évitant l'extraction de matière première ».

Cependant nous sommes confrontés à **deux problèmes d'échelle**. Le premier est que le centre de tri ne fait **que trier les déchets sans les recycler** ; il ne contribue donc

pas entièrement à la masse de CO2 économisé. De plus, les centres de tri de déchets ne se justifient que par l'existence des centres de recyclage et inversement. Il me semble donc **difficile de dissocier les deux**.

Il faut donc comparer deux systèmes dans leur globalité. D'un côté le système de gestion des matières premières non recyclées qui comprend leur extraction, leur acheminement et leur transformation.

Grâce à **l'allocation des bénéfices** nous pouvons comparer plus raisonnablement les impacts du centre avec les bénéfices environnementaux qui lui sont alloués. Cependant nous ne pouvons comparer **que des ordres de grandeur**. En effet sachant que le modèle d'allocation est arbitraire quel qu'il soit, la comparaison ne peut pas être équilibrée, nous ne pouvons que tendre vers un meilleur équilibre en choisissant le meilleur modèle possible.

Le modèle d'allocation se calcule grâce au **nombre d'étapes** sur la chaîne de recyclage des différents déchets, et grâce à la **valeur ajoutée** par les étapes. Par conséquent, toutes les étapes n'ont pas la même fraction allouée, et la valeur d'allocation n'est pas la même pour tous les déchets.

En résumé :

- Grâce à l'étude de l'ADEME, nous connaissons les émissions GES évitées grâce à l'utilisation de matière recyclée,
- Grâce aux bilans matière des centres de tri réceptionnés, nous connaissons les matériaux triés par les centres en question,
- Nous en concluons les impacts évités grâce au recyclage des déchets triés par le centre,
- D'un autre côté, nous établissons le modèle d'allocation des bénéfices environnementaux pour chacun des matériaux triés,
- Grâce à cela, nous pouvons réattribuer un bénéfice environnemental pour chaque centre réceptionné.

Impact évité chaque année par ce centre grâce au tri des déchets								
Données obtenues à partir du flux entrant dans ce centre, indiqué dans la fenêtre "Centre de tri"		Impacts environnementaux évités tous les ans par l'ensemble de la chaîne de recyclage (collecte, tri, recyclage ...) : <u>si on recycle est réutilisé tout les déchets triés par le centre de tri</u> Pour plus d'informations, fenêtre "Source de données"				Contribution des centres de tri au sein de la chaîne de recyclage Pour plus d'informations, fenêtre "Parts d'allocation"		
		Changement climatique (CC)	Épuisement de la ressource en eau (WU)	Épuisement des ressources minérales (Res_m)	Utilisation des ressources fossiles (Res_f)	Part d'allocation		
Masse recyclée par le centre de tri tous les ans (kg)		kg CO ₂ -eq.	Volume m ³ -world eq.	kg Sb-eq	Energy, MJ	allocation homogène	allocation proportionnelle à la VA	allocation hybride
Ferraille	4,25E+05	-7,05E+05	-5,23E+04	-1,19E+01	-5,77E+06	1/4	1/94	3/23
Cuivre	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1/4	63/82	28/55
Aluminium	1,65E+05	-9,74E+05	-2,88E+04	-1,98E-01	-1,39E+07	1/4	29/99	19/70
Plomb	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1/4	49/99	19/51
Zinc	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1/4	25/52	19/52
Papier-carton	7,48E+05	-4,20E+05	-2,57E+05	9,73E-02	7,08E+05	1/3	2/7	13/42
Verre d'emballage	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1/2	7/20	17/40
Verre plat	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1/2	7/20	17/40
PET paillettes	5,17E+06	-8,18E+06	1,07E+06	-1,60E+01	-2,19E+08	1/3	1/7	5/21
PET granules	1,12E+07	-1,65E+07	5,01E+06	-3,81E+01	-6,09E+08	1/3	2/15	7/30
HDPE paillettes	1,89E+06	-2,49E+06	4,31E+06	-5,29E+00	-6,95E+07	1/3	1/8	8/35
HDPE granules	4,73E+06	-7,29E+06	9,36E+05	-1,89E+01	-2,69E+08	1/3	1/8	8/35
LDPE granules	3,15E+04	-6,87E+04	3,04E+04	-1,29E-01	-1,98E+06	1/3	4/35	15/67
LDPE agri	1,58E+05	-2,92E+05	-4,53E+05	-6,30E-01	-6,36E+06	1/3	4/35	15/67
PP granules	4,25E+06	-1,70E+04	-3,40E+04	3,61E-02	-6,04E+05	1/3	1/8	8/35
PS granules	9,45E+05	-2,41E+05	-1,89E+03	2,46E-01	3,35E+05	1/3	1/8	8/35
PVC granules	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1/3	4/47	9/43
Inertes	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1/3	10/53	6/23
Bois	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1/4	4/31	11/58
Impacts évités grâce à l'ensemble de la chaîne de recyclage		▶ -3,72E+07	▶ 1,05E+07	▶ -9,08E+01	▶ -1,19E+09			
Bénéfice revenant au centre de tri par an après allocation	allocation homogène	-1,22E+07	3,52E+06	-2,93E+01	-3,96E+08			
	allocation proportionnelle à la VA	-5,06E+06	1,33E+06	-1,06E+01	-1,59E+08			
	allocation hybride	-8,65E+06	2,42E+06	-1,99E+01	-2,78E+08			
Attribution au centre de tri de la différence d'impact par an de l'utilisation de matériaux recyclés par rapport à leur équivalent primaire.								
Ce sont des résultats qui sont très encourageants quand on les compare avec l'impact brut du centre de tri sur 10 ans. Cependant, nous ne pouvons que comparer que des ordres de grandeur.						Explication!		
						-8,65E+06		

Figure 10 Bénéfices environnementaux

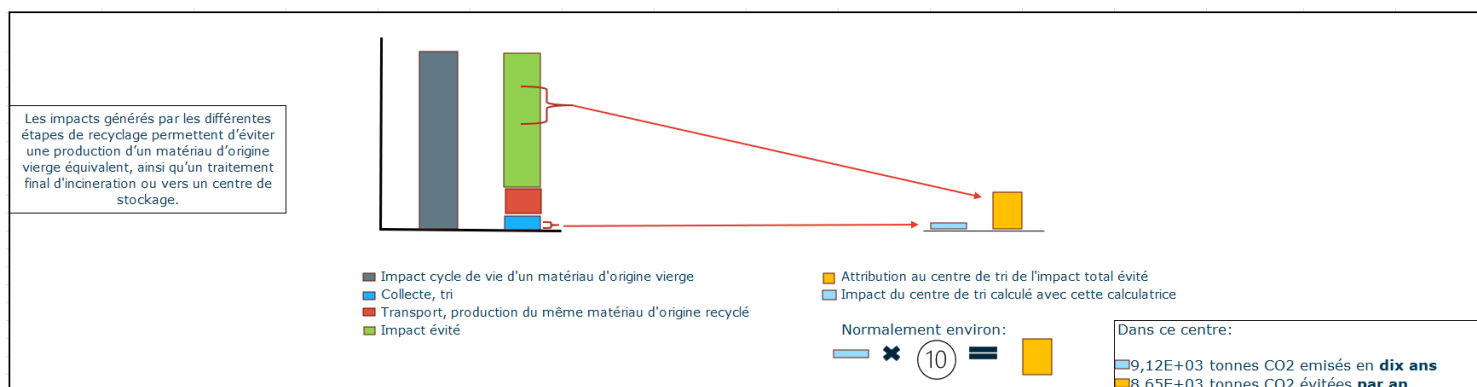


Figure 11 Explication Bénéfices environnementaux

Ce sont des résultats qui sont très encourageants quand on les compare avec l'impact brut du centre de tri sur 10 ans. Il faut malgré tout garder un regard critique vis-à-vis de ces résultats, au-delà de leur faible précision, les centres de tri de déchets n'ont de sens que dans une situation où tous ces déchets sont produits. Comme dit précédemment, un centre de tri de déchets n'aspire pas de GES. Dans un monde sans emballages, un centre de tri est un non-sens écologique.

Néanmoins, nous considérons dans ce calcul, que l'intégralité des déchets triés est recyclée, et que la matière recyclée est utilisée. Ce n'est pas une certitude. Par ailleurs, rien n'assure que la production de matière recyclée diminue d'autant l'utilisation de matière première.

Il faut prendre en compte l'effet rebond : *Effet paradoxal du succès d'une technologie ou d'une pratique censée réduire consommation, pollution etc. mais dont le développement annule le bénéfice obtenu.*

La question sous-jacente est : « Est-ce que le recyclage permet de diminuer l'extraction de matière première, ou est-ce qu'il permet la production de davantage de bien ? ». Effectivement, le recyclage, à la base, est utile pour se débarrasser de nos déchets en trop grand nombre, pas pour répondre à un manque de ressources.

B.2.6.4 Note environnementale automatique

En réponse au besoin de l'entreprise d'accélérer l'étude et de disposer d'un document 'standardisé', cette dernière fonctionnalité génère automatiquement une note au format Word en cliquant sur le bouton "Créer note". Ce document présente une synthèse des équipements du centre ainsi qu'une estimation de son impact environnemental."

Note environnementale Centre de tri de _____

Estimation de l'impact environnemental du cycle de vie du centre de tri.

Construction du centre, exploitation pendant une période de 10 ans et fin de vie du centre.



Equipements et données du centre

Equipement	Unité
Trommel M	2
Crible balis	2
Tri Optique	8
OVAP	3
Séparateur	6
Poulie mad	2

Utiliser le bouton "Créer note" pour générer le document Word avec le contenu à l'intérieur du carré noir. Une fois généré, les modifications apportées depuis Excel seront automatiquement répercutées dans le document Word en direct jusqu'à ce qu'il soit enregistré et fermé.

Créer note

Utiliser le bouton "Synthèse équipements" dans le cas où il n'a pas encore été généré

Synthèse équipements

Figure 12 Onglet Note environnementale

Note environnementale Centre de tri de _____

Estimation de l'impact environnemental du cycle de vie du centre de tri.

Construction du centre, exploitation pendant une période de 10 ans et fin de vie du centre.



Equipements et données du centre

Equipement	Unité
Trommel Moyen	2
Crible balistique	2
Tri Optique TOMRA SVB-VBC - largeur 1400	8
OVAP	3
Séparateur non ferreux	6
Poulie magnétique	2
Silos	10
PL Néos Petit	26
PL Néos Moyen	20
PL Néos Grand	9
PL Néos Très grand	5
PL Horstmann Petit	17

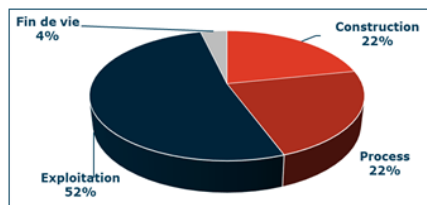
PL Horstmann Moyen	10
PL Horstmann Grand	8
PL Horstmann Très grand	4
U Petit	1
U Moyen	3
U Grand	4
PA Grand	10
PK Grand	6
Goulotte	40
Compacteur	2
Presse à balles	1
Presse à paquet	1
Compresseurs (Air Comprimé)	3
Dépoussiéreur	1
Supervision	1
Lot climatisation	1

250000 kg de charpente
2000 m2 surface de bâtiment construite
2507388,35759763 kWh/an
10 tonnes/heure

Résultats

Emissions potentielles en tonnes CO2eq

9121



Economies carbone

Emissions centre de tri en tonnes CO2eq. sans aucune action menée :

9316 tCO2eq

Emissions centre de tri en tonnes CO2eq.

9121 tCO2eq

195 tonnes CO2eq économisées

38 Convoyeurs néos
135 Réutilisation bâtiment
22 Motorisation IE5

98 Aller-retour Paris - New York en avion évitées

Bénéfices environnementaux

Émissions de CO2 évitées par an si tous les déchets triés
par le centre sont recyclés et réutilisés:

-8,65E+06 kg CO2eq

Figure 13 Note environnementale

B.3 Analyse du cycle de vie

En complément de la deuxième version du calculateur carbone, j'ai consacré une part importante de mon temps à la rédaction d'un document servant de base à une analyse de cycle de vie d'un centre de tri. Étant donné les exigences environnementales croissantes dans le secteur des projets de centres de tri, il est essentiel pour Néos de disposer d'un document expliquant de manière détaillée la méthodologie utilisée pour obtenir les estimations environnementales présentées. Pour la rédaction et la structuration de ce document, les normes ISO 14040 et ISO 14044 (AFNOR, 2020) (AFNOR, 2006) ont servi de référence. De manière générale, les sections suivantes ont été développées dans cette ACV (Capture de la table complète des matières en annexes). Je joins d'autres documents sur lesquels je me suis appuyé pour la réalisation de ce document et de mes missions. (ADEME I. N., 2022) (ADEME P. D., 2023)

B.3.1 Introduction et objectifs de l'étude

Cette première partie présente le contexte de la démarche RSE de Néos et les objectifs de cette étude. La motivation de l'étude est principalement liée à deux aspects : Identifier les points d'amélioration pour réduire l'impact environnemental de nos centres de tri, communiquer de manière transparente une estimation des impacts environnementaux de nos projets à nos clients si nécessaire.

Le public cible de cette étude est en premier lieu interne, afin de comprendre en profondeur le fonctionnement de l'estimation d'impact. Cependant, la possibilité de partager ce document avec les clients est envisagée à condition d'adapter l'étude à un centre de tri spécifique. Une seconde révision du document serait alors nécessaire.

B.3.2 Définition du champ de l'étude

Pour cette étude, nous exprimons une **unité fonctionnelle** généraliste afin de rester en cohérence avec le niveau de détail de l'étude. Au vu des motivations de construction de ce centre nous pouvons mettre en place l'unité fonctionnel suivante :

"Le centre de tri devra traiter [insérer tonnage] de déchets [type de déchets] par ans pendant 10 ans, le centre atteindra [niveau de précision]"

Les **frontières de l'étude** prennent en compte tous les éléments directement impliqués dans le tri des déchets. On considère l'ensemble des éléments constituant le processus de tri, de même pour le bâtiment, ainsi que l'électricité consommée lors de l'exploitation du centre.

Cependant, toutes les études ont des limites, il est donc nécessaire de déterminer des frontières claires pour savoir ce qui est pris en compte et ce qui ne l'est pas dans l'étude.

L'illustration ci-dessous présente les frontières définissant le champ d'application de notre étude. Tous les éléments situés à l'intérieur de ces frontières ont été pris en compte dans notre analyse, tandis que ceux se trouvant en dehors n'ont pas été inclus.



Figure 14 Frontières du système

Les raisons pour lesquelles certains éléments ne sont pas pris en compte dans l'étude sont les suivantes :

- Impossibilité d'obtenir des informations sur des éléments éloignés de l'activité de Néos
- Variabilité importante des éléments selon les centres, rendant leur estimation difficile
- Éléments dont l'impact global est marginal par rapport au temps nécessaire pour collecter les données précises
- Absence de données partagées par les fournisseurs ou collaborateurs de Néos sur chaque projet.

Par rapport à la **méthode** utilisé dans cette ACV, la base de données ecoinvent est l'outil choisi. Elle offre une vaste collection de données sur les processus industriels, permettant de modéliser de manière exhaustive les impacts environnementaux d'un produit ou d'un service. En adoptant le modèle "cut-off", ecoinvent encourage une approche responsable de la gestion des déchets. Notre étude s'appuie sur les méthodes EF 3.0, reconnues au niveau européen, pour évaluer les impacts environnementaux. Ces méthodes, alignées avec les normes ISO pertinentes (14040, 14044, 14046, 14021), garantissent la rigueur et la fiabilité de nos résultats. Le choix d'un large éventail de catégories d'impact nous permet de couvrir une multitude de questions environnementales liées à la chaîne d'approvisionnement.

B.3.3 Calcul de l'inventaire : données et hypothèses

Voici un schéma blocs à mode de synthèse des données concernées par l'ACV du global du centre de tri.

Il y a des données que nous maîtrisons, au niveau de l'**exploitation du centre**, des données que nous connaissons, au niveau de la **composition des machines**, grâce aux rapports d'analyse faites, et le reste de données pour lequel nous serons contraints d'émettre des hypothèses et utilisés des données génériques de Ecoinvent.

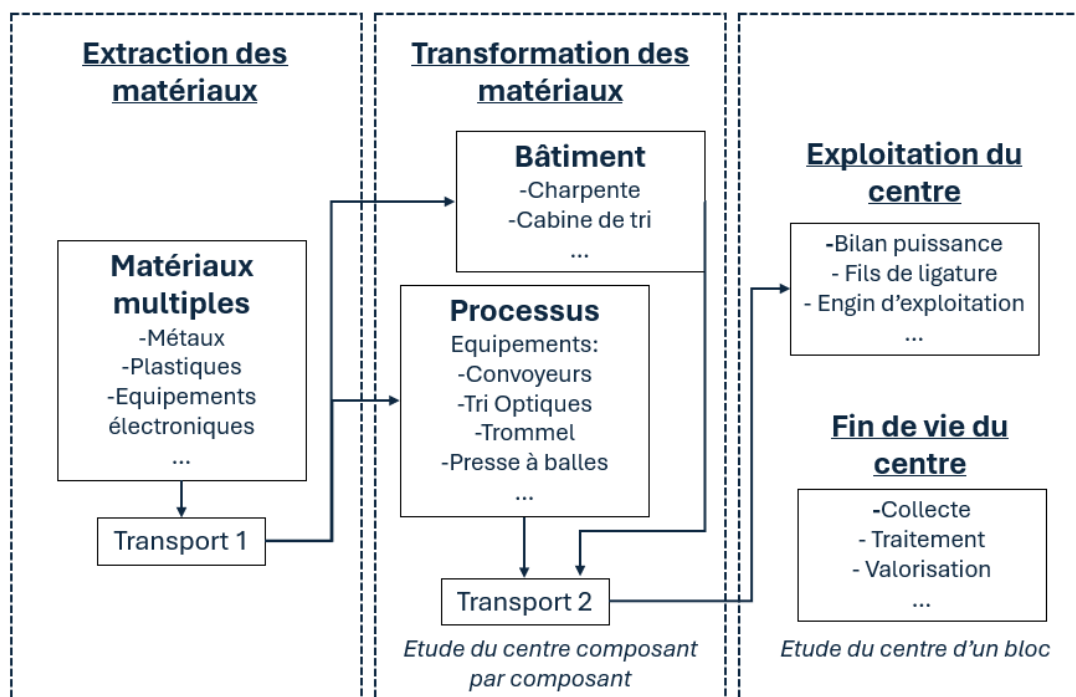


Figure 15 Carte des flux

Ci-après, l'étude présente l'inventaire des machines utilisées dans le processus, en précisant les matériaux et les processus qui ont été modélisés dans SimaPro pour évaluer leur impact. De plus, la qualité des données associées à chaque machine est indiquée (je détaillerai ce point ultérieurement). Le tableau inclut également une colonne pour spécifier la quantité de chaque type de machine, qui varie en fonction du centre de tri analysé.

Veuillez trouver ci-joint un exemple de la structure du tableau.

Tableau 4 Exemple Inventaire processus

Equipement	Matériaux	Transformation et acheminement des matériaux	Quantité des matériaux	Qualité des données	Unité
Trommel	-Acier	- Laminage - Tournage	- Grand : -35110kg acier -1020kg acier allier -70kg caoutchouc -150kg Moteur asynchrone -150kg Réducteur	Rapport d'analyse	-
	-Acier allier	Travail de la tôle	- Moyen : -31250kg acier -900kg acier allier -70kg caoutchouc -140kg Moteur asynchrone -140kg Réducteur		-
	-Caoutchouc	Extrusion métal			-
	-Moteur asynchrone	Injection plastique			-
	-Réducteur	- Porte-conteneurs depuis la Chine - Camion semi-remorque à travers l'Europe	- Petit : -27510kg acier -790kg acier allier -60kg caoutchouc -70kg Moteur asynchrone -70kg Réducteur		-
Aéraulique	-Acier	Laminage de tôle	- Grand : -5000kg acier -350kg Moteur asynchrone -34kg Réducteur	Rapport d'analyse	-
	-Moteur asynchrone	Galvanisation	- Moyen : -3922kg acier -288kg Moteur asynchrone -31kg Réducteur		-
	-Réducteur	Travail du métal moyen			-
		- Porte-conteneurs depuis la Chine - Camion semi-remorque à travers l'Europe	- Petit : -2492kg acier		-
			-220kg Moteur asynchrone -27kg Réducteur		
Crible balistique	-Acier	- Laminage - Tournage	- Grand : -8654kg acier -1458kg acier allier -162kg acier chromé -107kg Moteur asynchrone -91kg Réducteur	Rapport d'analyse	-
	-Acier allier	Travail de la tôle			-
	-Acier chromé	Travail du métal moyen			-
	-Moteur asynchrone	- Porte-conteneurs depuis la Chine - Camion semi-remorque à travers l'Europe	- Petit : -8103kg acier -1440kg acier allier -160kg acier chromé -107kg Moteur asynchrone -91kg Réducteur		-
	-Réducteur				-

Tous les équipements du **processus** sont détaillés de la même manière que dans le tableau de la page précédente.

Concernant le **bâtiment**, dans le cas où une construction neuve a été nécessaire nous avons utilisé un ratio par mètre carré obtenu après avoir étudié en détail les constructions de centres précédents. Par mètre carré, environ 1,2 mètre cube de béton et 140 kg d'acier sont utilisés.

En ce qui concerne l'**exploitation** du centre nous utilisons la donnée *Market for Electricity, medium voltage {FR}* dans la base de données Ecoinvent 3.8 pour comptabiliser les impacts de la production de cette électricité nécessaire pour faire tourner le centre pendant 10 ans. Chiffre qui est toujours indiqué dans le bilan puissance du projet à étudier.

Enfin, pour les fils de ligature utilisés sur 10 ans d'exploitation :

- Longueur de câble utilisée par tonne triée : 25 mètres
- Diamètre des câbles : 3,5 millimètres
- Masse linéique : 75 g/m

En connaissant les masses des déchets récupérées toutes les heures par le centre de tri nous pouvons approximer les fils de ligature utilisés.

Bien que nous prenions une période d'exploitation de 10 ans, le centre durera encore plus longtemps s'il n'y a pas de problème majeur. Pour estimer l'impact environnemental de la **fin de vie**, nous imaginons que la fin de vie interviendrait aujourd'hui.

Il est très difficile d'avoir des données précises sur la fin de vie de chaque partie du processus en raison du manque d'informations de nos fournisseurs sur cet aspect. Pour cette raison, et parce que l'impact de cette étape de la vie du centre de tri n'est pas très important comme nous le verrons plus tard, nous avons sélectionné des données générales sur le traitement des déchets en France.

Le matériau le plus présent dans les centres est l'acier, pour lequel nous avons utilisé les données actuelles de la France et lui avons donné un taux de récupération et de traitement de 55% du global d'acier utilisé dans le centre (ADEME et DELOITTE DEVELOPPEMENT DURABLE, 2023). Pour les autres matériaux, nous avons utilisé les données globales d'impact du traitement municipal des déchets.

De manière générale, c'est ainsi que l'inventaire du cycle de vie et les données associées sont présentés dans l'étude.

B.3.4 Evaluation des impacts

Dans cette section, nous commençons par expliquer les choix des catégories d'impact étudiées (déjà expliquées précédemment) et rappeler l'unité fonctionnelle de l'étude. Par la suite, nous détaillons la répartition des impacts sur l'inventaire. Des tableaux illustrent cette répartition, notamment un tableau présentant l'impact unitaire de chaque machine, et d'autres tableaux synthétisant l'impact total de chaque type de machine en tenant compte de leur quantité dans le centre étudié.

Tableau 5 Attribution de l'impact à l'inventaire

Equipement	Changement climatique (Kg CO2 eq.)	Epuisement des ressources minérales (Kg Sb eq.)	Epuisement des ressources en eau (m3 water eq.)	Epuisement des ressources fossiles (MJ)
Trommel Petit	136713	0,6	34105	1531944
Trommel Moyen	157416	0,7	39511	1765382
Trommel Grand	176657	0,8	44306	1980503
Aéraulique Petit	17225	0,4	4954	196833
Aéraulique Moyen	23055	0,6	6683	264939
Aéraulique Grand	29140	0,8	8536	335154
Crible balistique	53551	0,4	13717	589919
Crible balistique	57819	0,4	14354	640134
Crible à disque Petit	15364	0,1	4880	170797
Crible à disque Moyen	30727	0,3	9760	341581

Ensuite, les résultats de chacun des quatre indicateurs environnementaux étudiés sont présentés et expliqués.

Concernant l'indicateur le plus pertinent pour l'entreprise, à savoir les **émissions de CO₂**, comme nous l'avons montré précédemment dans une étude type sur 10 ans d'exploitation, c'est cette partie du cycle de vie qui générerait théoriquement le plus d'émissions. Les phases de construction et de tri suivent de près.

Le graphique ci-joint illustre la contribution relative des différents équipements aux émissions de CO₂ dans un centre moyen.

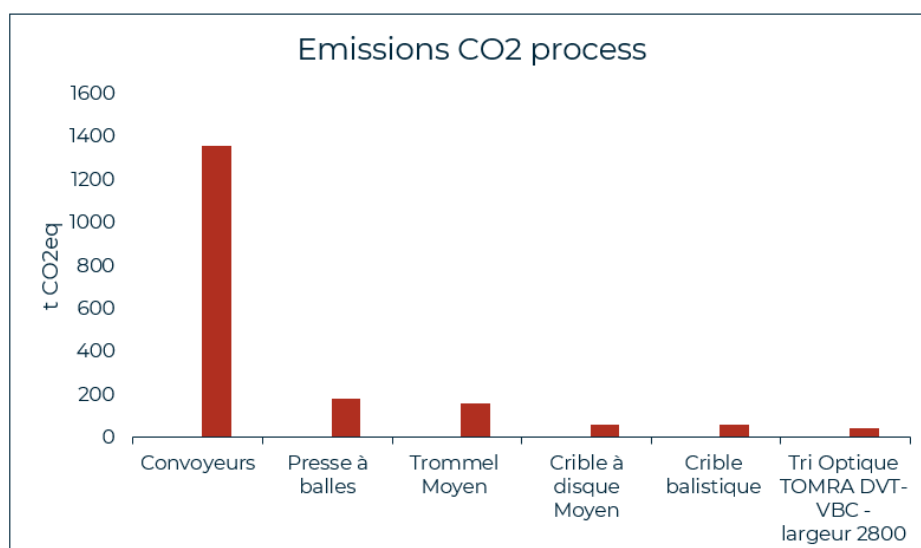


Figure 16 Emissions CO2 Process

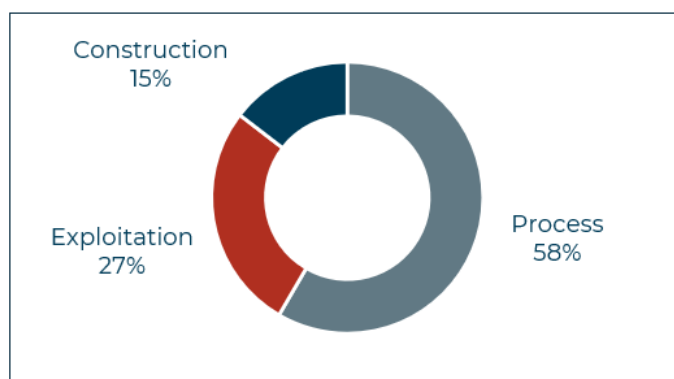


Figure 17 Résultats raréfaction des ressources minérales

Par rapport à la raréfaction des ressources minérales, l'indicateur utilisé est le kg d'antimoine équivalent, qui prend comme référence la rareté et la toxicité de l'antimoine et utilise le facteur antimoine des autres minéraux pour les convertir en unités Sb eq et ainsi les prendre en compte. De la même manière que pour le CO2 dans la section sur le changement climatique, tous les autres gaz à effet de serre sont convertis en cet indice CO2eq afin de les prendre tous en compte.

Dans cette catégorie d'impact, la partie du centre qui joue le plus grand rôle est l'équipement du processus. La production de ces machines nécessite de grandes quantités de métaux, en particulier pour les plus lourdes comme la presse à balles.

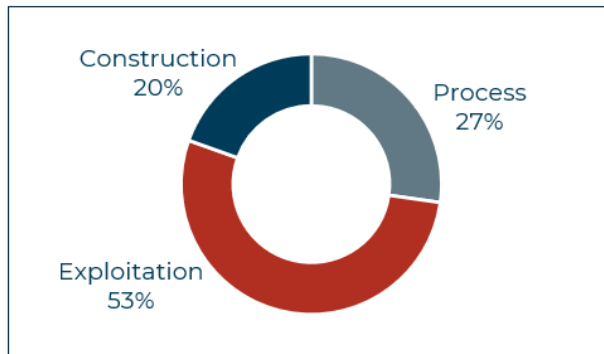


Figure 18 Utilisation d'eau

Sur l'utilisation d'eau, normalement c'est la phase d'exploitation qui a l'impact le plus important et la consommation la plus élevée de mètres cubes d'eau au cours de la vie utile d'un centre de tri. La production de l'électricité nécessaire au fonctionnement du centre nécessite beaucoup d'eau, surtout si l'électricité est produite dans des centrales thermiques.

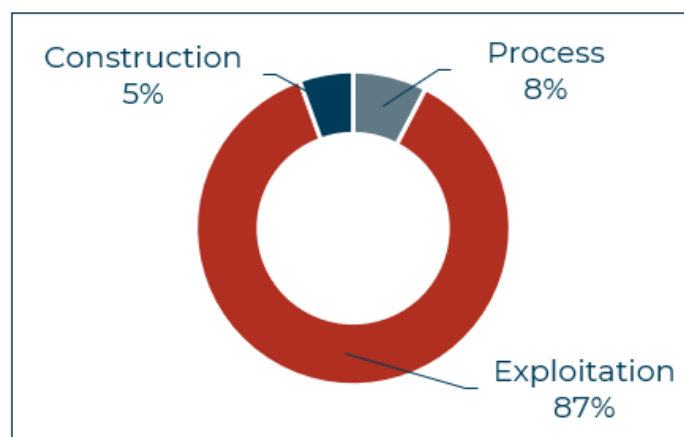


Figure 19 Energie fossile

De même que pour l'utilisation de l'eau dans la section précédente, l'énergie fossile requise pour produire l'électricité nécessaire au fonctionnement des machines du processus et du centre en général pendant 10 ans est la partie la plus importante en référence à cette catégorie d'impact environnemental.

B.3.5 Evaluation de la qualité des données

Une évaluation semi-quantitative, utilisant une Matrice de Weidema, est réalisée en suivant la procédure suivante :

1. Classer les inventaires de cycle de vie par ordre décroissant des contributions sur le cycle de vie pour toutes les catégories d'impacts étudiées. Ce classement est réalisé indépendamment sur chaque filière ;
1. Évaluer la qualité des données par un jugement semi-quantitatif basé sur 5 critères :
 - Fiabilité (F) ;
 - Complétude (C) ;
 - Représentativité temporelle (TiR) ;
 - Représentativité géographique (GR) ;
 - Représentativité technologique (TeR) ;

Cinq niveaux de qualité sont définis pour chaque critère :

- Très bon (1) ;
- Bon (2) ;
- Équitable (3) ;
- Faible (4) ;
- Très faible (5).

Ci-après, un extrait de ce tableau illustrant la qualité des données de l'étude. (Le tableau complet est présenté en annexe).

Donnée	Fiabilité	Complétude	Corrélation temporelle	Corrélation géographique	Corrélation technologique	Moyenne
Bilan puissance	2	1	1	1	1	1,2
Equivalent surface	2	3	1	2	3	2,2
Fils de ligature	2	2	1	2	1	1,6
Engin Thermique	4	2	2	2	3	2,6
Convoyeur PL Néos	2	1	1	1	1	1,2
Convoyeur PL Horstmann	2	2	1	1	3	1,8
Charpente	2	2	1	1	1	1,4
Presse à balles	5	2	2	4	4	3,4

Comme indiqué précédemment, ce tableau est classé par ordre décroissant de l'impact environnemental d'un centre de tri type. Cela permet de distinguer les composants du centre qui ont l'impact le plus élevé en haut et ceux qui ont potentiellement un impact moindre en bas. En utilisant cette logique, il serait intéressant d'avoir les valeurs de qualité des données les plus élevées dans les composants situés le plus haut possible dans le tableau pour obtenir le résultat le plus cohérent possible avec la réalité.

L'impact carbone des sept premiers éléments de ce tableau représente environ 85 % de l'impact total, d'où l'importance d'une qualité de données optimale pour ces éléments. Cette importance décroît ensuite en fonction de la diminution de l'impact de chaque équipement ou élément du centre.

L'incertitude de l'étude est aussi estimée dans le document fait. Cette incertitude est liée logiquement à la qualité des données. Le niveau de détail des données pour chaque machine et équipement du centre de tri peut être divisé en trois niveaux :

1. Analyse du cycle de vie (ACV) complète :

- Équipements pour lesquels nous avons réalisé une ACV complète, connaissant en détail les composants, les matériaux et les processus de fabrication.
- Incertitude de l'impact environnemental : 5%.

2. Rapport d'analyse :

- Équipements pour lesquels nous avons réalisé un rapport interne analysant les dimensions et les matériaux principaux.
- Incertitude de l'impact environnemental : 10%.

3. Équivalent kilogramme voiture (kg-voiture) :

- Machines ou composants pris en compte uniquement par leur poids, en utilisant l'impact du cycle de vie d'une voiture comme référence (produit standardisé).
- Incertitude de l'impact environnemental : 40%.

- Cette méthode est utilisée uniquement pour les composants légers, ne représentant pas une part importante du centre de tri, ou pour les composants complexes dont les données des fournisseurs sont insuffisantes.

Ces études sur les centres de tri présentent généralement une incertitude comprise entre 15 et 20%.

B.3.6 Limites de l'étude

La dernière section, avant les conclusions, est consacrée aux limites de l'étude. L'étude d'analyse du cycle de vie (ACV) réalisée sur les centres de tri présente plusieurs limites qui doivent être prises en compte lors de l'interprétation des résultats.

Tout d'abord, l'ACV ne permet pas d'évaluer tous les impacts environnementaux, notamment ceux liés à la biodiversité et à l'économie circulaire. De plus, la précision des résultats varie en fonction des indicateurs étudiés et des données disponibles.

La modélisation utilisée présente également des limites. En se concentrant sur une vision globale des centres de tri, l'étude ne peut pas comparer finement les différents équipements. Les choix méthodologiques, comme la délimitation du système étudié ou la prise en compte de la fin de vie, influencent également les résultats.

La collecte de données constitue un obstacle majeur. Le manque d'accès à certaines informations, notamment celles détenues par les fournisseurs, a nécessité l'utilisation d'approximations. La diversité des domaines impliqués (processus industriels, construction, etc.) a également complexifié la collecte et la structuration des données.

Enfin, l'ACV étant une méthode d'évaluation, les résultats obtenus sont entachés d'incertitudes. Ces incertitudes sont liées à la qualité des données, aux choix méthodologiques et à la complexité des systèmes étudiés.

Chapitre C Autres missions

D'autres projets à caractère environnemental ont été mis en œuvre cette année. Je présenterai succinctement trois de ces projets.

C.1 Bilan Carbone

Afin d'être en ligne avec les valeurs de l'entreprise, le bilan carbone a été intégré à la démarche RSE dès 2021. Les résultats, communiqués seulement en interne, nous ont permis d'identifier les principaux points d'impact de l'entreprise et de définir des projets et actions cohérents.

Étant ma première mission dans l'entreprise, cela m'a permis de comprendre son activité et son organisation. Après une phase de constitution de l'équipe et de collecte de données, nous avons organisé un brainstorming avec plusieurs collaborateurs pour réfléchir à des pistes d'amélioration. Grâce à une matrice croisant l'estimation de la réduction des émissions de CO₂ et les efforts requis (temps, budget) pour chaque idée d'action, nous avons sélectionné, avec la direction de l'entreprise, un ensemble d'actions à mettre en œuvre cette année.

Vous trouverez ci-joint quelques graphiques illustrant la répartition des impacts de l'entreprise.

Récapitulatif

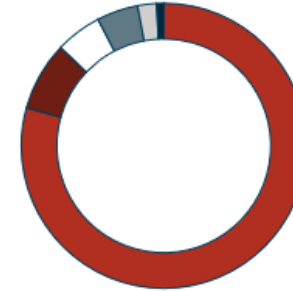


Impact total néos



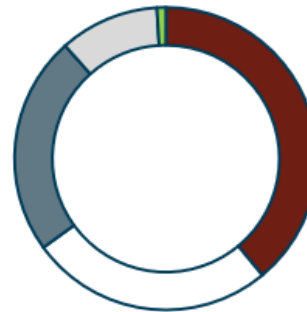
- Projets réceptionnés ■ Production convoyeurs ■ Déplacements pro
- Déplacements dom-trav ■ Intrants ■ Immobilisations
- Energie

Impact sans projets



- Production convoyeurs ■ Déplacements pro □ Déplacements dom-trav
- Intrants □ Immobilisations ■ Energie

Impact structure



- Déplacements pro □ Déplacements dom-trav ■ Intrants
- Immobilisations ■ Energie

©neós 2023

20



C.2 Etude des bandes des convoyeurs

Un des projets menés les années précédentes pour ce poste au sein de l'entreprise était une analyse du cycle de vie des convoyeurs. Les convoyeurs sont les équipements chargés de transporter les déchets entre les différentes machines et méthodes de tri dans un centre de tri. Étant les équipements les plus présents dans ces centres, il était intéressant d'étudier en détail leur impact environnemental et d'en comprendre la répartition.

Une des conclusions de cette étude a été que la phase d'utilisation du convoyeur pendant l'exploitation du centre pesait fortement sur l'impact global de l'équipement. La consommation énergétique du convoyeur étant directement proportionnelle à la masse de la bande, entre autres facteurs, une réduction du poids des bandes entraînerait une diminution équivalente des besoins énergétiques des convoyeurs, et par conséquent, une baisse significative de la consommation énergétique totale du centre, compte tenu du nombre important de convoyeurs présents (environ 100 dans un centre standard).

Partant de ce constat, le projet consistait à réaliser un état de l'art des différentes options de matériaux pour les bandes de convoyeurs, en les comparant à la fois sur le plan environnemental et économique avec les bandes actuellement utilisées par Néos.

Afin de répondre à ce besoin, j'ai tout d'abord étudié les convoyeurs d'une série de centres de tri afin de simuler un centre de tri moyen sur lequel effectuer par la suite des simulations de changement de matériaux de bandes. Pour cela, j'ai collecté le nombre de convoyeurs de chaque type, leurs dimensions, la consommation électrique de chaque type de convoyeur et le prix des bandes.

Une fois ce centre de tri moyen créé et après avoir étudié les différentes options pour les bandes de convoyeurs, j'ai développé un outil permettant de simuler en temps réel les résultats de potentiels changements d'une bande à une autre sur les différents types de convoyeurs d'un centre de tri, comme illustré dans la figure 20.

La conclusion du projet n'a pas été des plus réjouissantes, car les gains potentiels liés au changement de bandes se sont avérés bien inférieurs aux estimations initiales basées sur les concepts d'écoconception issus de l'analyse du cycle de vie des convoyeurs. Néanmoins, cet outil reste intéressant et l'étude pertinente pour pouvoir proposer aux clients des projets Néos l'option d'utiliser des bandes optimisant les performances environnementales du centre, tout en acceptant le surcoût associé.

Simulation		
Alim TO	Remplacer Convoyeur PL Alim TO par Breda 22CF	non
	Remplacer Convoyeur PL Alim TO par Breda 30CF	oui
Alim TT+Stockeur+Balistique	Remplacer Convoyeur PL Alim par Breda 22CF	non
	Remplacer Convoyeur PL Alim par Breda 30CF	non
Tri Manuelle	Remplacer Convoyeur tri manuelle PLH par Breda 22CF	non
	Remplacer Convoyeur tri manuelle PLH par Breda 30CF	oui
Stockeur	Remplacer Convoyeur stockeur PAsk par Breda 22CF	non
	Remplacer Convoyeur stockeur PAsk par Breda 30CF	non
Reste PL	Remplacer Convoyeur PL par Breda 22CF	non
	Remplacer Convoyeur PL par Breda 30CF	oui

Figure 20 Projet Bandes convoyeurs

C.3 Challenge de la mobilité Bourgogne-Franche-Comté

Un autre projet intéressant, motivé par le bilan carbone, est la participation de l'entreprise au Challenge de la mobilité Bourgogne-Franche-Comté. Cet événement d'une semaine, organisé par l'ADEME, vise à inciter les entreprises participantes à privilégier, pendant cette période, des modes de transport alternatifs à la voiture individuelle. Avec un investissement financier et temporel relativement faible pour l'entreprise, la participation à cet événement peut encourager les collaborateurs à modifier leurs habitudes de déplacement domicile-travail. Au pire, cela constitue un excellent outil de diffusion d'informations et de sensibilisation sur cette thématique.



Figure 21 Challenge BFC

Chapitre D Conclusion

Comme cela a été souligné dans ce rapport, les projets que j'ai menés à bien cette année au sein de Néos ont été à la fois variés et stimulants. Cette diversité m'a permis d'acquérir une vision concrète du fonctionnement d'une entreprise opérant dans le secteur du recyclage. J'en retire également une expérience précieuse en matière de conception de projets visant à réduire l'impact environnemental d'une entreprise industrielle. J'ai ainsi appris à mieux identifier les projets offrant le meilleur rapport coût-efficacité et à fort potentiel d'impact.

J'ai eu la chance de côtoyer et de collaborer avec des personnes proactives, ouvertes aux nouvelles idées et prêtes à apporter leur aide, tout en conservant un esprit critique pour s'assurer de toujours faire du meilleur travail possible. Bien que certains projets, comme celui de la calculatrice d'impact, puissent sembler avoir une dimension commerciale prédominante, visant à différencier Néos de ses concurrents grâce à sa capacité à analyser l'impact de ses projets, j'espère que la possibilité de calculer cet impact de manière simple et de quantifier l'ordre de grandeur de certaines décisions environnementales contribuera à une prise en compte accrue des indicateurs environnementaux, parallèlement aux indicateurs économiques traditionnellement utilisés. Cela permettra ainsi de prendre des décisions éclairées qui réduiront l'impact des projets de l'entreprise.

La communication environnementale menée tout au long de l'année, à l'occasion du bilan carbone et du challenge de la mobilité, a, je l'espère, permis de sensibiliser les collaborateurs et de promouvoir des pratiques plus respectueuses de l'environnement, telles que la réévaluation des modes de transport professionnels ou la réduction des déchets générés au quotidien.

Cette expérience très enrichissante m'aidera à mieux orienter mes prochains choix de carrière.

Bibliographie

- ADEME. (2010). *Guide méthodologique Bilan Carbone Entreprises - Collectivités - Territoires*.
- ADEME. (2019). *Analyse du cycle de vie des flux de déchets recyclés sur le territoire français*.
- ADEME et DELOITTE DEVELOPPEMENT DURABLE. (2023). *Etude du potentiel d'amélioration du recyclage des métaux en France*.
- ADEME. (s.d.). *Impact CO2*. Récupéré sur <https://impactco2.fr/>
- ADEME, I. N. (2022). *Déchets Chiffres clés*. Edition Juin 2023.
- ADEME, P. D. (2023). *Etude du poentiel de recyclage de l'acier, de l'aluminium et du cuivre en France*.
- AFNOR. (2006). *NF EN ISO 14044*. Analyse du cycle de vie, Exigences et lignes directrices.
- AFNOR. (2020). *NF EN ISO 14040 COMPIL 1*. Analyse du cycle de vie, Principes et cadre.
- Myclimate. (s.d.). *Fondation myclimate*. Récupéré sur Myclimate shape our future: https://co2.myclimate.org/fr/flight_calculators/new
- Néos. (s.d.). *Néos Solutions*. Récupéré sur <https://www.neos-solutions.com/decouvrir-neos#engagements>

Table des figures et tableaux

Figure 1 Organigramme néos	10
Figure 2 Process	17
Figure 3 Bâtiment	18
Figure 4 Exploitation	19
Figure 5 Bilan matière	20
Figure 6 Résultats 1	23
Figure 7 Résultats 2	25
Figure 8 Onglet Economies carbone	27
Figure 9 Onglet Incertitude de l'étude	30
Figure 10 Bénéfices environnementaux	32
Figure 11 Explication Bénéfices environnementaux	33
Figure 12 Onglet Note environnementale	34
Figure 13 Note environnementale	35
Figure 14 Frontières du système	37
Figure 15 Carte des flux	38
Figure 16 Emissions CO2 Process	41
Figure 17 Résultats raréfaction des ressources minérales	42
Figure 18 Utilisation d'eau	42
Figure 19 Energie fossile	43
Figure 20 Projet Bandes convoyeurs	48
Figure 21 Challenge BFC	48
Tableau 1 Facteurs d'émission	15
Tableau 2 Liste d'équipements	16
Tableau 3 Catégories d'impact (ADEME, 2019)	21
Tableau 4 Exemple Inventaire processus	39
Tableau 5 Attribution de l'impact à l'inventaire	41
(AFNOR, 2020)	

Annexes

Sommaire Document base Analyse de cycle de vie d'un centre de tri :



SOMMAIRE



CHAPITRE A - INTRODUCTION ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	3
A.1 Contexte	3
A.2 Objectifs	3
A.2.1 Motivation de l'étude et application envisagé	3
A.2.2 Public cible	3
A.3 Revue critique	4
A.4 L'analyse du cycle de vie en bref	4
CHAPITRE B DEFINITION DU CHAMP DE L'ETUDE	5
B.1 Système de produit à étudier	5
B.2 Unité fonctionnelle de l'étude	5
B.3 Frontière du système étudier	5
B.3.1 Cycle de vie	5
B.3.2 Contexte systémique	6
B.3.3 Contexte géographique	6
B.4 Exigences relatives aux données	7
B.4.1 Limitations	7
B.4.2 Exigences initiales de qualité de données	7
B.5 Choix de la méthode	7
B.6 Règles d'affectation	7
CHAPITRE C CALCUL DE L'INVENTAIRE : DONNEES ET HYPOTHESES	8
C.1 Ensemble des données concernées par l'étude	8
C.1.1 Transport	8
C.2 Processus	9
C.2.1 Liste d'équipements	9
C.2.1.1 Séparation	9
C.2.1.1 Convoyage	12
C.2.1.2 Compaction	14
C.2.1.3 Utilité	14
C.3 Bâtiment	15
C.3.1 Charpente	15
C.4 Exploitation	15
C.4.1 Bilan puissance	15
C.4.2 Fils de ligature	15
C.4.3 Chariots télescopiques	16
C.4.4 Maintenance des convoyeurs	16
C.5 Fin de vie	16
CHAPITRE D EVALUATION DES IMPACTS	17

D.1	Catégories d'impact et indicateurs d'impacts	17
D.2	Attribution des résultats de l'inventaire	17
D.2.1	Processus	17
D.2.1.1	Séparation	18
D.2.1.2	Convoyage	20
D.2.1.3	Compaction	21
D.2.1.4	Utilité	21
D.2.2	Bâtiment	22
D.2.3	Exploitation	23
D.2.4	Fin de vie	23
D.3	Résultats d'indicateur de catégorie	24
D.3.1	Changement climatique	24
D.3.1.1	Exploitation	25
D.3.1.2	Process	26
D.3.1.3	Construction	27
D.3.1.4	Fin de vie	27
D.3.2	Epuisement des ressources minérales	28
D.3.3	Utilisation d'eau	28
D.3.4	Energie fossile	29
CHAPITRE E	ECONOMIES CARBONE	30
CHAPITRE F	EVALUATION DE LA QUALITE DES DONNEES	31
F.1	Méthode	31
F.2	Evaluation de la qualité des données	32
F.3	Incertitude associée à la qualité des données	33
F.3.1	Niveau d'exhaustivité des données	33
F.3.2	Résultats	34
CHAPITRE G	LIMITES DE L'ETUDE	35
G.1	Limites liées aux indicateurs	35
G.2	Limites liées à l'approche de modélisation retenue	35
G.3	Limites liées à la collecte des données	35
G.4	Limite liée à l'analyse d'incertitude des données	35
G.5	Limites liées aux étapes du cycle de vie	36
CHAPITRE H	INTERPRETATION ET CONCLUSIONS	36
CHAPITRE I	BIBLIOGRAPHIE	37
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES		37
CHAPITRE J	ANNEXES	37
J.1	Inventaire des données	37
J.1.1	Données Convoyeurs PL Néos	38
J.1.2	Données Tri Optique TOMRA	40
J.1.3	Données utilisées dans SimaPro	41
J.1.4	Kilogramme équivalent voiture données	43

Qualité des données ACV centre de tri :

Donnée	Fiabilité	Complétude	Corrélation temporelle	Corrélation géographique	Corrélation technologique	Moyenne
Bilan puissance	2	1	1	1	1	1,2
Equivalent surface	2	3	1	2	3	2,2
Fils de ligature	2	2	1	2	1	1,6
Engin Thermique	4	2	2	2	3	2,6
Convoyeur PL Néos	2	1	1	1	1	1,2
Convoyeur PL Horstmann	2	2	1	1	3	1,8
Charpente	2	2	1	1	1	1,4
Presse à balles	5	2	2	4	4	3,4
Compacteur	5	2	2	4	4	3,4
Presse à paquet	5	2	2	4	4	3,4
Cabine de tri	2	2	1	1	3	1,8
Trommel	2	2	1	1	3	1,8
Crible balistique	2	2	1	1	3	1,8
Convoyeur PA	2	2	1	1	3	1,8
Tri Optique TOMRA	2	1	1	1	1	1,2
Tri Optique Pellenc	5	2	2	4	4	3,4
Crible à disque	2	2	1	1	3	1,8
Convoyeur U	2	2	1	1	3	1,8
Convoyeur PK	2	2	1	1	3	1,8
Goulotte	2	2	1	1	3	1,8
OVAP	5	2	2	4	4	3,4
Poulie magnetique	5	2	2	4	4	3,4
SNF	5	2	2	4	4	3,4
Aéraulique	2	2	1	1	3	1,8
Compresseurs	5	2	2	4	4	3,4
Dépoussiéreur	5	2	2	4	4	3,4
Pesons	5	2	2	4	4	3,4

Podium motorisé	2	2	1	1	3	1,8
Pompe à chaleur	5	2	2	4	4	3,4
Supervision	2	2	1	1	3	1,8
Lot climatisation	5	2	2	4	4	3,4
Robot	5	2	2	4	4	3,4
Désimbriquer	2	2	1	1	3	1,8
Silos	5	2	2	4	4	3,4