

# Méthodologie du calculateur carbone 2020

Méthodologie du calculateur carbone 2020.....	1
1. Objectifs.....	3
2. Périmètre.....	4
a. Périmètre temporel.....	4
b. Périmètre opérationnel.....	4
c. Périmètre interne.....	5
d. Postes.....	5
3. Facteurs d'émissions.....	8
a. FE des matières premières (hors engrais et tourbe).....	9
i. Argile.....	10
ii. Composte Fibre Ecorces.....	11
iii. Chaux.....	11
iv. Coco.....	12
v. Dolomie.....	12
vi. Ecorces.....	12
a. Hortifibre et Turbofibre.....	13
vii. Pouzzolane.....	16
viii. Sable, grave.....	16
ix. Sous-produit.....	16
x. Terre de Bruyère.....	16
xi. Terre et argile.....	17
xii. Terre végétale.....	17
xiii. Compost.....	17
xiv. Perlite/billes d'argile.....	17
xv. Cacao vrac.....	19
xvi. Terreau divers.....	19
xvii. Amendements non azotés.....	20
xviii. A définir, produit naturel, non présent dans la base ADEME.....	21
xix. FE d'extraction par défaut.....	21
b. Tourbe, extraction & fin de vie.....	21
i. Extraction.....	21
ii. Fin de vie (EoL).....	26
c. Engrais, fabrication & utilisation.....	28
d. Transports.....	29
e. Sacherie.....	30

f.	Energie.....	30
g.	Autres postes variables .....	31
i.	Déplacements.....	32
ii.	Immobilisations .....	32
4.	Fonctionnement .....	33
a.	Fonctionnement général .....	33
b.	Méthodes de calcul .....	34
i.	Matières premières .....	34
ii.	Fret amont.....	35
iii.	Engrais .....	36
iv.	Tourbe – fin de vie.....	36
v.	Fret aval .....	36
5.	Hypothèses et limites du calcul.....	37
a.	Distances du fret.....	37
b.	Mode de transport en fret amont.....	37
c.	Assimilation de masse volumique ou de FE. ....	38
d.	Prise en compte des engrais.....	38
vi.	Sacherie .....	39
vii.	Energie.....	40
e.	Regroupements de livraison pour le fret aval .....	41
6.	Outils d'analyse des résultats.....	43
a.	Résultats généraux .....	43
b.	Résultats détaillés.....	44
c.	Focus sur le fret .....	47
d.	Fichier d'analyse .....	49
7.	Table des illustrations et tableaux .....	52
8.	Bibliographie.....	52

## 1. Objectifs

Le calculateur carbone est un outil qui vise à faciliter l'estimation des impacts climatiques de l'activité de Florentaise, en automatisant l'analyse de fichiers issus du logiciel de gestion comptable sous la forme d'un bilan carbone. Cela permet par exemple de calculer annuellement le bilan carbone de l'entreprise, et donc avec un pas temporel plus petit que jusqu'alors mais aussi de le calculer rétroactivement.

On vise donc à avoir un algorithme capable de prendre en entrée les résultats d'extractions du logiciel comptable, ainsi qu'un certain nombre de paramétrages, et d'en sortir un résultat sous la forme d'un bilan carbone détaillé.

Le but est donc de :

- Rendre la tâche du calcul de ce bilan carbone moins fastidieuse qu'avec l'outil précédent, afin de nécessiter le moins de temps d'adaptation possible pour l'opérateur-ice.
- Pouvoir, si l'on a les données, calculer le bilan carbone annuel pour toute année depuis 2009 et pour quelques années à venir, avec un minimum de travail d'adaptation
- Le rendre flexible à l'avenir, notamment en prévoyant l'ajout de nouveaux sites (/usines) Florentaise sans avoir à modifier le code source.<sup>1</sup>
- Le rendre adaptable à l'avenir, c'est-à-dire qu'il est relativement facile, si l'on connaît le fonctionnement du code, de l'ajuster pour lui faire implémenter des nouveautés (ex : nouveau matériau de sacherie, nouveau mode de transport...)<sup>2</sup>
- Le rendre accessible à la compréhension. L'enjeu climatique, et le besoin d'une compréhension de ces enjeux par le grand public sont tels que ce code doit être accessible au plus grand nombre, par sa publication, et par son explication. Son accessibilité permettra peut-être à des structures similaires de s'en saisir et de l'utiliser pour estimer leur propre impact.

Le fonctionnement global est présenté dans de schéma ci-dessous.

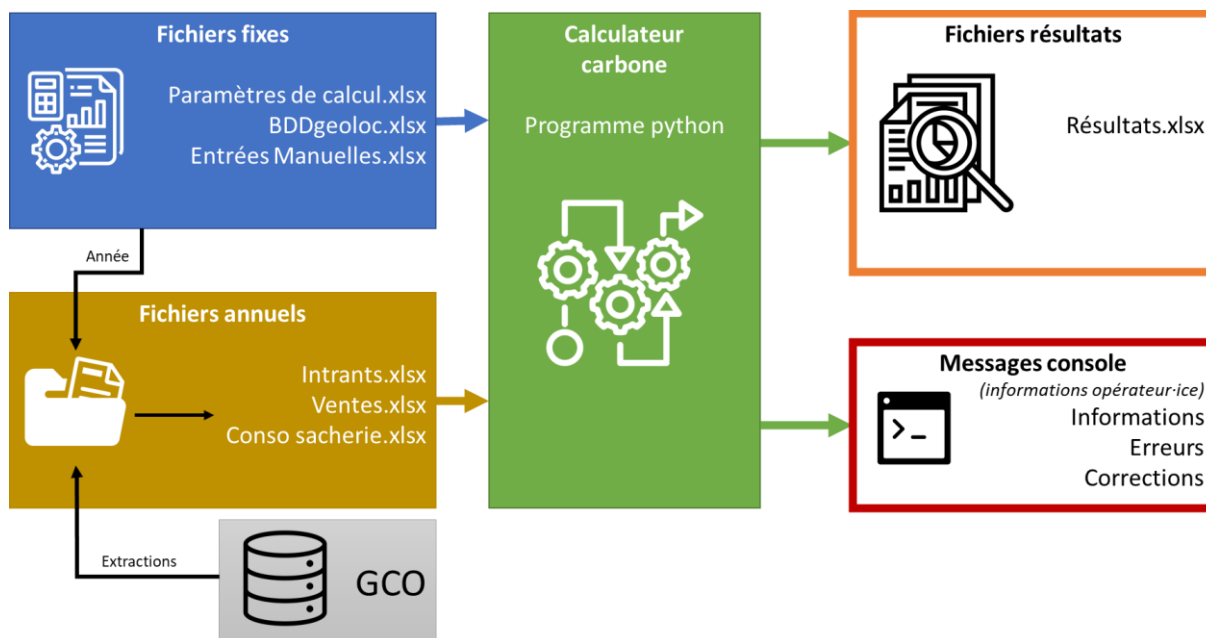


Figure 1 Fonctionnement global du Calculateur

<sup>1</sup> La flexibilité est donc le fait que l'on puisse ajuster les « Fichiers Fixes » pour coller au nouveau périmètre. C'est donc un niveau de maintenance « faible » car il ne requiert que des modifications de tableurs Excel.

<sup>2</sup> L'adaptabilité passant par une modification du code, c'est un niveau de maintenance « moyen »

Bien sûr, une modification des fichiers fixes et des fichiers annuels issus des extractions GCO entraînera un changement dans les résultats. Ce document vise donc à expliquer un fonctionnement « normal » du calculateur.

Le but est de calculer annuellement les émissions de gaz à effet de serre (abrégé en EGES), calculée en équivalent CO<sub>2</sub> (abrégé en CO<sub>2eq</sub>), dues à l'activité de Florentaise. C'est ce qu'on appelle le Bilan Carbone (BC).

Il est à noter que ce calculateur fournit également des matières pour faciliter le bilan carbone des produits. Ce dernier sera calculé à part, et est concerné par une autre méthodologie.

Ce document vise donc à éclaircir et expliquer les choix faits lors de l'élaboration de ce bilan carbone. Cependant, la phase de définition du projet a été relativement rapide, car ce BC est une extension du BC précédent, et de la méthode établie par ESPERE, qui a été utilisée entre 2009 et 2019. Ainsi, même s'il y a de nombreux changements, l'esprit de ce bilan carbone est le même et, si des points restent obscurs dans ce document, à cause d'une omission, il y a fort à parier pour que cela soit pris comme acquis de la méthode précédente, et que s'y référer résoudra la question.

## 2. Périmètre

### a. Périmètre temporel

Le bilan carbone est annuel, et calculable sur diverses années. On note 20XX l'année de calcul considérée. En réalité, l'année prise comme référence est la période :

**Du 1<sup>er</sup> juillet 20XX-1 (année précédente) au 30 juin 20XX**

Par soucis de praticité, on dira en général « bilan carbone 20XX » pour désigner cette période. Cela est seulement un point de vigilance à avoir lors des extractions des données et de leur interprétation.

Le calculateur est fait pour pouvoir calculer des BC rétroactivement depuis 2009 (donc période 1<sup>er</sup> Juillet 2008 au 30 Juin 2009). Il devrait fonctionner pour les années à venir avec un minimum de maintenance et d'adaptation (cf. la partie « Maintenance » du document « Guide Technique du programme python de traitement du bilan carbone »).

### b. Périmètre opérationnel

On essaye d'estimer les EGES directes et indirectes dues à l'activité de Florentaise. Pour cela, on se projette sur une approche similaire à l'Analyse du Cycle de Vie (ACV), que l'on applique à la méthode ADEME de bilan carbone (voir *d. Postes*, page 5). En effet, pour la plupart des postes, on s'intéresse aux émissions associées à tel ou tel élément (matière première, sacherie, produit fini). Ainsi, en terme d'ACV, on vise à estimer l'impact climatique des produits de Florentaise et de tout ce que cela nécessite, en *cradle-to-grave*, c'est-à-dire de l'origine des matières premières jusqu'à la fin de vie du produit. On place cependant hors du périmètre de responsabilité la phase de vente. Bien que cela fasse partie du cycle de vie, Florentaise n'a pas d'influence sur ces émissions, elles sont de la responsabilité de l'organisme qui suit, et elles sont bien trop complexes à évaluer pour les inclure dans ce périmètre.

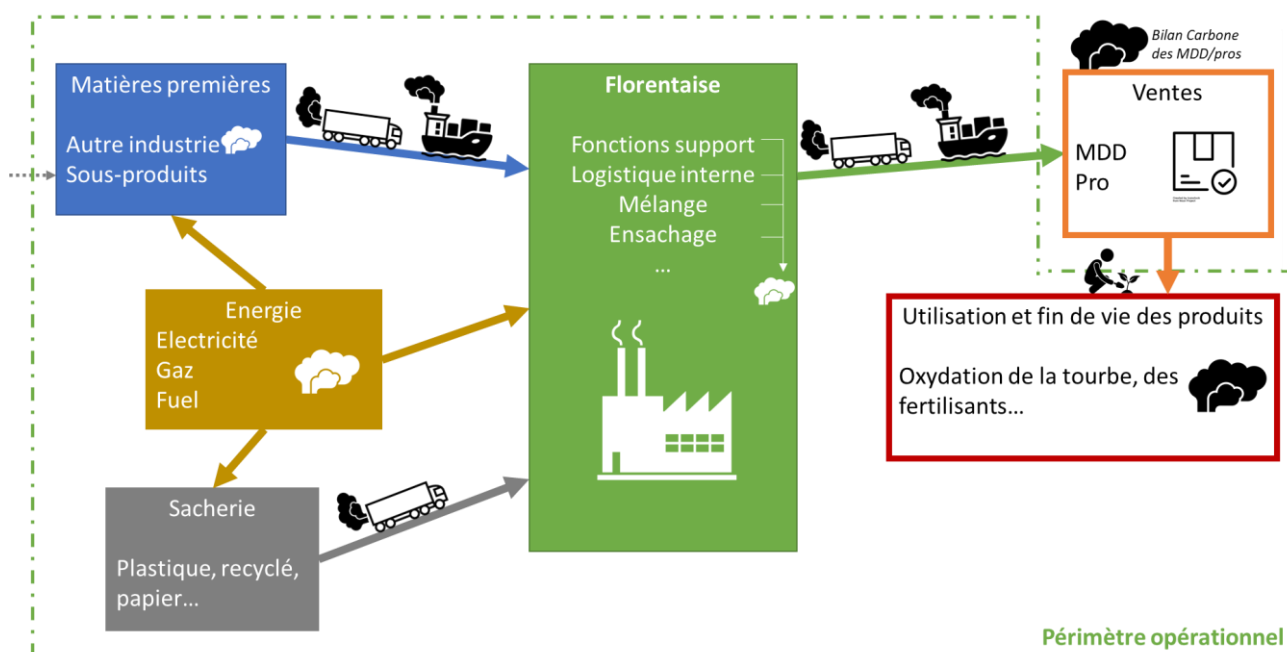


Figure 2 Périmètre opérationnel du bilan carbone

On pourrait prendre une approche en *cradle-to-gate*, c'est-à-dire jusqu'à la sortie de l'usine, mais il est apparu important d'inclure le fret aval et la fin de vie des produits. En effet, quoi qu'il arrive, ces émissions sont en pratique inévitables à partir du moment où le produit existe. Par exemple, pour la tourbe, sa décomposition est une conséquence directe de son extraction, et c'est finalement tout comme si cette émission était rattachée aux émissions de son extraction.

Un autre argument pour prendre la fin de vie en compte est la finalité d'un bilan carbone, qui est d'analyser et obtenir des leviers d'atténuation. Ainsi, quand on réfléchit à l'impact qu'ont les activités, il faut les prendre au sens large, pour identifier au mieux les motivations à appliquer tel ou tel levier d'action.

### c. Périmètre interne

Dans le schéma présenté ci-dessus, la case verte « Florentaise » contient le périmètre interne. Il contient les  $n$  usines de Florentaise prises en compte dans l'année 20XX, plus un poste de support<sup>3</sup>. On prend en compte dans l'usine les dépenses énergétiques (électricité et fuel), les immobilisations des bâtiments et les déplacements. Dans le cas des sites extrayant de la tourbe, on prend également en compte les émissions spécifiques de cette matière première (voir partie Tourbe, extraction & fin de vie).

### d. Postes

On reprend la liste des postes définie par la méthode ADEME, et on adapte à la situation définie par le périmètre :

Tableau 1 Postes de la méthode ADEME adaptés à Florentaise

Scope	Poste ADEME	Poste BC Florentaise	Regroupements
1	1. Emissions directes de sources fixes de combustion	Machines fuel dans les usines	Matières Premières

<sup>3</sup> En 2020, il y avait par exemple 9 sites : Baupte, Plonevez, Labouheyre, St-Escobille, Lavilledieu, St-Mars, Louresse, Treffort et Combrée, plus un site support (physiquement à St-Mars)

	2.Emissions directes des sources mobiles à moteur thermique	Interdépôt	Interdépôt
	3.Emissions directes des procédés hors énergie	Emissions à l'extraction de la tourbe	Matières Premières
	4.Emissions directes fugitives	NC	Emissions directes de la tourbe
	5.Emissions issues de la biomasse (sols et forêts)	NA (comprises dans 3.)	
2	6.Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	Electricité	Electricité
	7.Emissions indirectes liées à la consommation de vapeur, chaleur ou froid	NC	
	8.Emissions liées à l'énergie non incluse dans les catégories « émissions directes de GES » et « émissions de GES à énergie indirectes »	NA	
3	9.Achats de produits ou services	Matières premières (fabrication, extraction...), et sacherie	Matières Premières ; Sacherie
	10.Immobilisations de biens	Bâtiments en cours d'amortissement	Immobilisations
	11.Déchets	NC	
	12.Transport de marchandise amont	Fret des matières premières, de la sacherie	Fret MP route ; Fret MP bateau ; Fret Sacherie
	13.Déplacements professionnels	Déplacements	Déplacements
	14.Actifs en leasing amont	NA	
	15.Investissements	NA	
	16.Transport de visiteurs et de clients	NC	
	17.Transport de marchandise aval	Fret aval	Fret aval ; Ventes jardinerie, ventes pro
	18.Utilisation des produits vendus	Oxydation, décomposition...	Protoxyde d'azote
	19.Fin de vie des produits vendus	NC (compris dans 18.)	
	20.Franchise aval	NA	
	21.Leasing aval	NA	
	22.Déplacements domicile-travail	NC	
	23.Autres émissions indirectes	NA	

*Les cases en vert sont estimées au moins partiellement par le calculateur carbone.*

*NC = Non calculé*

*NA = Non applicable*

Les scopes sont les domaines dans lesquels on peut classer les émissions, les scopes 1 et 2 sont obligatoires, mais ne représente souvent qu'une minorité des EGES totales. Le scope 1 correspond aux EGES directes. Le scope 2 regroupe les EGES indirectes liées à l'énergie. Enfin, le scope 3 regroupe toutes les EGES indirectes.

Bien sûr, les catégories de la colonne de droite sont modelables, afin d'identifier plus précisément des impacts spécifiques. Le but est d'obtenir au total une évaluation de chaque poste pour chaque usine, pour pouvoir tracer, entre autres, un diagramme tel que montré ci-dessous.

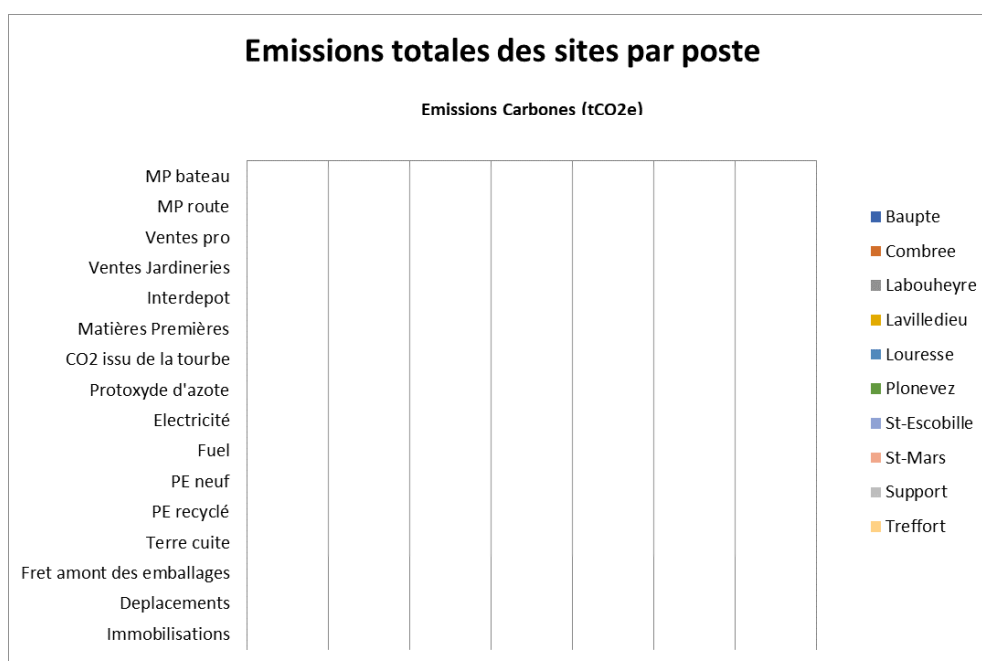


Figure 3 Exemple de diagramme de résultat

Ce diagramme ne correspond pas exactement aux postes de l'ADEME, mais il est facile de créer un outil qui convertit l'un en l'autre. C'est le but de l'onglet « BC ADEME » du fichier de suivi stratégique décrit dans la partie Fichier d'analyse.

Cet onglet reprend les tableaux des résultats détaillés, et les met dans les catégories du Tableau 1 Postes de la méthode ADEME adaptés à Florentaise. On note que certaines parties sont difficilement dissociables, notamment parmi les FE fabrication des matières premières. Ainsi, le tableau de conversion du Bilan Carbone Florentaise au Bilan Carbone ADEME est le suivant :

Tableau 2 Conversion des postes Florentaise/ADEME

MP bateau, MP route, Fret amont des emballages	12.Transport de marchandise amont
Ventes pro, Ventes Jardineries	17.Transport de marchandise aval

Interdépot	2.Emissions directes des sources mobiles à moteur thermique
Matières premières– CO <sub>2</sub> issu de la tourbe + PE neuf/recyclé/TC	9.Achats de produits ou services
CO <sub>2</sub> issu de la tourbe <sup>4</sup>	3.Emissions directes des procédés hors énergie
Protoxyde d'azote	18.Utilisation des produits vendus
Electricité	6.Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité
Fuel <sup>5</sup>	1. Emissions directes de sources fixes de combustion
Déplacements	13.Déplacements professionnels
Immobilisations	10.Immobilisations de biens

### 3. Facteurs d'émissions

Afin de convertir les activités de l'entreprise en « impact » sur le climat, on utilise des facteurs d'émission (FE). Ces FE sont exprimés en une masse d'équivalent CO<sub>2</sub> par unité. Par exemple, si l'on souhaite connaître l'impact de la récolte de douze tonnes de bois, l'ADEME fournit le chiffre de 36,6 kgCO<sub>2eq</sub>/t. Ainsi, on multiplie la quantité par le FE pour obtenir l'impact en équivalent carbone :

$$Impact_{bois}(kgCO_{2eq}) = Qté(t) \times FE(kgCO_{2eq}.t^{-1}) = 12 \times 36,6 = 439,2 kgCO_{2eq}$$

La base de données de référence en France, celle d'où provient la majorité des facteurs d'émissions, est celle de l'ADEME<sup>6</sup>. D'autres facteurs d'émissions sont estimés autrement.

Le but de cette partie est de justifier tous les choix de FE faits dans le calculateur carbone. On ne s'attardera pas sur ceux issus de la base ADEME ([www.bilan-ges.ademe.fr](http://www.bilan-ges.ademe.fr)), mais il est toujours bon de rappeler ce qu'ils représentent. La méthodologie, quant à leur estimation, est disponible dans la base ADEME.

Tous les FE sont rassemblés dans les onglets 2 et 3 du fichier Entrées Manuelles, et ils y sont lus par le calculateur.

Enfin, un tableau récapitulatif des facteurs d'émissions des matières premières est donné ci-dessous.

ID	Famille	FE (kgCO <sub>2</sub> /t)
1	à définir	0,00
2	Argile	11,17
3	CFE	0,35
4	Chaux	157,00
5	Coco	8,45
6	Dolomie	765,00
7	Ecorces	0,00
8	Hortifibre	29,79
9	Pouzzolane	247,00
10	Sable, grave	14,80
11	Sous-produit	0,00

<sup>4</sup> On considère ici que toutes les émissions de ce poste sont de l'oxydation de la tourbe lors de son extraction.

<sup>5</sup> On considère ici que les chargeuses et autres engins sont des sources fixes de combustion, car elle sont propres à chaque usine.

<sup>6</sup> Accessible sur <https://www.bilans-ges.ademe.fr/> après création d'un compte gratuit.



12	Terre de Bruyère	14,80
13	Terre	14,80
14	Terre végétale	14,80
15	Tourbe blonde	115,00
16	Tourbe brune	373,00
17	Tourbe FR	373,00
18	Tourbe noire	630,00
19	Compost	86,70
20	Perlite/bille d'argile	200,00
21	Fibre sèche	44,40
22	Cacao vrac	0,27
23	Terreau divers	14,80
24	Produit naturel	0,00
25	Non présent dans base carbone	0,00
26	<i>Perlite</i>	<i>200,00</i>
27	<i>Bille d'argile</i>	<i>317,95</i>
28	<i>Gravier</i>	<i>7,02</i>
29	<i>Schiste</i>	<i>33,53</i>
30	<i>Ardoise</i>	<i>45,71</i>
31	<i>Turbofibre</i>	<i>0,00E+00</i>
32	<i>Amendements non azotés</i>	<i>4,00E+00</i>

a. FE des matières premières (hors engrais et tourbe)

*Les facteurs d'émission de la tourbe sont abordés à part dans la partie suivante b, et ceux des engrais le sont dans la partie c.*

Les matières premières achetées, étant très diverses, n'ont pas un facteur d'émission spécifique, mais sont regroupées par familles de bilan carbone. Ces facteurs par familles ont pour but d'évaluer quel est l'impact à la fabrication ou extraction de chaque matière première. Ils ne prennent pas en compte le fret de leur site de production à l'usine Florentaise.

En 2019, le tableau des FE par famille était le suivant :

Tableau 3 : FE des familles de matières premières en 2019

N°	Familles de produit	FE en kg éq C/t	FE en kg éq CO2/t
1	à définir	1,0	3,7
2	Argile	4,0	14,8
3	CFE	0,2	0,6
4	Chaux	4,0	14,8
5	Coco	4,0	14,8
6	Dolomie	4,0	14,8
7	Ecorces	0,12	0,44
8	Hortifibre	12,1	44,9
9	Pouzzolane	4,0	14,8
10	Sable, grave	4,0	14,8
11	Sous produit	-	-
12	Terre de Bruyere	4,0	14,8
13	Terre et argile	4,0	14,8
14	Terre végétale	4,0	14,8
15	Tourbe blonde	7,0	25,9
16	Tourbe brune	16,0	59,2
17	Tourbe FR	2,5	9,2
18	Tourbe noire	16,0	59,2
19	Compost	25,0	92,5
20	Perlite/bille d'argile	167,0	617,9
21	Fibre sèche	12,0	44,4
22	Cacao vrac	10,0	37,0
23	Terreau divers	4,0	14,8
24	Produit naturel	-	-
25	Non présent dans base ca	-	-
26			

Examinons-les un par un, pour déterminer si l'on choisit de conserver le facteur d'émission utilisé précédemment.

*Note : Les FE valant 4kgC<sub>e</sub>/t ou 14.8kgCO<sub>2e</sub>/t sont des facteurs de faible fiabilité. Par manque de données, ils ont été fixés comme les émissions « liées à l'extraction d'une matière quelconque ». On appelle par la suite ce nombre « FE d'extraction par défaut ».*

#### i. Argile

Si l'on assimile l'argile à un élément de l'argile utilisée en bâtiment, alors on peut se référer à la base INIES qui regroupe des ACV de divers éléments de l'univers du bâtiment. Cette ACV a été déclarée par les Ministères de la Transition Ecologique et en Charge du Logement.

L'unité fonctionnelle est un revêtement d'argile d'épaisseur 3.5mm sur 1m<sup>2</sup>. On ne s'intéresse qu'au bilan carbone de production, qui est de 0,0553 kgCO<sub>2e</sub> par élément.

Ainsi, comme montré dans le Tableau 4 Calcul du FE de production de l'argile on peut calculer la masse d'argile que représente cet élément, et d'où on peut tirer un facteur d'émission.

Tableau 4 Calcul du FE de production de l'argile

Calcul du FE de l'argile	
BC par élément (kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> )	0,0553
Masse volumique (t/m <sup>3</sup> )	1,7
Epaisseur de l'élément (m)	0,0035
Volume de l'élément (m <sup>3</sup> )	0,0035
Masse de l'élément (tonne)	0,00595
BC par tonne (kgCO <sub>2</sub> /t)	9,294117647
<b>FE fabrication argile (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>9,29</b>

On note ici que dans la fiche technique de l'élément, il contient 1L d'eau, il s'agit donc d'argile humide dont il est question ici. Si l'on considère que l'on travaille de l'argile sèche, alors on peut enlever 1kg de matière pour le litre d'eau. Pour ce qui est du bilan carbone, on peut considérer qu'il reste inchangé, ainsi on obtient :

$$FE_{humide} = 9.29 \text{ kgCO}_{2e} \cdot t^{-1}$$

$$FE_{sèche} = 11.17 \text{ kgCO}_{2e} \cdot t^{-1}$$

Il est normal que le second soit plus élevé que le premier, car on garde les mêmes émissions pour moins d'argile par élément, en prenant en compte que l'eau en est exclue.

#### ii. Composte Fibre Ecorces

Le CFE nécessite un broyage par une machine électrique. De la même manière que dans le calcul initial avec ESPERE, on calcule un FE sur ce procédé, en prenant la consommation de la machine, le FE de l'électricité, et la quantité produite.

Calcul du FE broyage CFE	
Quantité d'électricité (kWh)	36707
FE electricité (kgCO <sub>2</sub> /kWh)	Electricité - 2018 - mix moyen - consommation 0,0571
Production d'écorces (t)	5961
<b>FE fabrication CFE (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>0,35</b>

Figure 4 Calcul du FE de broyage du CFE

**Le FE proposé pour le CFE broyé est donc de 0.35 kgCO<sub>2</sub>/t.**

#### iii. Chaux

De même que la Dolomie, la Chaux est issue du procédé de décarbonatation. Il existe cependant un grand nombre de chaux, et celle utilisée en horticulture semble être principalement de l'oxyde de calcium (CaO), aussi appelée Chaux Vive, ou du carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>). Ce n'est donc pas de la chaux hydraulique, utilisée comme ciment dans le bâtiment, amendée de silicates et d'aluminates. La décarbonatation de la chaux hydraulique a donc un FE assez grand (450 kgCO<sub>2e</sub>/t) par rapport à celle de la chaux issue des raffineries de sucre (157 kgCO<sub>2e</sub>/t), d'après la base ADEME, issue du rapport du

Citepa<sup>7</sup>. Comme la chaux utilisée en horticulture n'est pas de la chaux hydraulique, on préférera ce second facteur d'émission.

Un autre facteur d'émission, intitulé « Chaux » et classé avec l'étiquette « matériaux de construction » est donné à 1041kgCO<sub>2e</sub>/t. Ce chiffre n'est malheureusement pas sourcé, mais il semblerait qu'il soit encore relatif à de la chaux hydraulique, et ne concerne donc pas l'activité horticole.

**Le FE proposé pour la chaux est donc de 157 kgCO<sub>2e</sub>/t.**

#### iv. *Coco*

*Mail envoyé à Yuvaraj Muthu pour obtenir plus d'informations sur le bilan carbone de la coco, en attente de réponse.*

En attendant, on se fie sur un premier travail de développement d'une machine défibreuse de noix de coco<sup>8</sup>.

La machine est motorisée par un moteur électrique de ¼ HP (horsepower), soit 186Watts. Sa production est de 100 coques de noix de coco par heure. D'après [www.FlysunBaler.com](http://www.FlysunBaler.com)<sup>9</sup>, d'une tonne de coques de noix de coco on peut extraire 200 à 250kg de fibres.

Si l'on prend 1 coque = 1kg, alors la machine, en 1h, traite 100kg de coques pour produire 20 à 25kg de fibre, et cela avec 186W.h. On a donc entre 7.4 et 9.3 Wh/kg, ou kWh/t.

Enfin d'après l'ADEME<sup>10</sup>, au mixe énergétique indien correspond un FE de 0,912 kgCO<sub>2e</sub>.kWh<sup>-1</sup>.

Ainsi, avec cette machine et ces approximations, on obtient un FE entre 6,7 kgCO<sub>2e</sub>.t<sup>-1</sup> et 10,2 kgCO<sub>2e</sub>.t<sup>-1</sup> **On propose donc le FE de 8.45 kgCO<sub>2e</sub>.t<sup>-1</sup> (±1.75).**

#### v. *Dolomie*

La dolomie est issue d'une roche carbonatée, et nécessite, pour son traitement, une décarbonatation, qui est un processus très émissif, commun notamment avec le ciment ou la chaux.

Le FE de la décarbonatation de la dolomie a été ajouté à la base ADEME en 2014. Il serait donc bon de le mettre à jour, à la valeur 765 kgCO<sub>2e</sub>/t. Ce facteur d'émission est entièrement lié au processus de fabrication et de traitement. Il provient de la base de données du Citepa<sup>11</sup>, et est établi dans le rapport 2011 OMINEA.

Par manque d'informations supplémentaires, il ne serait pas forcément pertinent d'y ajouter un FE d'extraction, fortement incertain, et de cinquante fois inférieur.

**Le FE proposé pour la dolomie est donc de 765 kgCO<sub>2e</sub>.t<sup>-1</sup>.**

#### vi. *Ecorces*

Il est conseillé de lire la partie vi.a.Hortifibre et Turbofibre avant celle-ci pour mieux comprendre.

<sup>7</sup> Centre technique de référence en matière de pollution atmosphérique et de changement climatique

<sup>8</sup> Y. Prashant, \*C. Gopinath, Vignesh Ravichandran Department of Design, M. S. Ramaiah School of Advanced Studies, Bangalore  
[https://www.academia.edu/29225843/DESIGN\\_AND\\_DEVELOPMENT\\_OF\\_COCONUT\\_FIBER\\_EXTRACTION\\_MACHINE](https://www.academia.edu/29225843/DESIGN_AND_DEVELOPMENT_OF_COCONUT_FIBER_EXTRACTION_MACHINE)

<sup>9</sup> [https://www.flysunbaler.com/products/products\\_4/19.html](https://www.flysunbaler.com/products/products_4/19.html)

<sup>10</sup> [https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD\\_DOC\\_FR/index.htm?moyenne\\_par\\_pays.htm](https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?moyenne_par_pays.htm)

<sup>11</sup> Centre technique de référence en matière de pollution atmosphérique et de changement climatique

Pour ce qui est des écorces, le problème est du même type que les Hortifibres et Turbofibres dans la partie suivante, car, bien que les écorces soient un sous-produit, une opération de criblage les attend à l'usine. Ainsi, comme détaillé après, on a le choix entre déduire l'énergie de ce criblage pour consolider le FE des écorces criblées, ou de le laisser tel quel. De la même manière que pour l'Hortifibre et la Turbofibre, on considère la première solution, en comptant l'électricité globale sans en déduire la consommation du criblage, mais on fournit cependant un FE de transformation des écorces. On ne peut pas faire autrement, étant donné que l'on ne connaît pas automatiquement la part des écorces qui est criblée. En effet, on aurait besoin de cette donnée, sur chaque année et chaque site, pour calculer l'énergie qui a été consommée pour les cribler, et la déduire du bilan carbone de l'électricité.

Tableau 5 Calcul du FE de criblage des écorces

Calcul du FE de transformation l'écorce	
Quantité d'électricité (kWh)	73415
FE electricité (kgCO <sub>2</sub> /kWh) Electricité - 2018 - mix moyen - consommation	0,0571
Production d'écorces (t)	15576
<u>FE criblage Ecorces (kgCO<sub>2</sub>/t)</u>	0,27

Ainsi, en tant qu'intrant, on ne prend en compte que le fret amont des écorces qui arrivent à l'usine. L'énergie de criblage est comprise dans le poste Electricité de l'usine. Cependant, quand on considèrera les produits finis, et si l'on veut en faire le bilan carbone, il faudra ajouter la valeur calculée dans le Tableau 1 Postes de la méthode ADEME adaptés à Florentaise Tableau 5 Calcul du FE de criblage des écorces et la valeur de fret amont moyen des écorces. **On classe donc les écorces, intrants, comme des Sous-produits, avec un FE de 0.**

#### a. Hortifibre et Turbofibre

La particularité de ces deux éléments est qu'ils sont produits dans les usines à partir d'autres matières premières. L'Hortifibre est issue de plaquettes de bois, et la Turbofibre d'écorces.

Ainsi, pour compter le bilan carbone d'une quantité produite d'Hortifibre, il faut comptabiliser le bilan carbone des plaquettes de bois, leur acheminement jusqu'à l'usine (fret), et les émissions énergétiques liées aux machines de production. Idem pour la Turbofibre, avec des écorces en entrée.

La comptabilisation du premier point, ainsi que du second, est faite naturellement quand on calcule le bilan carbone des intrants. En effet, comme on enregistre un achat de plaquettes ou d'écorces et leur fret, c'est déjà pris en compte. Le troisième point est moins évident.

Les consommations énergétiques des machines de traitement sont à priori incluses dans la consommation totale de l'usine. On a alors le choix : soit l'on ne considère pas cette distinction, toute la consommation énergétique revient à l'usine, et n'est pas rajoutée au bilan carbone du produit, soit, à l'inverse, on déduit cette consommation de l'usine pour l'attribuer comme un bilan carbone des fibres. Bien sûr, on ne souhaite pas compter cela en double.

Le plus simple serait de ne pas faire la distinction, et de tout comptabiliser comme le poste énergétique du bilan carbone de l'usine, et ce ne serait pas faux macroscopiquement, à l'échelle du périmètre. Cependant, ce qui est intéressant dans un bilan carbone étant l'analyse, on souhaite pouvoir comparer le bilan carbone des fibres issues du bois par rapport à d'autres intrants. Ainsi, il est important que ce

chiffre soit au plus proche de la réalité, et cette première méthode tendrait à minimiser le facteur d'émission de la fibre de bois.

Les deux approches sont présentées dans la Figure 5 Comptabilisation du bilan carbone des fibres de bois transformées par les usines.

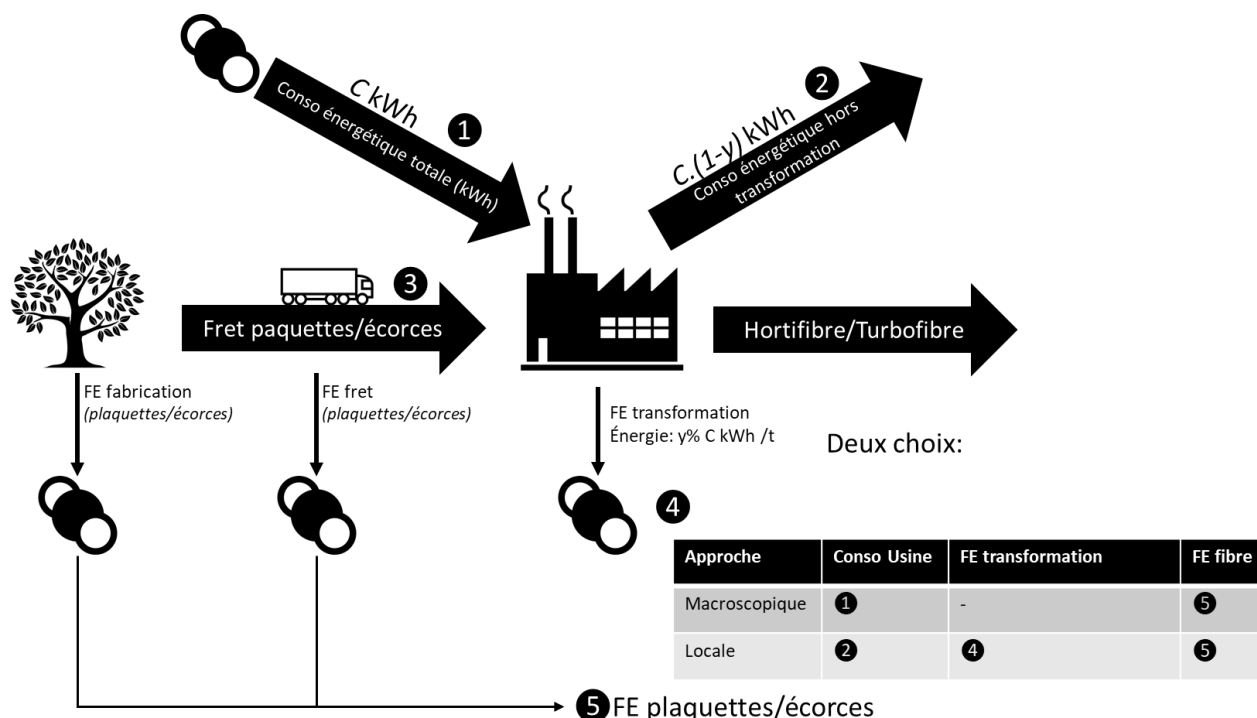


Figure 5 Comptabilisation du bilan carbone des fibres de bois transformées par les usines

En fin de compte, pour le bilan carbone total, cela n'a vraiment pas d'importance, hormis le poste auquel on attribue la consommation d'énergie (①-②). Mais il est important d'avoir une bonne estimation des FE Hortifibre et Turbofibre parce que ceux-là seront nécessaires dans le bilan carbone des produits, et parce que ces matières sont des éléments marketing importants.

Cependant, l'approche macroscopique a pour avantage de ne pas demander plus de recherche de la part de l'opérateur·ice. En effet, pour travailler avec la seconde méthode, il faut connaître les productions en Hortifibre et Turbofibre de chaque usine pour chaque année. Cela demande des opérations supplémentaires pour un résultat peu différent.

On propose donc de statuer sur le fait que :

- Dans le bilan carbone de l'usine, on ne soustrait pas à la part énergétique de l'usine l'énergie dédiée à la transformation de ces produits
- On calcule tout de même de manière rigoureuse, en se basant sur des chiffres de l'usine, les FE de fabrication de l'Hortifibre et de la Turbofibre. Cela servira au bilan carbone des produits. On aura donc  $FE_{Horti} = FE_{plaq-fabrication} + FE_{plaq-fret} + FE_{Horti-transformation}$  et idem pour la Turbofibre et les écorces

La méthode pour calculer ces FE de transformation est présentée dans les tableaux ci-dessous.

On utilise une mesure en usine de la quantité produite, par rapport à la consommation en fuel et en électricité des machines en question. Cependant, une machine, la BIVIS, consommant du fuel, est commune aux deux procédés. Ainsi, on répartit la consommation de fuel au prorata de la production.

On peut choisir entre un pro rata du tonnage ou un pro rata du volume produit, et les masses volumiques étant différentes, le résultat n'est pas le même. En effet, pour une répartition au tonnage, comme utilisée dans le Tableau 6 Calcul des FE de transformation Hortifibre et Turbofibre, on a 63%/37%, alors que pour une répartition des volumes on obtient 88%/12%. Une répartition au tonnage paraît plus adaptée, étant donné que le tonnage en sorti étant proportionnel à celui en entrée (perte d'humidité), et la puissance de la machine est probablement proportionnelle à la charge. Mais l'inverse se défend aussi, et la différence n'est pas très grande.

Tableau 6 Calcul des FE de transformation Hortifibre et Turbofibre

Calcul du FE de l'hortifibre		
Quantité d'électricité (kWh)		786000
Quantité fuel (L)		3148,20794
FE electricité (kgCO <sub>2</sub> /kWh)	Electricité - 2018 - mix moyen - consommation	0,0571
FE fuel (kgCO <sub>2</sub> /l)	Gazole non routier	3,17
Production d'Hortifibre (t)		1950
Densité Hortifibre (t/m <sup>3</sup> )		0,075
Volume correspondant (m <sup>3</sup> )		26000
<b>FE transformation plaquettes-&gt;Hortifibre (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>		<b>28,13</b>
Calcul du FE de la turbofibre		
Quantité d'électricité (kWh)		97919,1919
Quantité fuel (L)		1851,79206
FE electricité (kgCO <sub>2</sub> /kWh)	Electricité - 2018 - mix moyen - consommation	0,0571
FE fuel (kgCO <sub>2</sub> /l)	Gazole non routier	3,17
Production de Turbofibre (t)		1147
Densité Turbofibre (t/m <sup>3</sup> )		0,31
Volume correspondant (m <sup>3</sup> )		3700
<b>FE transformation Ecorces-&gt;Turbofibre(kgCO<sub>2</sub>/t)</b>		<b>9,99</b>
Fuel BIYIS		
Conso totale (L)		5000
Part de production Hortifibre (tonnage)		63%
Part de production Turbofibre (tonnage)		37%
Conso fuel Hortifibre (L)		3148,20794
Conso fuel Turbofibre (L)		1851,79206

On propose donc finalement les FE de transformation suivants :

$$\text{Hortifibre: } FE_{\text{transfo}} = 28.13 \frac{\text{kgCO}_{2e}}{t}$$

$$\text{Turbofibre: } FE_{\text{transfo}} = 9.99 \frac{\text{kgCO}_{2e}}{t}$$

*Note : Il ne devrait pas y avoir d'Hortifibre ou de Turbofibre dans la liste des intrants, car à priori tout est produit dans le périmètre. Cependant, dans le cas où ça ne le serait pas, on laisse dans la liste des familles et FE ces deux éléments. Les FE mis dans les familles sont donc la somme des nombres ci-dessus avec les FE fret et fabrication des plaquettes et écorces. Cependant, le FE du fret amont dépend de chaque usine, et il serait trop fastidieux de le prendre individuellement. **Le fret intermédiaire, dans ce cas, n'est pas pris en compte ici.** En effet, étant un interdépot, il l'est dans la partie Fret aval.*

Le FE de fabrication des plaquettes, étant un Sous-produit, est nul (cf partie ix).

Le FE de fabrication, qui se pose à un problème similaire que dans cette partie, est explicité dans la partie précédente (Ecorces, p 12). La conclusion de cette partie est qu'en tant qu'intrant, les écorces

sont un sous-produit, donc à FE nul, qui subit un criblage émissif de 0.27 kgCO<sub>2e</sub>/t. Il faut donc ajouter cela au FE de transformation de la Turbofibre lorsque l'on considère un bilan carbone par produit.

#### vii. Pouzzolane

Le FE de la Pouzzolane était jusque-là le FE d'extraction par défaut. C'est une roche basaltique qui fait l'objet d'une ACV<sup>12</sup> dans la base de données de l'INIES, proposée par les Ministères de la Transition Ecologique et en Charge du Logement, dont l'élément fonctionnel est 1kg de Pouzzolane.

Dans le résumé de l'ACV, il est sous-entendu que la donnée principale est assimilée à du basalte, et émet à l'extraction 0,321 kgCO<sub>2e</sub>, dont un coefficient de sécurité de 30%.

**Ainsi, on propose le FE de 247 kgCO<sub>2e</sub>/t pour la pouzzolane.**

#### viii. Sable, grave

On propose d'attribuer au sable et gravier un même FE calculé à partir d'une ACV de la base INIES. L'élément fonctionnel étudié est un mètre cube de « Gravier tout venant ». Les émissions à la production sont de 14.6 kgCO<sub>2e</sub> pour l'élément (dont un coefficient de sécurité de 30%), et, avec la masse volumique d'un gravier moyen, on déduit un facteur d'émission.

Calcul du FE du gravier	
Elément: mètre cube de gravier	
BC de l'élément (kgCO <sub>2e</sub> )	11,231
Masse volumique du gravier (t/m <sup>3</sup> )	1,6
Masse de l'élément (t)	1,6
BC par tonne (kgCO <sub>2</sub> /t)	7,0192
<b>FE fabrication gravier (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>7,02</b>

Figure 6 Calcul du FE du gravier

**Le FE proposé pour les graviers et sables est donc de 7.02 kgCO<sub>2e</sub>/t.**

#### ix. Sous-produit

Comme recommandé par les guides de calcul des bilans carbone de l'ADEME et de GME<sup>13</sup>, un **facteur d'émission de production nul** est appliqué aux éléments qui sont des déchets d'autres industries. Cependant, leur fret amont est bien calculé.

#### x. Terre de Bruyère

La Terre de Bruyère est un sol acide issu de la décomposition de matière organique peu active, plus souvent de la Bruyère.

La Terre dite de Bruyère n'est, elle, pas issue de la décomposition de bruyères mais sa composition s'en approche, mais est également plus proche de la tourbe, si bien que les deux sont parfois mélangées.

Ainsi, il est compliqué de placer un FE sur une telle diversité. En revanche elle semble composée de carbone plus jeune et stable que de la tourbe, et son extraction ne requiert pas d'asséchage de terrain, élément particulièrement émissif dans le cas de la tourbe. C'est pourquoi on ne peut pas lui attribuer un FE d'une tourbe très légère.

<sup>12</sup> Analyse du Cycle de Vie

<sup>13</sup> Growing Media Europe



Comme l'a fait ESPERE dans le calcul initial, **on attribue donc à la Terre de Bruyère et à la Terre dite de Bruyère un FE d'extraction par défaut.**

*xi. Terre et argile*

L'argile est pris à part pour un facteur d'émission spécifique, voir 0.a.Argile.

On prend pour la terre un FE d'extraction par défaut.

*xii. Terre végétale*

De même que pour la Terre dite de Bruyère on attribue à la terre végétale un FE d'extraction par défaut.

*xiii. Compost*

Comme l'explique l'ADEME dans la fiche technique dédiée au compostage<sup>14</sup>, le compost est un procédé de décomposition aérobie, principalement dédié à l'agriculture. Etant aérobie, le gaz qui peut être produit à la décomposition est du dioxyde de carbone, que l'on peut donc voir comme étant relargué après sa captation lors de la croissance de la plante compostée. Concernant des déchets alimentaires ou verts, la durée de vie des plantes compostées est très faible, ainsi on ne compte ni séquestration de carbone, ni relargage lors de la décomposition.

Ainsi, le seul élément à comptabiliser pour le compost est le fret pour l'acheminer jusqu'au site de Florentaise. **On classe le compost avec un FE de production nul, comme un autre sous-produit.**

*xiv. Perlite/billes d'argile*

On propose de créer de nouvelles catégories pour distinguer les deux intrants, pour lesquels on ne trouve pas tout à fait le même FE.

**Pour la perlite**, une fiche de la base de données INIES porte sur l'élément fonctionnel « Perlite expansée en vrac : 50 kg ». L'étape de production de cet élément est notée comme ayant un potentiel de réchauffement global de 102 kgCO<sub>2e</sub>, avec une marge ajoutée de 30% et un emballage de palette classique.

Ainsi, ramenée à la tonne comme montré dans le , on obtient 1396kgCO<sub>2e</sub>/t.

Tableau 7 Méthode de calcul du FE de la perlite expansée

Calcul du FE de la perlite 1	
BC par élément (kgCO <sub>2e</sub> /element)	102
Masse (kg)	50
Coeff	30%
%age de masse en emballage	5%
Bois	50%
PEBD	25%
Carton	25%
BC emballage par element (kgCO <sub>2e</sub> )	1,59588
<b>FE fabrication perlite (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>1396,08</b>

Cependant, il existe une fiche technique sur la base INIES concernant de la perlite non expansée. Celle-ci est utilisée dans le cadre d'une isolation thermique. L'élément fonctionnel est un mètre carré de cloison assurant une isolation thermique de résistance  $5 \text{ m}^2.K.W^{-1}$ . On trouve par ailleurs les données suivantes, dans une fiche données faite par (ADEME, ARPE, Region Midi-Pyrénées, 2010) :

<sup>14</sup> Compostage (Le), ADEME, Collection : Expertises, novembre 2015 - 20 p <https://www.ademe.fr/compostage>

Tableau 8 Propriétés de la perlite, vermiculite, argile expansée et béton allégé

<b>Présentations :</b> Granulats de dimensions diverses, de 1 à 8 mm pour la perlite et la vermiculite, jusqu'à 20 mm pour l'argile expansée, en vrac ou en sacs. Préparations pour béton allégés en sacs.				
(Valeurs moyennes)	<b>Perlite vrac</b>	<b>Vermiculite vrac</b>	<b>Argile expansée vrac</b>	<b>Béton allégé</b>
<b>Masse volumique</b>	$\rho = 150 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 110 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 150 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 600 \text{ kg/m}^3$
<b>Propriétés thermiques</b>				
<b>Chaleur spécifique</b>	$c = 1000 \text{ J/kg.K}$	$c = 900 \text{ J/kg.K}$	$c = 1100 \text{ J/kg.K}$	$c = 1100 \text{ J/kg.K}$
<b>Conductivité thermique</b>	$\lambda = 0,080 \text{ W/m.K}$	$\lambda = 0,060 \text{ W/m.K}$	$\lambda = 0,10 \text{ W/m.K}$	$\lambda = 0,27 \text{ W/m.K}$
<b>Epaisseur</b>	$e = 0,20 \text{ m}$	$e = 0,20 \text{ m}$	$e = 0,20 \text{ m}$	$e = 0,20 \text{ m}$
<b>Résistance thermique</b>	$R = 2,50 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$R = 3,33 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$R = 2,00 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$R = 0,74 \text{ m}^2.\text{K/W}$
<b>Capacité thermique surfacique</b>	$30 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$	$19,8 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$	$33 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$	$132 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$
<b>Effusivité thermique</b>	$1,83 \text{ W.h}^{1/2}/\text{m}^2.\text{K}$	$1,28 \text{ W.h}^{1/2}/\text{m}^2.\text{K}$	$2,14 \text{ W.h}^{1/2}/\text{m}^2.\text{K}$	$7,04 \text{ W.h}^{1/2}/\text{m}^2.\text{K}$
<b>Diffusivité thermique</b>	$5.10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$	$6.10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$	$6.10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$	$4.10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
<b>Déphasage thermique</b>	$6,3 \text{ h}$	$6 \text{ h}$	$6 \text{ h}$	$7,2 \text{ h}$
<b>Résistance à la diffusion de vapeur d'eau</b>				
	$1 < \mu < 5$	$3 < \mu < 4$	$3 < \mu < 4$	$10 < \mu < 15$

Ainsi, avec les propriété thermique de la cloison<sup>15</sup> et la masse volumique de la perlite, on obtient le Tableau 9 Calcul du FE de la perlite.

Tableau 9 Calcul du FE de la perlite

Calcul du FE de la perlite 2	
BC par élément (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	8,83
Résistance thermique élément (m <sup>2</sup> .K/W)	5
Conductivité thermique perlite (W/m.K)	0,08
Masse volumique (t/m <sup>3</sup> )	0,15
Epaisseur de l'élément (m)	0,4
Volume de l'élément (m <sup>3</sup> )	0,4
Masse de l'élément (tonne)	0,06
BC par tonne (kgeCO <sub>2</sub> /t)	147,17
<b>FE fabrication perlite (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>147,17</b>

### Pour les billes d'argile expansées

On procède de la même manière que pour la perlite expansée avec l'élément de la base INIES *Billes d'argile expansées*.

<sup>15</sup> En sachant que  $Résistance_{thermique} = \frac{épaisseur}{conductivité}$ , avec les unités adéquates, on obtient l'épaisseur, et ayant la surface on a le volume, puis la masse volumique permet de déduire la masse de l'élément.

Calcul du FE des billes d'argile expansées	
BC par élément (kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> )	23,8
Résistance thermique élément (m <sup>2</sup> .K/W)	5
Conductivité thermique perlite (W/m.K)	0,1
Masse volumique (t/m <sup>3</sup> )	0,15
Epaisseur de l'élément (m)	0,5
Volume de l'élément (m <sup>3</sup> )	0,5
Masse de l'élément (tonne)	0,075
BC par tonne (kgCO <sub>2</sub> /t)	317,94872
<b>FE fabrication billes d'argile expansées (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>317,95</b>

Figure 7 Calcul du FE des billes d'argile expansées

On peut utiliser une autre méthode qui partirait de l'énergie grise de la production de billes d'argile expansées. D'après le site [Ooreka](https://isolation.ooreka.fr/comprendre/argile-expansée)<sup>16</sup>, l'énergie grise de la production de BAE, est de 300kWh/m<sup>3</sup>. En prenant le FE du mixe énergétique électrique français moyen (0.0785 kgCO<sub>2e</sub>/kWh), ainsi que la densité (0.15t/m<sup>3</sup>), on obtient 157 kgCO<sub>2e</sub>/t. Avec le mixe énergétique européen (0.42 kgCO<sub>2e</sub>/kWh), on obtient la valeur de 840 kgCO<sub>2e</sub>/t.

On voit ici que la conversion entre énergie grise et bilan carbone n'est pas immédiate et est sensible à de très nombreux paramètres. On choisit donc de conserver la première approche de l'ACV, et donc la **valeur de 317.895 kgCO<sub>2e</sub>/t**.

#### xv. Cacao vrac

Le cacao vrac consiste en des plaquettes de coques de cacao. Les coques de cacao sont un sous-produit de l'industrie, mais elles sont criblées. Pour cela on leur attribue le même FE que le criblage des écorces, **soit 0.27 kgCO<sub>2e</sub>/t**. Cela est de toute façon très négligeable devant le fret amont de cette matière première.

#### xvi. Terreau divers

Il ne devrait pas y avoir de telle catégorie puisque les terreaux ne sont pas une matière première. On la conserve cependant en mettant à jour le facteur d'émissions pour éviter les problèmes si du terreau arrive en entrée.

Pour le facteur d'émission, ce n'est pas une chose aisée car une fois n'est pas coutume, cela varie beaucoup d'un terreau à l'autre.

L'outil Calculatrice de bilan carbone des produits permet cependant de prendre un terreau universel, et de calculer son bilan carbone, comme montré ci-dessous dans la Figure 8.

<sup>16</sup> <https://isolation.ooreka.fr/comprendre/argile-expansée>

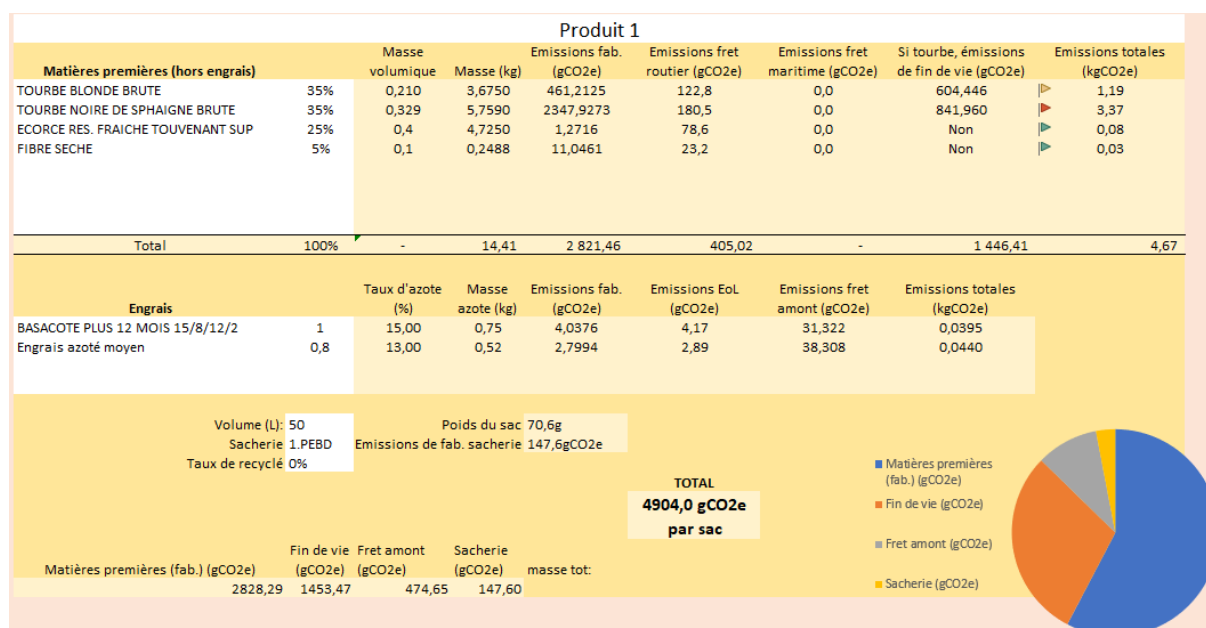


Figure 8 Bilan carbone d'un terreau moyen

Le total de la masse est de 14,41kg et celui des émissions de GES de 4,9 kgCO<sub>2</sub>e. **On calcule de là un facteur d'émission de 340kgCO<sub>2</sub>e/t.**

#### xvii. Amendements non azotés

Il est réellement difficile de placer une valeur sur une catégorie aussi diverse, contenant des sulfates, des pesticides, des hydro-rétenteurs, etc. On trouve pour information dans la méthodologie de l'outil Carbon Calculator de SOLAGRO le paragraphe suivant :

#### 2.3.3 Pesticides ( $EF_{\text{pesticide}}$ )

Processing and transportation of pesticides are not a major source of GHG. Data is scarce and most of the references base their calculations on the publication of Green (1987). Data used in the Carbon Calculator are provided by the manual and derived from Green (1987) (Table 31). EF factors include production, transportation, storage and transfer to the farm.

Table 31: Emission factors for pesticides

	$EF_{\text{pesticide}}$ (kg CO <sub>2</sub> e/kg active substances)
Herbicides	8.985
Insecticides	25.134
Fungicides	6.009

Source: ACCT, Guide des valeurs Dia'terre ®, 2012.

GESTIM, 2010. Arvalis based on Green M., 1987. Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In B.A. Stout and M.S. Mudahar (Editors), Energy in plant nutrition and pest control. P 165-177.

Figure 9 Extrait de la méthodologie SOLAGRO sur les pesticides

On donne à cette catégorie une valeur d'extraction par défaut (cf. FE d'extraction par défaut).

*xviii. A définir, produit naturel, non présent dans la base ADEME*

On donne temporairement pour ces intrants une valeur nulle. Si une meilleure estimation est disponible, l'ajouter à la liste des familles de bilans carbone. Sinon, on considère que le facteur d'émission de fabrication est négligeable devant les émissions attachées au fret pour cette matière première.

*xix. FE d'extraction par défaut*

L'idée de proposer un facteur d'émission par défaut n'est pas mauvaise, et elle peut être utile dans le cas où un nouvel élément dont l'impact est inconnu apparaît dans les processus. Cependant, le chiffre de 14.8 kgCO<sub>2e</sub>/t donné depuis 2009 par ESPERE n'est pas sourcé, et il serait bon de le revoir.

La Base Bilan GES de l'ADEME propose désormais un facteur d'émission de l'extraction d'un minéral « Granulats – Sortie de Carrière ». Il a la **valeur de de 4kgCO<sub>2e</sub>/t**.

*b. Tourbe, extraction & fin de vie*

*i. Extraction*

Un document à part entière a été rédigé pour discuter de l'interminable sujet de la tourbe, et il est bien entendu recommandé de s'y référer pour davantage de détails. Cette étude amorce un état de l'art des publications scientifiques qui se sont penchées sur le bilan carbone de la récolte de la tourbe. Elle parcourt les recommandations du GIEC, la méthode du bilan carbone précédent, ainsi que d'autres sources :

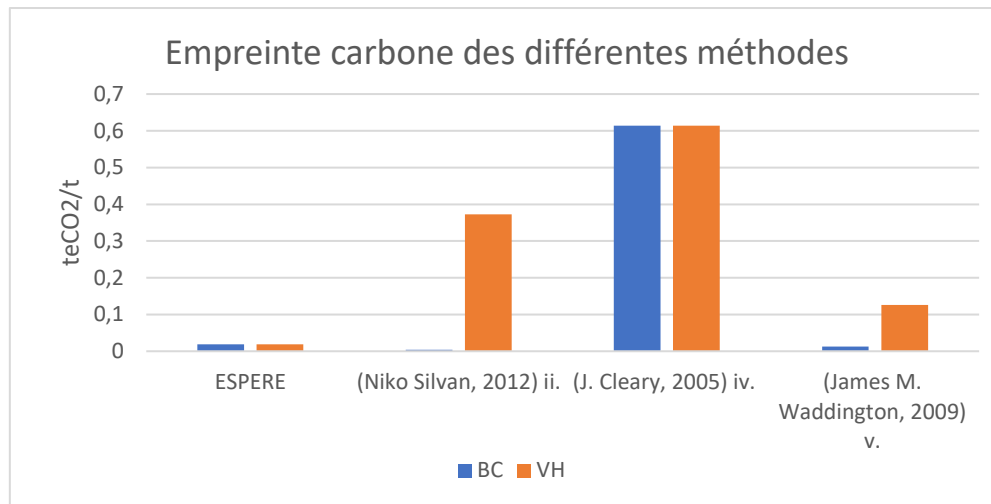
- Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy (Couwenberg, 2011)
- Excavation-drier method of energy-peat extraction reduces long-term climatic impact (Niko Silvan, 2012)
- Environmental inventory modelling of the use of compost and peat in growth media preparation (Boldrin, Hartling, Laugen, & Christensen, 2010)
- Greenhouse Gas Emissions from Canadian Peat Extraction, 1990–2000: A Life-cycle Analysis (J. Cleary, 2005)
- Reducing the Carbon Footprint of Canadian Peat Extraction and Restoration (James M. Waddington, 2009)

De chaque étude on peut tirer un facteur d'émission, reste à savoir vers lequel pencher. Pour des raisons expliquées dans le document, le troisième article n'est pas utilisé pour la suite.

Le but est d'estimer les émissions dues aux différentes étapes du cycle de vie de la tourbe :

- Préparation de la tourbière
- Extraction
- Séchage, ou stockpiling

Chacun de ces postes peut varier selon la méthode d'extraction utilisée, et selon le type de tourbe (blonde, brune ou noire) extraite. Les résultats dont chaque étude fait état sont les suivants montrés dans le graphe ci-dessous.



### Introduction :

L'exploitation de la tourbe, qui est une ressource fossile issue de la décomposition de matière organique, est destinée à fournir notamment les secteurs de l'horticulture et de l'énergie. Son cycle de vie est émetteur de gaz à effets de serre (GES) sous plusieurs aspects :

- La préparation de la tourbière : son assèchement, en creusant des fossés d'évacuation ou par pompage, qui expose la tourbe à l'oxydation au contact de l'air, relarguant ainsi le carbone séquestré
- La récolte : l'action des engins mécaniques, l'oxydation de la tourbe exposée
- Le stockpiling ou la phase de séchage à l'air libre, où du carbone est encore relargué
- Son acheminement, ou fret, vers le marché
- La fin de vie de la tourbe : incinération dans le cas du secteur énergie, et décomposition de la part d'humus instable dans l'horticulture

On prend ici une approche en cradle-to-gate, c'est-à-dire comprenant uniquement les trois premières étapes.

On se base sur deux publications principales :

- GIEC IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (Vol. 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use). Récupéré sur [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_07\\_Ch7\\_Wetlands.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_07_Ch7_Wetlands.pdf) (inchangée par la publication 2019)
- Niko Silvan, K. S. (2012). Excavation-drier method of energy-peat extraction reduces long-term climatic impact. *Boreal Environment Research*, 263-276.: <https://core.ac.uk/reader/146448874>

La première, le rapport du GIEC, propose un ordre de différence entre deux tourbes, une riche et une pauvre en nutriments (Table 7.4, page 13), basée sur les études (Laine and Minkinen, 1996; Alm et al., 1999; Laine et al., 1996; Minkinen et al., 2002). Ces données sont valables dans le cadre de l'étude, puisque concernant les forêts boréales et non tropicales.

TABLE 7.4 EMISSION FACTORS FOR CO <sub>2</sub> -C AND ASSOCIATED UNCERTAINTY FOR LANDS MANAGED FOR PEAT EXTRACTION, BY CLIMATE ZONE			
Climate zone	Emission factor (tonnes C ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Uncertainty <sup>a</sup> (tonnes C ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Reference/Comment <sup>b</sup>
<b>Boreal and Temperate</b>			
Nutrient – Poor EF <sub>CO<sub>2</sub>peatPoor</sub>	0.2	0 to 0.63	Laine and Minkkinen, 1996; Alm <i>et al.</i> , 1999; Laine <i>et al.</i> , 1996; Minkkinen <i>et al.</i> , 2002
Nutrient – Rich EF <sub>CO<sub>2</sub>peatRich</sub>	1.1	0.03 to 2.9	Laine <i>et al.</i> , 1996; LUSTRA, 2002; Minkkinen <i>et al.</i> , 2002; Sundh <i>et al.</i> , 2000

Figure 10 Différence de FE d'extraction entre une tourbe riche et une tourbe pauvre (GIEC)

Un autre résultat intéressant est celui de l'étude de (Niko Silvan, K. S. (2012)), qui s'intéresse aux émissions liées à l'extraction de la tourbe selon plusieurs méthodes d'extraction, entre *bloc cut* (aussi appelée *Milling Method*), la méthode traditionnelle, et *vacuum harvest* (aussi appelée *excavation-drier*), plus moderne. On abrègera en MM et EM pour la suite.

La méthode MM consiste à assécher la tourbière en creusant des tranchées d'évacuation, puis à enlever la végétation, et à découper des blocs de tourbe, laissés à sécher au soleil et au vent.

La méthode EM est plus moderne, permettant de conserver la végétation jusqu'au moment de l'extraction, qui se fait avec une pompe à haute puissance. La tourbe aspirée est ensuite acheminée vers une surface de séchage asphaltée ou naturelle, appelée *biomass drier*. Le temps de séchage pour cette méthode est bien plus court, de l'ordre de un ou deux jours contre une semaine pour la première.

On notera qu'il existe d'autres méthode de récolte plus anecdotiques. Par exemple, certaines tourbières françaises étaient extraites d'une manière similaire à la méthode MM, mais avec la toubière encore inondée, par une pelle mécanique flottante.

Pour revenir sur l'étude, elle a analysé l'activité de trois sites d'extraction en Finlande en 2006-2007 où les deux méthodes sont utilisées. Les résultats sont groupés dans le Tableau 10 Résultats de l'étude de Niko Silvan, K. S. (2012). *Excavation-drier method of energy-peat extraction reduces long-term climatic impact*. On peut ainsi extraire d'un côté les émissions dues à chaque méthode, en méthane, dioxyde de carbone et protoxyde d'azote. On obtient alors le Tableau 11 Emissions des deux méthodes sur les trois sites étudiés, en moyennant les émissions sur les trois sites pour chaque poste.

On rappelle pour la suite que les PRG respectifs du méthane, dioxyde de carbone et protoxyde d'azote, d'après la dernière mise à jour du GIEC, sont 28, 1 et 265. Avec les PRG<sub>100</sub>, on unie les trois colonnes pour exprimer les émissions en *kgCO<sub>2eq</sub>*, ce qui donne le Tableau 12 Emissions de GES de chaque méthode, lorsque l'on y adjoint la productivité par méthode. Ce chiffre provient de (Cleary *et al.*, 2005)<sup>17</sup> et est réutilisé dans le document du GIEC dont on fait mention plus haut, à défaut de davantage d'information sur la productivité des sites pendant la période.

On obtient ainsi un chiffre des émissions pour chaque méthode liées à l'extraction d'une masse de tourbe donnée en *craddle-to-gates*.

On aboutit donc à

<sup>17</sup> Cleary, J., Roulet, N.T. and Moore, T.R. (2005). Greenhouse gas emissions from Canadian peat extraction, 1990-2000: A life-cycle analysis. *Ambio*34(6):456-461

$$FE_{EM} = 4.04 \text{ kgCO}_{2e}/t$$

$$FE_{MM} = 372.6 \text{ kgCO}_{2e}/t$$

Cela est cohérent avec la conclusion de l'article ; l'impact climatique de la méthode *Excavation Drier* est sensiblement plus faible que l'impact de la *Milling Method*.

Tableau 10 Résultats de l'étude de Niko Silvan, K. S. (2012). *Excavation-drier method of energy-peat extraction reduces long-term climatic impact.*

**Table 4.** Annual mean  $\pm$  SE GHG fluxes at the three study sites during 2006–2007. Annual CO<sub>2</sub>-C effluxes for peat extraction areas excluding stockpiles and biomass drier are the sums of seasonal and winter fluxes. MM = milling method, NM = excavation-drier method.

	CO <sub>2</sub> -C (g m <sup>-2</sup> )	CH <sub>4</sub> (mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	N <sub>2</sub> O (μg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )
<b>Isosuo</b>			
Extraction reserve	413 $\pm$ 34	21.9 $\pm$ 6.6	600 $\pm$ 114
EM field	121 $\pm$ 9	2.0 $\pm$ 1.0	214 $\pm$ 77
MM field	188 $\pm$ 16	7.1 $\pm$ 2.8	474 $\pm$ 96
MM stockpile	3234 $\pm$ 362	5.5 $\pm$ 1.0	873 $\pm$ 201
EM stockpile	115 $\pm$ 13	0.6 $\pm$ 0.3	185 $\pm$ 33
Biomass drier	72 $\pm$ 7	0.8 $\pm$ 0.2	238 $\pm$ 49
<b>Aitoneva</b>			
Extraction reserve	240 $\pm$ 33	4.2 $\pm$ 0.7	4845 $\pm$ 801
EM field	83 $\pm$ 6	1.7 $\pm$ 0.5	512 $\pm$ 114
MM field	123 $\pm$ 12	6.4 $\pm$ 2.2	504 $\pm$ 87
MM stockpile	2985 $\pm$ 254	21.6 $\pm$ 6.6	1104 $\pm$ 217
EM stockpile	244 $\pm$ 27	0.8 $\pm$ 0.1	324 $\pm$ 92
Biomass drier	49 $\pm$ 6	0.6 $\pm$ 0.2	635 $\pm$ 103
<b>Kortessuo</b>			
Extraction reserve	565 $\pm$ 39	36.3 $\pm$ 9.3	666 $\pm$ 69
EM field	78 $\pm$ 8	1.0 $\pm$ 0.9	317 $\pm$ 58
MM field	182 $\pm$ 17	4.7 $\pm$ 2.7	746 $\pm$ 179
MM stockpile	2796 $\pm$ 256	3.9 $\pm$ 1.3	975 $\pm$ 195
EM stockpile	164 $\pm$ 16	0.8 $\pm$ 0.2	244 $\pm$ 31
Biomass drier	58 $\pm$ 5	0.9 $\pm$ 0.2	333 $\pm$ 52

Tableau 11 Emissions des deux méthodes sur les trois sites étudiés

Emissions		CO <sub>2</sub> (kg/ha)				CH <sub>4</sub> (kg/ha/d)				N <sub>2</sub> O (kg/ha/d)			
		Site 1	Site 2	Site 3	Moy.	Site 1	Site 2	Site 3	Moy.	Site 1	Site 2	Site 3	Moy.
Commun	Réserve	1116,2	648,6	1527,0	1097,3	0,2190	0,0420	0,3630	0,2080	0,0060	0,0485	0,0067	0,0204
	Séchoir biomasse	720,0	490,0	580,0	596,7	0,0080	0,0060	0,0090	0,0077	0,0024	0,0064	0,0033	0,0040
MM	Champs récolte	1880,0	1230,0	1820,0	1643,3	0,0710	0,0640	0,0470	0,0607	0,0047	0,0050	0,0075	0,0057
	Stockpile	32340,0	29850,0	27960,0	30050,0	0,0550	0,2160	0,0390	0,1033	0,0087	0,0110	0,0098	0,0098
EM	Champs récolte	1210,0	830,0	780,0	940,0	0,0200	0,0170	0,0100	0,0157	0,0021	0,0051	0,0032	0,0035
	Stockpile	1150,0	2440,0	1640,0	1743,3	0,0060	0,0080	0,0080	0,0073	0,0019	0,0032	0,0024	0,0025

Tableau 12 Emissions de GES de chaque méthode

	Commun (tCO <sub>2</sub> /ha/an)	Champs (tCO <sub>2</sub> /ha/an)	Stockpile (tCO <sub>2</sub> /ha/an)	Total (tCO <sub>2</sub> /ha)	Production (t/an/ha)	Emissions GES (tCO <sub>2</sub> /t <sub>peat</sub> )
--	-------------------------------------	-------------------------------------	--	---------------------------------	-------------------------	---



<b>MM</b>	3,98	2,23	31,05	<b>37,26</b>	100	0,3726
<b>EM</b>	3,98	1,19	1,90	<b>7,07</b>	1750	0,00404

Cependant, il est plus utile, du côté du/de la consommateur·ice, ou du fabricant de terreau, de distinguer selon le type de tourbe, sa richesse, que selon son mode d'extraction, car ce dernier n'est pas forcément connu.

Aux vues de l'origine des émissions prises en compte dans l'étude, on peut dire que les émissions sont proportionnelles à l'âge de la tourbe, c'est-à-dire à son contenu carbone. Une tourbe noire, plus ancienne, est plus profonde à extraire, ce qui résulte à des émissions des machines plus grandes. Pour les émissions dues à l'oxydation du carbone, elles y sont également proportionnelles. Ainsi, en reprenant le taux issu de la Figure 10 Différence de FE d'extraction entre une tourbe riche et une tourbe pauvre (GIEC), et en interpolant une valeur pour la tourbe brune, située à la moyenne entre tourbe blonde et tourbe noire, on a :

Tourbe Horticole Blonde:  $114.6 \text{ kgCO}_{2e} \cdot t^{-1}$   
 Tourbe Horticole Brune:  $372.6 \text{ kgCO}_{2e} \cdot t^{-1}$   
 Tourbe Horticole Noire:  $630.5 \text{ kgCO}_{2e} \cdot t^{-1}$

### Consolidation des résultats:

On peut vérifier ces ordres de grandeur par une étude plus globale, comme celle de J. Cleary, N. T. (2005) : Greenhouse Gas Emissions from Canadian Peat Extraction, 1990–2000: A Lifecycle analysis (*BioOne*, 456-461), une analyse du cycle de vie étalée sur la production de tourbe dans les forêts boréales canadiennes sur dix ans. Le résultat de l'étude est montré dans le Tableau 13 Résultat de l'étude de J. Cleary (2005). L'étude finit en précisant que l'industrie canadienne a produit approximativement 1300 kt de tourbe.

Tableau 13 Résultat de l'étude de J. Cleary (2005)

	Land use & change	Extraction & processing	Transport to market	Decomposition	Total ktCO <sub>2e</sub>
<b>1990</b>	73,7	21,7	53,1	392,1	540,6
<b>1991</b>	88,5	24,6	57,3	408,6	579
<b>1992</b>	77,9	22,7	60,4	431,4	592,3
<b>1993</b>	92,1	24,5	70,2	447,1	633,8
<b>1994</b>	102,6	30,4	77	468,7	678,8
<b>1995</b>	94,8	37,6	74,2	494,1	700,6
<b>1996</b>	98,5	33,5	74,4	513,6	720
<b>1997</b>	115,2	31,9	79	533,3	759,3
<b>1998</b>	123	36,5	82,1	559,8	802,2
<b>1999</b>	131,3	36,2	82,2	588,5	838,2
<b>2000</b>	143,1	36,6	95	618,6	893,3

Ainsi, on peut prendre le total de l'an 2000, en y soustrayant la colonne « Transport to market » pour n'avoir que la partie *cradle-to-gate* pour obtenir  $\frac{798.3}{1.300} = 614 \text{ kgCO}_{2e}/t$ . Cela est bien de l'ordre de grandeur d'une tourbe riche calculé par l'étude précédente.

Une autre étude, Reducing the Carbon Footprint of Canadian Peat Extraction and Restoration (James M. Waddington, 2009), est exploitable pour obtenir des facteurs d'émission. Celle-ci a

	BC	VH	AT
Emissions	(t CO <sub>2</sub> -e 75 ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )		
<b>Trench construction</b>			
CO <sub>2</sub>	4.4E-02	2.2E-02	6.5E-04
CH <sub>4</sub>	1.6E-06	7.9E-02	5.5E-07
<b>Total</b>	<b>4.4E-02</b>	<b>2.2E-02</b>	<b>6.7E-04</b>
<b>Ditch emissions</b>			
CO <sub>2</sub>	93	36	3
CH <sub>4</sub>	33	13	1
<b>Total</b>	<b>854</b>	<b>337</b>	<b>26</b>
<b>Extracted peatland emissions</b>			
CO <sub>2</sub>	765	185	—
CH <sub>4</sub>	31	-0.2	—
<b>Total</b>	<b>796</b>	<b>185</b>	<b>0</b>
<b>Stockpile</b>			
CO <sub>2</sub>	—	—	—
CH <sub>4</sub>	—	—	—
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>196</b>	<b>15</b>
<b>Processing</b>			
CO <sub>2</sub>	—	—	—
CH <sub>4</sub>	—	—	—
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>225</b>	<b>2.2E-01</b>
<b>Annual peat yield</b>	<b>1750 t ha<sup>-1</sup></b> (Cleary et al. [5])	<b>100 t ha<sup>-1</sup></b> (Cleary et al. [5])	<b>3.6×10<sup>6</sup> ft<sup>3</sup> y<sup>-1</sup></b> (Questionnaire)

En faisant les totaux pour chaque méthode, on obtient le tableau suivant :

Postes d'émission (tCO <sub>2</sub> e/75ha/an)	BC	VH	AT
<b>Trench construction</b>	0,044	0,022	0,00067
<b>Ditch Emissions</b>	854	337	26
<b>Extracted peatland emissions</b>	796	185	0
<b>Stockpile</b>	10	196	15
<b>Processing</b>	11	225	0,22
<b>Total (tCO<sub>2</sub>e/75ha/an)</b>	<b>1671,044</b>	<b>943,022</b>	<b>41,22067</b>
<b>Production (t/75ha/an)</b>	<b>131250</b>	<b>7500</b>	<b>160352</b>
<b>FE (kgCO<sub>2</sub>e/t)</b>	<b>12,7</b>	<b>125,7</b>	<b>0,257</b>

On obtient ici des facteurs d'émissions qui sont plus proches de la valeur basse, pour de la tourbe blonde obtenus précédemment.

ii. *Fin de vie (EoL)*

La décomposition de la tourbe concerne une partie du carbone qu'elle contient seulement. On traite ici de l'oxydation du carbone, donc il s'associe avec l'oxygène pour donner du CO<sub>2</sub>, ainsi pour une masse de carbone, on aura 3,7 masses de dioxyde de carbone.

Pour déterminer la part de carbone qui se décompose, on a, d'après le GIEC<sup>18</sup> :

$$\text{Contenu C d'une tourbe pauvre en nutriments} = 450 \text{ kgC} \cdot \text{t}^{-1}$$

$$\text{Contenu C d'une tourbe riche en nutriments} = 400 \text{ kgC} \cdot \text{t}^{-1}$$

Ainsi on assimile le premier au contenu d'une tourbe blonde, le second à une tourbe noire, et on interpole pour une tourbe brune à  $425 \text{ kgC} \cdot \text{t}^{-1}$ .

<sup>18</sup> IPCC 2006 – Guidelines - AFOLU

Il s'agit là du contenu sur une tonne de tourbe sèche, que l'on peut relier à la tonne de tourbe humide avec le facteur 55%.

Dans ce contenu carbone, il y a une part instable qui s'oxyde rapidement, qui représente 10% de la tourbe, et une part plus stable qui se décompose à raison de 2% par an. Ainsi, sur une tonne de cette part instable, en cent ans, 867kg se seront décomposés soit 87%.

Pour résumer, 10% du carbone est libéré dans l'année de l'utilisation (part instable), et 2% des 90% restants (part instable) se décomposent également dans l'année.

Cependant, pour la part instable, comment compter cela comme un amortissement ? Il serait excessivement complexe de comptabiliser dans le calcul la quantité de tourbe utilisée dans les cent années précédentes. De plus, comme l'objectif est une réduction de l'utilisation de la tourbe, cela ne ferait que rajouter une inertie très importante au bilan carbone. Même si, dans les faits, la tourbe vendue par Florentaise depuis des dizaines d'années émet toujours, il n'est pas intéressant de compter la tourbe passée. Car pire, puisque l'entreprise n'a pas cent ans, les émissions, avec l'amortissement, continueraient d'augmenter au fil des ans (car on prendrait en compte de plus en plus de tourbe vendue sur cent ans), quand bien même on diminuerait la part de tourbe dans les activités.

Ainsi on a quatre possibilités pour cette tourbe instable :

- Ne pas considérer du tout cette part d'humus instable, comme ESPERE en a fait l'hypothèse en 2009 pour le bilan carbone initial
- Ne considérer que les 2% qui se décomposent dans l'année de calcul de bilan carbone, sans amortir les 98% restants
- Considérer l'année du bilan carbone comme responsable de 100% de cette décomposition. Cela est irréaliste, car cette quantité n'est pas libérée instantanément, mais, au total, c'est ce qu'il y a de plus proche
- Prendre une solution à mi-chemin entre les deux précédentes. Par exemple, considérer que 100% de la part instable qui se décomposera dans les dix prochaines années est à attribuer à l'année de calcul. En dix ans, c'est 18% de l'humus stable qui se décompose. La durée de dix ans peut se justifier par l'objectif que Florentaise s'est fixée, de diminuer de moitié son bilan carbone sur dix ans.

Décomposition	100	année
10%	90,3920797	5
18%	81,7072807	10
26%	73,8569103	15
33%	66,7607972	20
40%	60,346473	25
45%	54,5484319	30
51%	49,3074621	35
55%	44,5700404	40
60%	40,2877864	45
64%	36,416968	50
67%	32,9180547	55
70%	29,7553143	60
73%	26,8964474	65
76%	24,3122581	70
78%	21,9763558	75
80%	19,864885	80
82%	17,9562827	85
84%	16,2310574	90
85%	14,6715903	95
87%	13,2619556	100
88%	11,9877575	105

Figure 11 Taux de décomposition de 100kg de carbone stable sur cent ans

Les deux dernières solutions alourdissent considérablement le bilan carbone, mais s'approchent un peu de la réalité. Mais entre l'hypothèse 3 et l'hypothèse 4, il y a une différence de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers de tonnes de CO<sub>2</sub>e sur l'exercice 2019. Ainsi, ce choix est extrêmement délicat.

On choisit arbitrairement l'hypothèse 4, que le carbone s'oxyde sur dix ans. Ainsi, le résultat du FE de fin de vie de la tourbe est le suivant :

Tableau 14 Facteurs d'émission de fin de vie pour la tourbe

FE de décomposition - Tourbe	FE kgCO <sub>2</sub> e/t
Tourbe blonde	164,48
Tourbe brune	155,34
Tourbe noire	146,20

Le calcul est détaillé dans le Tableau 15.

Tableau 15 Calcul de la fin de vie de la tourbe

Calcul du FE EoL de la tourbe	
Taux de matière sèche	55%
Contenu carbone d'une tourbe noire (kgC/tonne)	400
Contenu carbone d'une tourbe brune (kgC/tonne)	425
Contenu carbone d'une tourbe blonde (kgC/tonne)	450
Part du carbone instable dans la matière organique	10%
Décomposition de la part instable en dix ans	18%
<b>FE EoL Tourbe noire (kgCO<sub>2</sub>e/t)</b>	<b>146,20</b>
<b>FE EoL Tourbe brune (kgCO<sub>2</sub>e/t)</b>	<b>155,34</b>
<b>FE EoL Tourbe blonde (kgCO<sub>2</sub>e/t)</b>	<b>164,48</b>

### c. Engrais, fabrication & utilisation

Les engrais ont aussi un fonctionnement à part des autres matières premières. Déjà, leur facteur d'émission, fourni par la base ADEME, dépend de leur teneur en éléments NPK (pour l'exemple d'un engrais ternaire). Ensuite, leur fin de vie (décomposition et action sur le sol), émet des GES par l'oxydation de l'azote, du potassium et du phosphate.

Pour chaque engrais, étant donnée la responsabilité de l'azote est prépondérante dans le bilan carbone, on se contente de son taux d'azote, noté en pourcentage de masse dans le même tableau que les familles de bilan carbone des intrants. Le FE de fabrication est donné par la base ADEME en kgCO<sub>2</sub>e/t<sub>azote</sub>. Ainsi, avec le pourcentage d'azote dans la masse, on a bien, pour une quantité d'engrais donnée, le bilan carbone.

Ce FE de fabrication dépend encore du type d'engrais, que l'on distingue en trois : Engrais azoté moyen, Ammonitrate, et Urée. Les FE de fabrication donnés par la base ADEME sont les suivants :

Tableau 16 Facteurs d'Emission de fabrication des engrais

Nom	FE fabrication	Unité
Engrais azoté moyen	4 795	kgCO <sub>2</sub> e/t <sub>azote</sub>
Urée	3 697	kgCO <sub>2</sub> e/t <sub>azote</sub>
Ammonitrate	5 866	kgCO <sub>2</sub> e/t <sub>azote</sub>

Ce tableau est repris dans le fichier des Entrées Manuelles.

Ensuite, pour ce qui est de la fin de vie, cela dépend aussi du taux d'azote. L'ADEME résume les préconisations du GIEC dans le tableau suivant.

Les facteurs d'émissions obtenus	
En reprenant les équations et valeurs par défaut du GIEC, on calcul les FE suivant :	
■ Epandage d'engrais minéraux : 0,021 kgN <sub>2</sub> O / kg d'azote étendu	
■ Epandage d'engrais organiques (déjections animales, végétaux, compost, boues de station d'épuration...) : 0,022 kgN <sub>2</sub> O / kg d'azote étendu	
■ Résidus de culture : 0,019 kgN <sub>2</sub> O / kg d'azote étendu	
■ Déjections animales des BVS (Bovins, volaille, suidés) en pâture : 0,038 kgN <sub>2</sub> O / kg d'azote étendu	
■ Déjections animales des MA (Moutons et autres animaux) en pâture : 0,022 kgN <sub>2</sub> O / kg d'azote étendu	
■ Drainage / gestion des sols des cultures organiques tempérées et de prairies : 13 kgN <sub>2</sub> O / ha	
■ Drainage / gestion des sols des forêts organiques tempérées : 0.9 kgN <sub>2</sub> O / ha	

Figure 12 Facteurs d'Emission relatifs à l'épandage d'engrais et autres amendements (ADEME)

Le chiffre qui nous intéresse principalement est donc le premier. A nouveau avec le taux de carbone, et de la même manière que pour la production, on va calculer les émissions de protoxyde d'azote à l'utilisation. Pour convertir les émissions de N<sub>2</sub>O en équivalent CO<sub>2</sub>, on utilise le PRG<sup>19</sup>, qui, d'après le rapport AR5 du GIEC vaut 265<sup>20</sup>.

Ainsi :

$$FE_{EOL} = Qté(t) \times taux_{Azote} \times (0.021 \times 1000) \times 265$$

Dans les faits, on calcule la fin de vie des engrais en même temps que les autres émissions des matières premières.

On pourrait affiner tout le calcul, en considérant des compositions N-P-K complète, et non par rapport à un taux d'azote.

#### d. Transports

Un sélecteur est présent dans le fichier des Entrées Manuelles pour permettre de faire le choix entre divers modes de transport, afin de simuler des changements. Celui-ci propose de choisir entre divers facteurs d'émission de la base ADEME :

<sup>19</sup> Potentiel de Réchauffement Global

<sup>20</sup> Disponible ici [www.ipcc.ch/report/ar5/](http://www.ipcc.ch/report/ar5/) il remet à jour en 2013 les chiffres utilisés précédemment. Pour le bilan carbone précédent le PRG du N<sub>2</sub>O était 298, mais l'actualisation le fait descendre à 265.

ID	Dénomination	FE	Unité
1			
2	Fret Camion Articulé <34t diesel routier	0,0919000	kgCO <sub>2</sub> /t.km
3	Fret Camion Rigide 12/20t diesel routier	0,1520000	kgCO <sub>2</sub> /t.km
4	Fret Camion Rigide 7/12t diesel routier	0,2350000	kgCO <sub>2</sub> /t.km
5	Fret Camion moyen	0,1596333	kgCO <sub>2</sub> /t.km
6	Cargo <10 000t	0,0191000	kgCO <sub>2</sub> /t.km
7	Cargo >10 000t	0,0132000	kgCO <sub>2</sub> /t.km
8	Porte-conteneur Dry moyen	0,0084700	kgCO <sub>2</sub> /t.km
9	Vraquier 10 000t à 100 000t HFO MGO	0,0074100	kgCO <sub>2</sub> /t.km
10	Fret maritime moyen	0,0120450	kgCO <sub>2</sub> /t.km
11	Train traction électrique - Dense	0,0017000	kgCO <sub>2</sub> /t.km
12	Train - Motorisation moyenne - Chargement	0,0057000	kgCO <sub>2</sub> /t.km
13			kgCO <sub>2</sub> /t.km

Figure 13 Facteurs d'émission des transports de marchandise

Bien que l'affrètement amont, aval et pour la sacherie peut faire appel à des types de véhicules différents, on choisit un facteur d'émission d'un camion moyen « Fret Camion Rigide 12/20t diesel routier ». De même pour le fret maritime, on choisit le mode de transport, qui est celui d'un vraquier, étant donné que c'est le type de cargo utilisé pour le transport de la tourbe en amont, ce qui est l'usage principal du fret maritime.

#### e. Sacherie

Il y a divers matériaux de sacherie, la plupart sont en polyéthylène basse densité (PEBD) avec divers taux de recyclage, les big-bags sont en PET, certains sont en terre cuite, il y a des cartons, et puis du film pour emballer les palettes. Tous les facteurs d'émission sont pris dans la base ADEME et sont donnés en  $kgCO_{2eq} \cdot t^{-1}$  comme montré ci-dessous.

ID	Dénomination	FE	Unité
1	Plastique - PEBD - neuf	2 090	kgCO <sub>2</sub> /t
2	Plastique - PEBDr - recyclé	202	kgCO <sub>2</sub> /t
3	Pâte à papier - Moyen - neuf	297,0000000	kgCO <sub>2</sub> /t
4	Pâte à papier - Moyen - recyclé	317,0000000	kgCO <sub>2</sub> /t
5	Carton - neuf	390,0000000	kgCO <sub>2</sub> /t
6	Carton - recyclé	670,0000000	kgCO <sub>2</sub> /t
7	Plastique - PVC - neuf	1 870,0000000	kgCO <sub>2</sub> /t
8	Plastique - PVC - recyclé	403,0000000	kgCO <sub>2</sub> /t
9	Bois	36,7000000	kgCO <sub>2</sub> /t
10			

Figure 14 Facteurs d'émission des éléments de sacherie

#### f. Energie

De la même manière que pour les transports, plusieurs FE liés à l'énergie, notamment à divers modes de production, sont proposés dans le fichier « Entrées Manuelles ». Cela permet de simuler des utilisations d'énergies renouvelables par exemple.

Concernant la production locale d'énergies renouvelables, comme des panneaux solaires, il est important de préciser certaines choses. Premièrement, toute renouvelable, ou « verte » qu'elle est, une énergie n'est jamais neutre en carbone, car il faudra au moins de l'énergie pour produire le moyen de production de l'énergie, pour le traiter à la fin de sa vie, etc...

Secondement, comment prendre en compte les énergies renouvelables par rapport au périmètre ? Si l'on remplace une consommation du mixe énergétique moyen français par du photovoltaïque, on

améliore légèrement le bilan carbone. Mais cela ne suffit pas à dire que cette consommation est neutre, quand bien même on n'achèterait plus rien à EDF. De plus, cela ne peut être considéré comme une compensation. En effet, pour compenser, il faut savoir ce que l'on remplace, et donc le mix énergétique auquel on propose une alternative, si tant est que cette responsabilité se place dans notre périmètre.

Ainsi, pour la gestion des énergies renouvelable, la gestion est la suivante. Pour les sites où sont posés des panneaux solaires, on utilise un FE photovoltaïque sur la consommation d'énergie totale (EDF+panneaux). S'il y a un surplus, il ne peut être compté. On fait ainsi l'hypothèse que même l'énergie qui est achetée à EDF est photovoltaïque, en supposant qu'il s'agit d'un complément seulement, par défaut d'avoir les données de la part d'énergie classique achetée.

#### g. Autres postes variables

Le bilan carbone précédent prenait en compte divers postes secondaires qui ne sont pas constants au cours des années :

- Déchets : ramené au tonnage de production, établi à partir des données du prestataire des déchets.
- Déplacements : ramené au nombre de salarié-es sur le site, et à partir d'une enquête sur les déplacements des salarié-es et les pratiques de covoiturage.
- Immobilisations brèves
- Activités de support : poste intrants (services, fournitures...), déplacements, déchets...

Il devient très complexe de récolter toutes ces données pour chaque site et pour chaque année, et l'on peut s'intéresser avant cela à l'impact de ces postes sur le bilan carbone précédent, pour estimer, en ordre de grandeur, si de telles considérations sont nécessaires.

Au global, quand on compare ces postes aux postes primaires, leur part est environ de 10% dans le bilan carbone 2017.

Lorsque l'on s'intéresse au poids des différents postes mineurs dans cela, on observe une majorité d'émissions liées aux déplacements, puis des immobilisations :

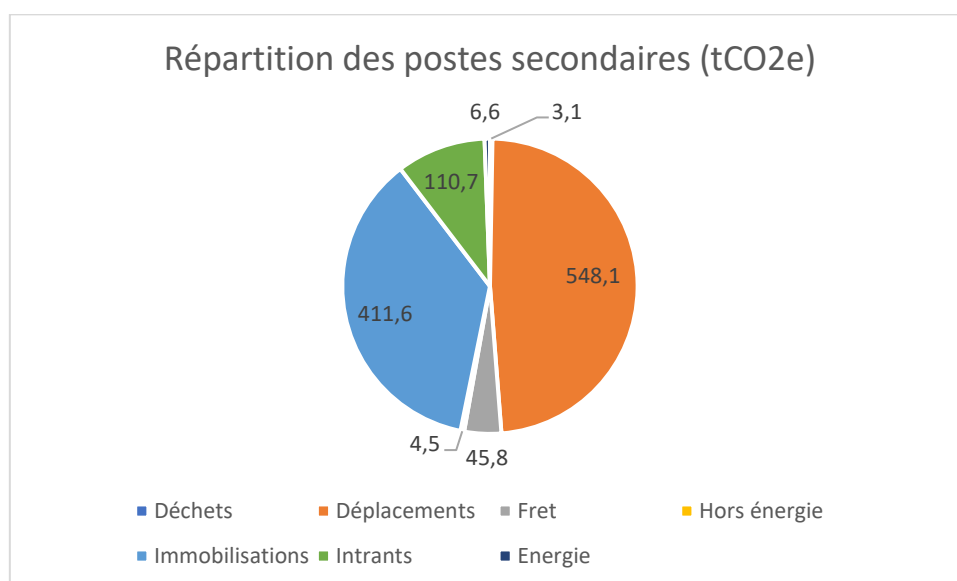


Figure 15 Répartition des postes secondaires du bilan carbone 2017

Ainsi, face à la complexité de prendre en compte tous ces postes secondaires, on peut se contenter de ne prendre en compte que le poste des déplacements.

Si l'on met de côté les déplacements ou les immobilisations, la part des postes secondaires descend à 4% environs, et si l'on met les déplacements et les immobilisations de côté, on descend à 1%. Ainsi, prendre en compte ces deux postes mineurs variables peut permettre de négliger les autres. On saura qu'une marge de 1% est applicable sur le total afin d'estimer ces postes secondaires, mais on ne l'intègre pas au bilan carbone.

Ainsi, on choisit de ne prendre en compte que les déplacements et les immobilisations des bâtiments.

#### *i. Déplacements*

Pour la comptabilisation des déplacements quotidiens, l'enquête menée par ESPERE en 2009 fait état d'en moyenne 5,53 tCO<sub>2</sub>e/salarié·e par an (hors support). Ainsi, on applique cela à l'ensemble des salarié·es des usines pour avoir un ordre de grandeur.

Pour les déplacements professionnels, de la partie support en particulier, ESPERE avait pris 43,66 tCO<sub>2</sub>e par salarié·e administratif, et par an. En effet, la partie support est à distinguer par le fait qu'elle compte des commerciaux·les qui font beaucoup de déplacements.

Bien sûr il serait bienvenu de refaire un tel sondage, car les habitudes des salarié·es ont probablement changé depuis 2009. De plus, on extrapole ces chiffres sur les sites autres que ceux du périmètre de l'enquête, ce qui induit une erreur. Le plus important à réestimer est cependant le chiffre des émissions annuelles des commerciaux·les de la partie support, qui ont un bilan carbone 7 fois supérieur à celui des autres salarié·es, de par leurs nombreux déplacements.

#### *ii. Immobilisations*

Les postes fixes sont des immobilisations constantes sur plusieurs années. Elles correspondent à un amortissement pluriannuel de l'impact carbone d'une activité, comme la construction d'un bâtiment, qui a un fort impact carbone. Il y a donc là surtout des immobilisations liées au bâtiment, mais également aux machines et engins.

Par nature, on ne considère pas que ces valeurs changent au cours du calcul du bilan carbone. S'il y a rénovation d'un bâtiment, cela n'est pas pris en compte afin de ne pas complexifier outre mesure le calculateur pour une différence qui peut être minime. Cependant, on peut en changer la valeur dans le fichier des Entrées Manuelles pour observer l'impact d'une construction plus durable.

On reprend ici les chiffres de l'étude précédente de ESPERE.

**L'immobilisation liée à la partie support** ne comprend que la surface construite de bureaux, soit 300m<sup>2</sup>.

**A St-Mars**, on prend en compte : la surface de stockage bétonnée (51500m<sup>2</sup>), la surface empierrée (18300m<sup>2</sup>), les bâtiments à dominante béton (6000m<sup>2</sup>), ceux à dominante métal (450m<sup>2</sup>), les machines (151t) et les engins (150t).

**A St-Escobille**, on prend en compte : les bâtiments métalliques (3804m<sup>2</sup>), les aires de stockage-parking (10900m<sup>2</sup>), les machines (88t) et engins (95t).

**A Lavilledieu**, on prend en compte : les bâtiments métalliques (9000m<sup>2</sup>), les aires de stockage-parking (18100m<sup>2</sup>), les bâtiments de bureau (30m<sup>2</sup>), les machines (205t) et engins (106t).

On complète de la même manière les autres sites.



## 4. Fonctionnement

### a. Fonctionnement général

Le bilan carbone est calculé à l'aide d'un code en python. Ce code se charge de croiser les « bases de données » représentées par les extractions de GCO pour établir les postes de bilan carbone pour chaque usine pour une année spécifiée.

Le code étant relativement long, quoique d'un niveau tout à fait accessible, son fonctionnement ne sera pas détaillé ici. Il est explicité à part dans le document intitulé « Guide Technique du programme python de traitement du bilan carbone ».

Ce fonctionnement est rappelé dans le schéma suivant :

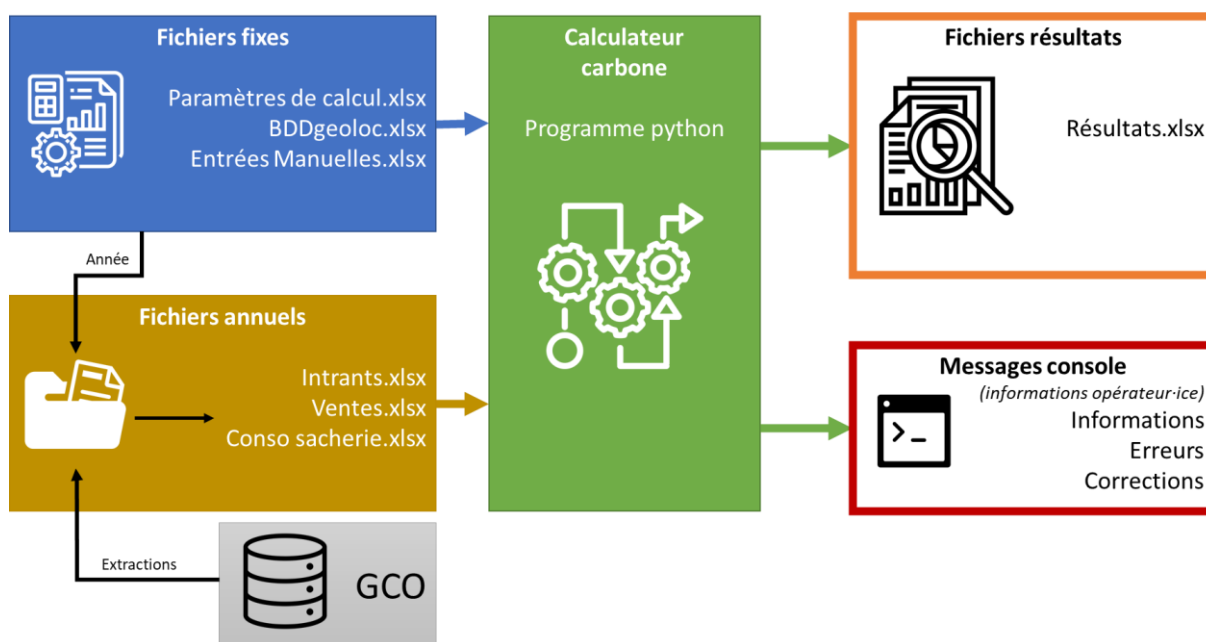


Figure 16 Fonctionnement global du calculateur

Le programme est découpé en plusieurs modules par soucis de clarté, qui sont les suivants :

- `main.py` : Corps principal du programme qui est exécuté.
- `parametres.py` : C'est là où l'utilisateur-ice peut modifier quelques paramètres aisément, pour de la maintenance de moyen niveau.
- `fonctionsMatrices.py` : Regroupe des opérations usuelles de traitement des tableaux, comme la recherche d'un élément, le tri, ...
- `gestionIntrants.py` : gère la lecture de la base de données des intrants (fichier données/intrants.xlsx), celle des facteurs d'émissions, masses volumiques, etc, le traitement de ces données
- `gestionExport.py` : gère la lecture du fichier des exports (ventes) sortant des usines, opère leur traitement et calcule leur bilan carbone
- `geolocalisation.py` : est utile afin de calculer des distances de frets. Permet de lire la base de données des géolocalisations (fichier sources/BDDgeoloc), de calculer des distances à partir de codes postaux, de coordonnées GPS, etc... Permet également de faire remonter des codes postaux invalides et de les inscrire en sortie du programme
- `fonctionsFret.py` : permet de gérer le fret des intrants, par route ou par bateau.
- `affichageResultats.py` : gère l'écriture d'un fichier Excel résumant les résultats.

## b. Méthodes de calcul

Encore une fois, une explication plus poussée de la manière dont sont exécutés les calculs est disponible dans le document « Guide Technique ».

### i. Matières premières

Le calcul de l'impact de fabrication des matières premières produit essentiellement deux tableaux architecturalement opposés. L'un présente, par usine, l'impact des matières premières, toutes matières confondues. C'est celui qui est utilisé dans le reste du programme, et enregistré dans la matrice de résultats générale. L'autre, par opposition, présente l'impact de chaque matière, tous sites confondus, accompagné de son fret amont. Celui-ci est utile lorsqu'on considère le bilan carbone des produits de l'entreprise. Comme il prend également en compte le fret amont, il est présenté dans la sous-partie ii.

#### Tableau par usine, toutes matières confondues

Ce tableau est construit de la manière suivante, à partir de la liste d'extraction des achats.

Lorsque l'on lit cette liste, on enregistre :

[id, nom, réf, client/fournisseur, famille Florentaise, CP départ, CP dépôt, pays de départ, quantité, unité]

Une partie de ces informations est utilisée pour le calcul du fret amont, car les deux se font en même temps.

D'abord, on convertit l'unité en kilogrammes ou en mètres cubes, selon si l'unité de départ est une masse (kg, t...) ou un volume (L, m<sup>3</sup>, ...). On ne peut pas exprimer uniquement en masse ou en volume car on ne connaît pas pour l'instant la masse volumique qui permet de faire la conversion de l'un à l'autre.

Dans le cas où l'unité enregistrée est un sac, il est généralement marqué dans le nom la quantité. Au moyen d'une sous-fonction, on déchiffre le nom pour en déduire la quantité et l'unité.

Ensuite, on va lire les informations des matières premières enregistrées dans « Entrées Manuelles ». On lit un tableau avec les familles de bilan carbone et les taux d'azote pour les engrais, un autre avec les masses volumiques, un avec les FE de chaque famille de bilan carbone, et un dernier avec les FE des engrais. Une fonction se charge ensuite d'assembler les listes des achats (par matière première), celle des familles par matière première, et celle des FE par familles. Une partie des données manquantes s'il y en a, est déduite, ou extrapolée, à partir de la liste préexistante. Cela est expliqué dans la partie « Hypothèses et limites ».

On fait de même avec la liste des masses volumiques, en l'extrapolant si besoin

Avoir la masse volumique permet de revenir sur le tableau que l'on a jusque-là, et calculer la masse totale (tonnage) de chaque matière première en convertissant les volumes en tonnes. On obtient le tableau suivant, pour chaque matière première :

- Nom de la matière première (pour chaque usine)<sup>21</sup>
- Usine (pour chaque usine)
- Le tonnage (idem)
- Le fret routier total (idem) en km
- Le fret maritime total (idem) en km
- Le BC de la route (idem) en  $kgCO_{2e}$

<sup>21</sup> Pour alléger le tableau, on ne prend pas en compte les lignes où le tonnage est nul. Ainsi, il s'agit ici de « pour chaque usine où le tonnage est non nul ».

- Le BC du bateau (idem) en  $kgCO_{2e}$

Puis on « renverse » le tableau obtenu jusque-là. Il contenait par matière première, puis, pour chacune, le bilan carbone pour chaque usine. On obtient donc, pour chaque usine, le bilan carbone de toutes les matières confondues.

## ii. Fret amont

Le fret amont étant calculé à partir du même fichier achat que les émissions dues à la fabrication, il est en pratique calculé simultanément à la partie précédente.

### Tableau fabrication et fret par matière première

Au tableau de la partie précédente, on rajoute le calcul du fret total par matière première.

Il est calculé d'une manière différente selon l'origine de l'intrant<sup>22</sup> :

- S'il provient de France, on considère que c'est par camion. On calcule alors la distance de route entre le code postal du fournisseur et le code postal de l'usine d'arrivée, de la manière expliquée dans la partie 5.a.
  - o Si tout va bien, on obtient la distance en kilomètres
  - o Si on ne connaît pas le code postal, on essaye de le simplifier (cf 5.d.)
  - o Si l'on arrive toujours pas à calculer le trajet, on attribue la distance zéro et on passe à l'intrant suivant.
- S'il provient de l'étranger mais que c'est un pays proche (Italie, Allemagne, Espagne, Pays-Bas, Belgique, Portugal...) ou qu'il s'agit de tourbe livrée dans les dépôts 50500, 7170, 1370, 44850, 29530, 40210, le transport se fait toujours par camion. On se réfère alors soit aux codes postaux étrangers enregistrés dans BDDgeoloc, soit à l'onglet d'import terrestre du fichier « Entrées Manuelles », selon ce que l'on connaît. Si l'on ne parvient pas à trouver de coordonnées GPS avec le second, on utilise le premier.
  - o Si tout va bien, on obtient la distance en kilomètres
  - o Sinon, on place le point d'expédition au milieu de l'Europe, (25.317° ; 54.9°) et on calcule la distance de là au dépôt
- Sinon, on considère qu'il vient par bateau. On utilise alors la liste des Imports maritimes du fichier « Entrées Manuelles ». On cherche à estimer de quelle chaîne de livraison le fournisseur fait partie. Si on ne retrouve pas le nom du fournisseur, on se contente du pays, et de faire comme si l'intrant venait d'un autre fournisseur du même pays.
  - o Si on trouve soit le fournisseur soit le pays, on utilise la chaîne de livraison pour avoir la distance en bateau et la première distance en camion, puis on calcule la distance du port d'arrivée au dépôt.
  - o Sinon, on attribue une distance en bateau et par route nulle.

### Tableau du fret par usine

On part de la même liste, après qu'on ait trié les unités et lu les masses volumiques. On réutilise l'enregistrement du tonnage total de chaque matière, pour en déduire la part de fret de chaque usine. On a ensuite le fret pour cette usine est la somme des frets de chaque matière première modéré par la part de l'usine dans la consommation de chaque matière première.

<sup>22</sup> Avant la comparaison par pays d'origine, on teste si le fournisseur de l'intrant est Eurotourbes, filiale de Florentaise qui s'occupe de l'import de tourbe. Dans ce cas, on remplace le pays d'origine (FRA) par le pays d'origine réel, c'est-à-dire l'Estonie.

### iii. Engrais

Pour le bilan carbone des engrais, c'est-à-dire leur fin de vie, où l'azote présent s'oxyde en protoxyde d'azote, qui a un facteur d'émission de 265 d'après l'ADEME, on procède de la manière suivante.

Lors de l'association entre matières premières et facteurs d'émission, on profite d'avoir le nom de famille bilan carbone des intrants pour créer une liste des FE de fin de vie des engrais. Cette liste est la suivante, pour chaque engrais :

- Nom de l'engrais
- Taux d'azote (entre 0 et 1)
- Emissions de GES par kilogramme d'engrais
- 0 (à compléter plus tard par la masse d'engrais)

Les émissions de GES par tonne d'engrais sont calculées de la manière suivante :

$$FE_{CO2} = FE_{épandage} * PRG_{N2O}$$

Où

$$FE_{épandage} = 0.021 \frac{kgCO_{2e}}{kg_{azote}}$$

$$PRG_{N2O} = 265$$

Ainsi, les émissions sont en kilogrammes de CO2 par kilogramme d'engrais. Le nombre « Emissions » est donc une constante pour tous les engrais, qui vaut  $5.565 \frac{kgCO_{2e}}{kg_{engrais}}$ .

Ensuite, pour chaque engrais, on parcourt la liste du résultat des intrants par usine et par matière première calculée en i. afin de connaître la quantité de chaque engrais utilisée par chaque usine. On a donc le tonnage de l'engrais et l'on calcule les émissions de chaque usine pour chaque engrais de la manière suivante :

$$Emissions = tonnage * FE_{CO2} * taux_{azote}$$

Reste ensuite, comme pour les intrants et le fret à « retourner » la liste : elle était pour chaque engrais et pour chaque usine, on la calcule pour chaque usine.

### iv. Tourbe – fin de vie

Pour l'oxydation de la tourbe en fin de vie c'est légèrement différent. D'abord, le facteur d'émission dépend non plus d'un taux d'azote, mais de si la tourbe est blonde, brune ou noire. On vient pour cela lire le tableau présent dans le fichier des Entrées Manuelles qui donne les valeurs suivantes :

Tableau 17 Facteurs d'émission de fin de vie de la tourbe

FE de décomposition - Tourbe	FE kgCO2e/t
Tourbe blonde	164,48
Tourbe brune	155,34
Tourbe noire	146,20

### v. Fret aval

Le fret aval calcul simultanément le fret du secteur pro, grand public, et inter dépôt.

Après avoir lu l'intégralité des fichiers des ventes, on procède avant leur traitement à leur regroupement. Il s'agit de construire une liste où les bons de livraisons ne se répètent pas, et où les livraisons partageant le même bon de livraison sont classées comme des sous-livraisons.

Cette étape de regroupement fait réduire les livraisons par les nombres suivants (Tableau 18). On note ici qu'il s'agit bien de regroupement effectifs fidèles à la réalité et non une réduction arbitraire du bilan carbone.

Tableau 18 Nombre de livraisons et regroupement<sup>23</sup>

Nombre de livraisons	GP	Pro	Interdepot
Avant regroupement	9508	8089	653
Après regroupement	8974	7935	653

Ensuite, on reparaît la liste des livraisons, et l'on distingue selon si la livraison est groupée ou non. Si elle l'est, on utilise un algorithme dont le principe est décrit en partie

## 5. Hypothèses et limites du calcul

### a. Distances du fret

On estimera les distances de fret à partir d'une formule qui évalue la distance à vol d'oiseau entre deux points, représentés par coordonnées GPS ou par code postal. On fait ensuite l'hypothèse que la distance de route est de 1.4 fois la distance à vol d'oiseau.

Les coordonnées GPS sont en radians, donc converties à partir de degrés en multipliant par le facteur  $\pi/180$ . Si l'on note  $lat_i$  et  $long_i$  respectivement la latitude et la longitude, on a la distance à vol d'oiseau (ou en ligne droite):

$$D_{VO} = 6371 \cdot \arccos[\sin(lat_A) \cdot \sin(lat_B) + \cos(lat_A) \cdot \cos(lat_B) \cdot \cos(long_B - long_A)]$$

*Note* : le facteur 6371 correspond au rayon de la Terre moyen. Ce calcul trigonométrique est [expliqué ici](#)<sup>24</sup>.

Puis la distance de route :

$$D_{route} = D_{VO} \cdot 1,4$$

Le facteur 1.4 provient de l'étude : Boscoe FP, Henry KA, Zdeb MS. *A Nationwide Comparison of Driving Distance Versus Straight-Line Distance to Hospitals*. Prof Geogr. 2012. Elle établit le rapport entre les distances en ligne droite jusqu'à l'hôpital le plus proche, et la distance de route effective. L'erreur maximale est de 5km ou 10% pour 90% des trajets, ce qui est très largement satisfaisant pour notre étude.

### b. Mode de transport en fret amont

Afin de simplifier le traitement des informations, on fait l'hypothèse que le mode de transport est unique par matière et site. Cela signifie que si une matière est livrée à un site tantôt en bateau, tantôt par camion, on choisira un des deux, le premier cas qui se présente. Cependant, si une même matière est livrée différemment sur deux sites, la nuance est bien faite.

<sup>23</sup> Ces chiffres sont donnés à titre indicatif

<sup>24</sup> [https://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/Distance\\_longitude\\_latitude.pdf](https://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/Distance_longitude_latitude.pdf)

En revanche, dans la feuille Excel où l'on présente les résultats par matière première, toutes usines confondues, les totaux de transport sont bien calculés sur tous les modes de transport. Cela s'explique par le fait que les deux matrices sont construites parallèlement, selon des architectures opposées.

#### c. Assimilation de masse volumique ou de FE.

Dans l'onglet contenant les FE des matières premières du fichier « Entrées Manuelles », il est peu probable qu'il soit listé toutes les matières premières achetées possibles. Cependant, les ajouter à la main peut être fastidieux.

Ainsi, et pour éviter l'arrêt du programme dès qu'un intrant n'est pas renseigné, une partie du code cherche à quel matériau connu on peut l'assimiler, tant pour lui attribuer une famille de bilan carbone (et donc un FE) que pour sa masse volumique. Cette assimilation se fait en plusieurs étapes, et chacune peut permettre d'assimiler deux matières premières :

- Si les noms sont identiques une fois mis en minuscule (« Argile » → « argile » « ARGILE »)
- Si, une fois les caractères autres que les lettres sont enlevés, et mis en minuscule, les noms sont identiques (« GRAVIER 4/8 CALCAIRE »)
- Si la distance de Levenshtein, c'est-à-dire le nombre de lettres qui changent entre les deux noms en minuscule, est suffisamment petite
- Si les deux noms en minuscule présentent un nombre de mot identiques suffisamment grand.

Les quatre méthodes sont données en exemples ci-dessous :

Tableau 19 Méthodes d'assimilations de noms

Méthode	Nom départ	Nom assimilé	Identité
1. Minuscule	ARGILE	Argile	argile
2. Lettres	GRAVIER 4/8 CALCAIRE	GRAVIER 8/12 CALCAIRE	gravier calcaire
3. Levenshtein	Ecorces pins maritimes	Ecorces pin maritime	2 lettres de différence
4. Par mots	Ecorces résineux en compostage	Ecorce pin maritime compostage	2 mots identiques

Ces méthodes sont exécutées l'une après l'autre, en cas d'échec de la précédente à trouver un nom à assimiler. On ne peut pas assimiler un nom à un autre que l'on vient lui-même d'assimiler à un troisième, afin d'éviter, de proche en proche, d'assimiler des choses qui n'ont rien à voir.

L'opérateur·ice garde tout de même le contrôle sur ces assimilation, car les noms devinés par le programme et la raison de cette association (colonne « identité » dans le tableau ci-dessus) sont écrits dans le fichier de résultat. Il est bon d'y jeter un coup d'œil « humain » pour vérifier qu'il n'apparaît rien d'extravagant.

Les associations dérangeantes, ou les mots qui n'ont pas trouvé d'assimilation par aucune des quatre méthodes, sont à ajouter manuellement au fichier « Entrées Manuelles ». Le cas échéant, le facteur d'émission sera nul, et la masse volumique égale à 1.

Ce procédé, nécessaire par son côté pratique, peut tout de même induire de légères erreurs dans le calcul, et il convient d'y rester vigilant·e, et de tenir la liste des « Entrées Manuelles » suffisamment à jour pour limiter son utilisation.

#### d. Prise en compte des engrais

Comme détaillé auparavant, la prise en compte des engrais se fait uniquement sur leur taux d'azote. Une piste d'amélioration du calcul pourrait résider dans la prise en compte d'autres sources de GES, à savoir le phosphore (P, qui peut donner du pentoxyde de phosphore  $P_2O_5$ ) et du potassium (K, qui peut

donner de l'oxyde de potassium  $K_2O$ ). La liste des émissions de fabrication selon l'ADEME<sup>25</sup> pour les engrais est donnée dans le Tableau 20.

Tableau 20 Emissions de fabrication des engrais (ADEME)

Type d'intrant	Unité d'élément nutritif	kgCO <sub>2e</sub> /kg d'élément nutritif
Ammoniaque anhydre	kg N	2,97
Ammonitrate 33,5%		5,86
Ammonitrate calcaire 30% (CAN)		6,09
Solution azotée		5,01
Urée		3,69
Trisuperphosphate (TSP)	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,57
Clorure de Potasse (KCl)	kg K <sub>2</sub> O	0,45
Engrais ternaire*	kgN	5,29
	kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,94
	kg K <sub>2</sub> O	0,51
Engrais binaire PK	kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,57
	kg K <sub>2</sub> O	0,45
Engrais binaire NK	kg N	2,97
	kg K <sub>2</sub> O	0,45
Engrais binaire NP	kg N	4,31
Engrais azoté moyen*	kg N	5,34
Engrais phosphaté moyen	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,57
Engrais potassique moyen	kg K <sub>2</sub> O	0,45

Emissions de fabrication des engrais en kgCO<sub>2e</sub> par kg d'élément nutritif. - PRG AR5 sauf \* (PRG AR4)

Note : La différence entre la valeur de 5.29 kgCO<sub>2e</sub>/kg<sub>N</sub> et les 5.565 kgCO<sub>2e</sub>/kg<sub>N</sub> utilisée dans le calcul provient du changement de PRG pour l'azote entre l'AR5 et l'AR4.

#### vi. Sacherie

Le fonctionnement de la fonction sacherie est un peu complexe, car il prend en compte l'année de calcul pour utiliser les bonnes caractéristiques de sacherie, et calcule également le fret amont associé.

Après avoir lu l'intégralité des références de sacherie prises dans le fichier des Entrées Manuelles, on parcourt la liste de la consommation de sacherie, qui donne pour chaque référence la consommation de chaque site. Ainsi, pour chaque référence, on remonte le fichier des références du plus récent au plus ancien (en vérifiant que l'on utilise pas une sacherie ultérieure au calcul du bilan carbone), et l'on s'arrête à la première référence trouvée. A cette référence, on lit les dimensions du sac, le matériau, le taux de recyclé qu'il contient, et l'imprimeur qui le fournit. L'objectif est de déterminer la masse de chaque matériau (PEBD vierge, PEBD recyclé, ou papier) utilisée par chaque usine. Si la référence n'est pas trouvée, elle est signalée à l'utilisateur-ice à qui on demande de l'ajouter manuellement au fichier.

Pour calculer la masse, on lit la masse volumique du matériau (PEBD ou papier), et avec les dimensions on a une masse de matériau. A ce matériau est associé un facteur d'émission de fabrication, répertorié

<sup>25</sup>[https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD\\_DOC\\_FR/index.htm?engrais\\_et\\_composes\\_azotes.htm](https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?engrais_et_composes_azotes.htm)

dans l'onglet « Autres FE » des Entrées Manuelles, et que l'on a lu au préalable. On peut donc associer à chaque dépôt les émissions de fabrication des matériaux de sacherie qu'il a consommé.

A partir du nom de l'imprimeur, que l'on recherche dans un tableau secondaire du même onglet des Entrées Manuelles, on récupère les coordonnées GPS de sa fabrication. Avec le numéro de dépôt qui l'a utilisé, on peut donc en calculer le fret, puisque l'on a la distance et la masse transportée, en multipliant par le facteur d'émission camion.

Si l'imprimeur n'est pas trouvé, on y associe un fret nul, et on le signale à l'utilisateur·ice.

On obtient ainsi pour toutes les références de sacherie un fret amont et une émission de fabrication, enregistré comme un total pour chaque usine, résultat qui est ensuite enregistré dans la matrice de résultat.

**On signale cependant le cas particulier des référence associées à des Bigbags**, qui ne sont pas en PEBD, mais en PET, ce qui a donc une émission différente. Les émissions qui sont associées ne sont pas comptées à part dans le bilan carbone total, mais on prend en compte la différence de matériau de la manière suivante. On lit d'abord le litrage dans le nom de la référence. Par exemple BIGBA500 sera identifié comme un bigbag de 500L. On considère ensuite un cube du volume associé dont on calcule la surface de cinq côtés de la manière suivante :

$$S = 5 \left( \frac{\text{litrage}}{1000} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Ensuite, étant donné un taux de recyclage  $r$  du big-bag, et les facteurs d'émission associés aux deux matériaux vierges et recyclé on a le facteur

$$\alpha = \frac{FE_{PET}}{FE_{PEBD}}$$

Où

$$FE_{PET} = r \cdot FE_{PET_{recyclé}} + (1 - r) \cdot FE_{PET_{vierge}}$$

$$FE_{PEBD} = r \cdot FE_{PEBD_{recyclé}} + (1 - r) \cdot FE_{PEBD_{vierge}}$$

Le facteur  $\alpha$  est celui par lequel on doit multiplier la masse de PET calculée pour avoir la masse de PEBD qui aura la même émission de  $CO_2e$ . Avec  $\sigma$  la masse surfacique du PET, on considère alors qu'un sac en PET est en fait un sac en PEBD avec une masse

$$m = S\sigma\alpha$$

Cette méthode permet de ne pas complexifier le calcul du bilan carbone de la sacherie, déjà lourd, en évitant l'ajout d'un matériaux, mais en conservant un impact climatique égal.

#### vii. *Energie*

Le calcul de l'impact lié aux énergies est assez direct. En effet, il s'agit principalement de lire dans le fichier des Entrées Manuelles les consommations en fuel et en électricité de chaque site, et de les multiplier par les FE associés.

On note cependant quelques exceptions :

- Pour les sites ayant une installation photovoltaïque, et comme expliqué dans la partie précédente, on ne compte pas un bilan carbone nul, voire négatif. En revanche, on prend garde



à utiliser le FE de la production d'énergie photovoltaïque et non d'un mixe moyen de consommation. Cette exception ne s'applique actuellement que pour le site de Lavilledieu. On considère que toute la consommation électrique est couverte par la production photovoltaïque, et l'on ne prend pas en compte d'éventuel surplus.

#### e. Regroupements de livraison pour le fret aval

Il arrive que plusieurs client-es soient livré-es en un seul trajet, et, pour en estimer le trajet, on a la donnée des coordonnées GPS de chaque client-e et du dépôt (donc la distance entre chaque sommet du graphe) et la masse à livrer à chaque client-e.

#### Optimisation de la distance parcourue

Prenons d'abord l'exemple où une masse de valeur 1 est à livrer chez trois clients A B C. Il existe six manières de les livrer ( $3!=6$ ) dont on représente deux possibilités dans la figure

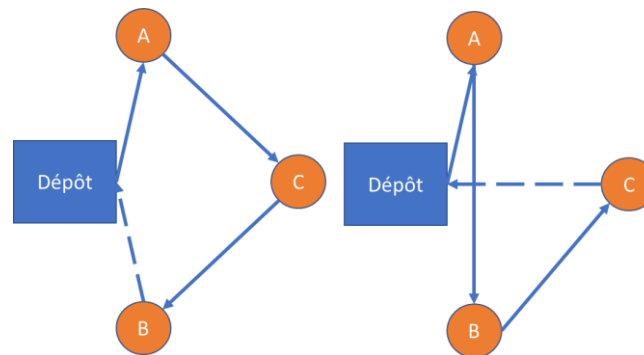


Figure 17 Exemples de livraisons groupées

On fait l'hypothèse que le chemin choisi par le livreur est celui qui minimise le chemin à parcourir. Cela peut être le cas dans une optique de minimisation du temps et du coût de la livraison. Dans ce cas, il suffit simplement de choisir l'ordre dans lequel on les livrera.

Cette opération, si l'on souhaite un résultat proche de l'optimum, et avec peu de points, est relativement aisé à faire pour un-e humain-e, ainsi que pour un ordinateur. Pour avoir l'optimum sur un nombre indéfini de point, le problème est immédiatement complexifié. C'est même un problème pour lequel il n'existe pas d'algorithme généralisé.

Mais il existe tout de même des algorithmes permettant d'avoir relativement rapidement une bonne estimation du meilleur trajet.

#### Application aux regroupements dans le programme

On fait encore l'hypothèse que le livreur parcourt les coordonnées des client-es de la manière la plus efficace possible, et on cherche à retrouver l'ordre dans lequel cette livraison a été faite selon ce principe à partir des coordonnées des points à joindre.

On fait encore l'hypothèse des petits angles, qui suppose que les points à livrer sont suffisamment proches pour ne pas avoir à prendre en compte la rotondité de la Terre. Ainsi, la distance entre deux points s'écrit  $\sqrt{(lat_A - lat_B)^2 + (long_A - long_B)^2}$  en notant  $lat_{A,B}$  la latitude et  $long_{A,B}$  la longitude.

On suppose enfin que le nombre de client-es livré-es en un regroupement est suffisamment petit pour que l'approche dynamique prenne un temps raisonnable. Le procédé suivi consiste à réduire le problème en plusieurs sous-problèmes, jusqu'à atteindre des sous-problèmes immédiats à réduire. La

démarche est [expliquée ici](#)<sup>26</sup>. L'implémentation en code est reprise de l'utilisateur·ice [Mlalevic sur GitHub](#).

Le problème étant résolu, on a une bonne estimation de l'ordre dans lequel livrer pour minimiser la distance. Mais cet ordre n'est pas nécessairement celui qui minimise le bilan carbone. En effet, si l'on suppose que toutes les distances entre tous les points se valent, et que tous les ordres de trajet sont équivalents, il est immédiat qu'il y a intérêt, pour minimiser le bilan carbone, à livrer en premier la masse la plus importante, afin de ne pas avoir à la transporter pendant le reste des trajets. Ainsi, **bien que ce ne soit pas celle utilisée dans le programme**, on peut proposer la piste d'une optimisation en bilan carbone.

Sont montrés en Figure 18 Exemple 1 de regroupement des livraisons Figure 19 Exemple 2 de regroupement des livraisons deux exemples du résultat de cette approche, tirés de l'exercice 2019. On observe aisément que le chemin emprunté semble « naturel » et « logique » pour un œil humain. En vert est représentée l'usine de départ, en rouge les clients à livrer numérotés arbitrairement, et la grosseur du trait est proportionnelle à la charge du camion, et donc à son bilan carbone.

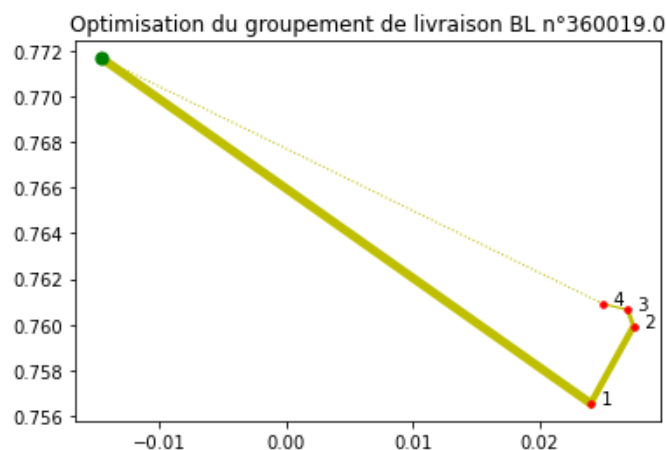


Figure 18 Exemple 1 de regroupement des livraisons

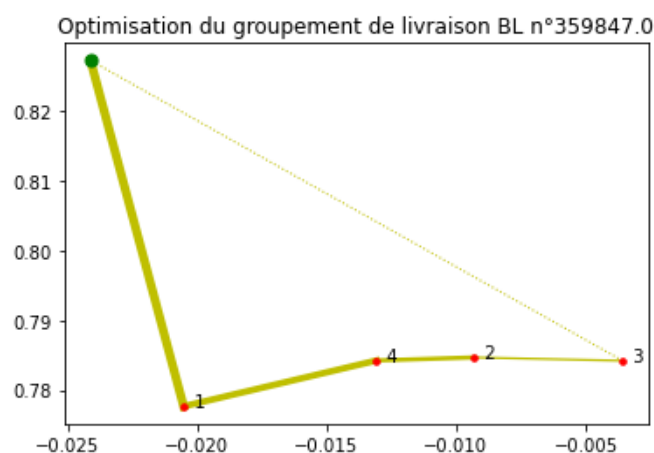


Figure 19 Exemple 2 de regroupement des livraisons

Note : On voit également que le trajet « retour », entre le dernier point et l'usine, est représenté en pointillés. En effet, ce trajet est théoriquement à vide, et donc à bilan carbone virtuellement nul. Cette

<sup>26</sup>[https://www.tutorialspoint.com/design\\_and\\_analysis\\_of\\_algorithms/design\\_and\\_analysis\\_of\\_algorithms\\_travelling\\_salesman\\_problem.htm](https://www.tutorialspoint.com/design_and_analysis_of_algorithms/design_and_analysis_of_algorithms_travelling_salesman_problem.htm)

approche est bien sûr fausse, de la même manière qu'un avion à vide, même si ayant des facteurs d'émission en  $\frac{kgCO_2e}{km}$ . *passagere*, émettra tout de même des GES.

### Optimisation en bilan carbone

Si maintenant on ajoute la masse à livrer dans l'équation, cela se complexifie encore, dans l'objectif de minimiser le bilan carbone. On peut débuter une approche en pondérant la distance entre deux points par la masse contenue dans le camion pour ce trajet. Mais cette masse dépend de tous les points par lesquels le camion est passé, mais également du sens dans lequel ce trajet est effectué. Prenons une situation où l'on doit livrer deux masses  $M_i$  et  $M_j$ , séparés par une distance  $D$ . On passe dans le cas 1 d'abord par le point  $i$ , et dans le cas 2 d'abord par le point  $j$ .

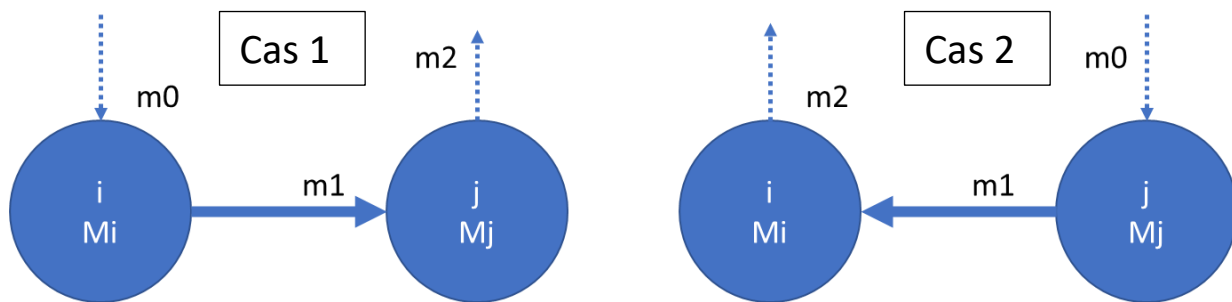


Figure 20 Non réciprocité des livraisons

On cherche à minimiser le bilan carbone impliqué par le fait de devoir livrer  $i$  et  $j$ .

Alors, en notant  $FE$  le facteur d'émission du camion, on a que les émissions de ce trajet sont

$$\text{Cas 1: } m_1 \cdot D \cdot FE$$

$$\text{Cas 2: } m_1 \cdot D \cdot FE$$

A propos des masses, on peut écrire les équations suivantes :

$$\text{cas 1 : } m_0 = m_1 + M_i = m_2 + M_i + M_j$$

$$\text{cas 2 : } m_0 = m_1 + M_j = m_2 + M_j + M_i$$

Ou encore

$$\text{cas 1 : } m_1 = m_0 - M_i$$

$$\text{cas 2 : } m_1 = m_0 - M_j$$

Ainsi, entre les deux cas, il y a une différence de  $|M_i - M_j| \cdot D \cdot FE$  ce qui rend l'espace dans lequel on essaye de résoudre le problème non Euclidien. L'approche de programmation dynamique utilisé précédemment ne fonctionnera donc plus

## 6. Outils d'analyse des résultats

### a. Résultats généraux

Cet onglet contient principalement la matrice MATRICE\_RESULTAT telle quelle, ainsi que le total du bilan carbone.

Le tableau principal est directement illustré en diagramme à barre, et, pour chaque poste, on donne le total annuel, et le total ramené à la production du site.

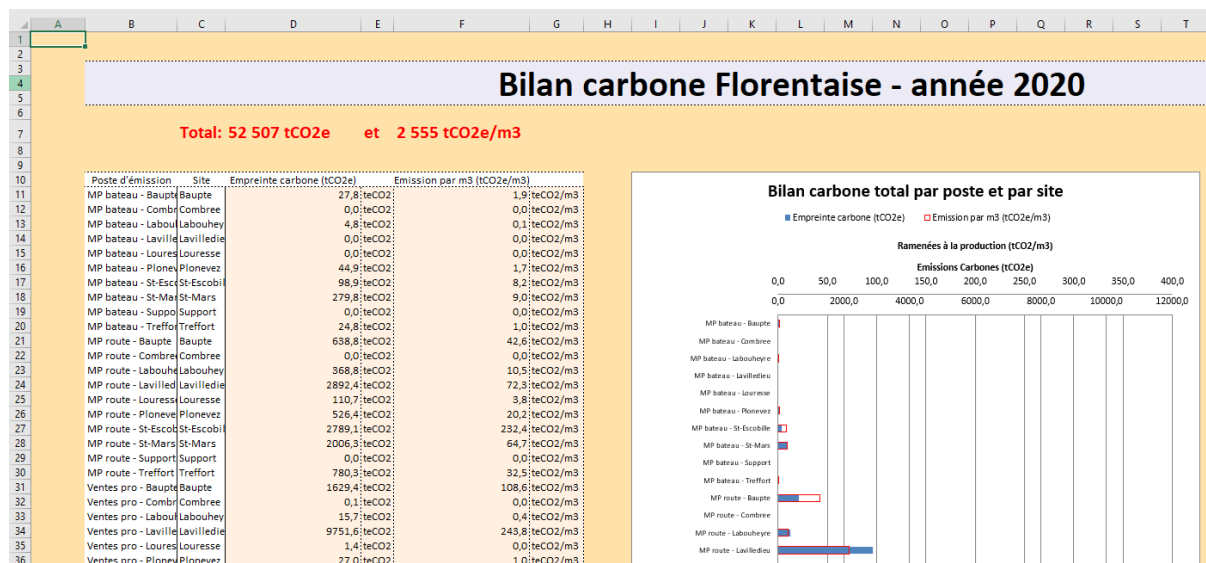


Figure 21 Onglet principal du fichier résultat

Cet onglet ne renseigne pas grand-chose d'autre que le total sur tous les postes (et le total ramené à la production). Il faut davantage de précision pour pouvoir analyser les données.

### b. Résultats détaillés

L'onglet des résultats détaillés propose plusieurs tableaux retranscrits en graphes.

Le premier est le résultat par poste ou par usine du bilan carbone (Figure 22 et Figure 23)<sup>27</sup>.

On peut ici identifier les postes les plus émissifs, qui sont, dans l'ordre et sans surprise ; le fret aval, la fabrication de matières premières et le fret amont, puis le CO<sub>2</sub> issu de la tourbe.

Cela est cohérent avec les résultats trouvés dans les anciens bilans carbones de l'entreprise.

<sup>27</sup> Dans Excel, la fonction « Intervertir lignes/colonnes » permet de passer de l'un à l'autre.

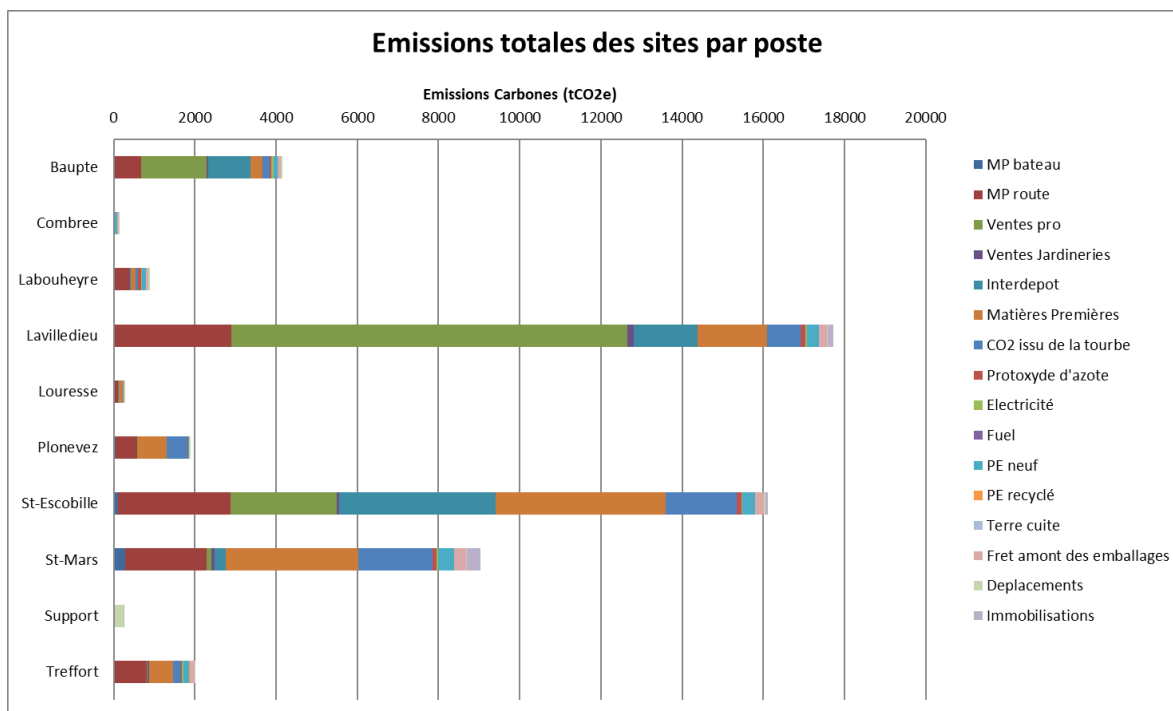


Figure 22 Graphe résultat par usine

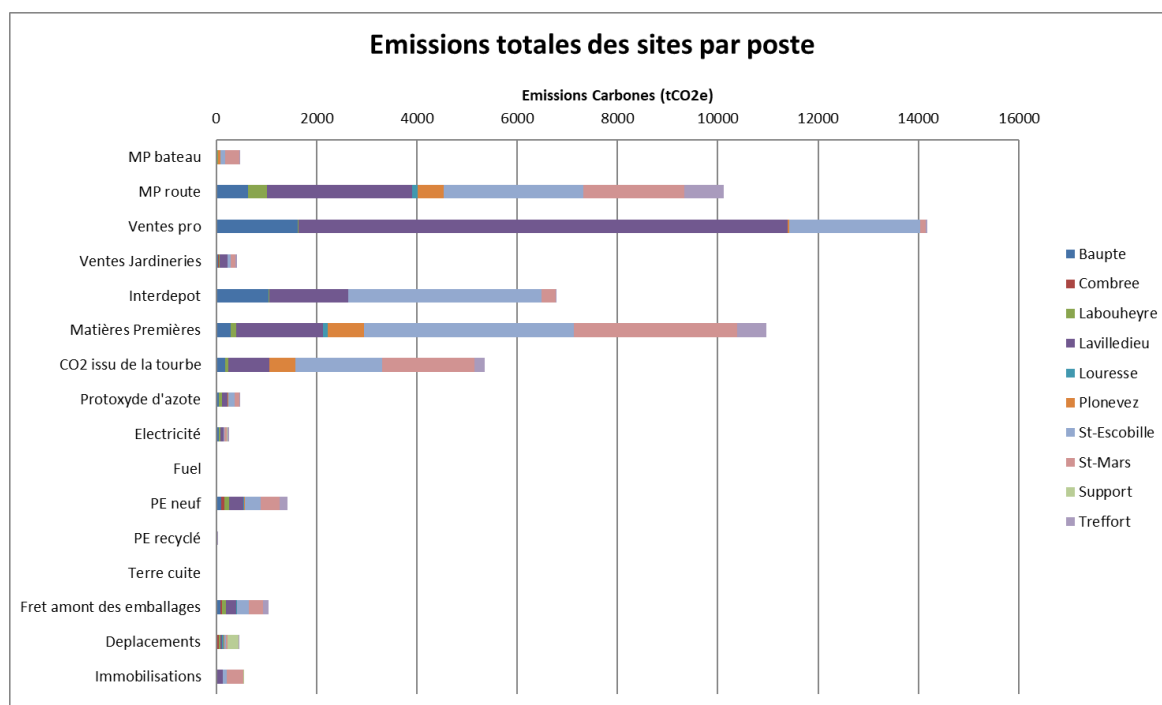


Figure 23 Graphe résultat par poste

Plus bas dans le fichier se trouvent les mêmes données rapportées aux quantités produites. En effet, dans la Figure 22 on peut identifier les usines les plus émettrices, mais il peut être utile de les comparer à production égale.

## Regroupement des postes et focus sur la tourbe

Tableau 21 Détail par regroupement de postes, et précision sur la tourbe

	Fret amont	Fret aval	Sacherie	Mat. Prem.	Energie	Utilisation EoL	Autre	Total
Emissions totales (tCO <sub>2</sub> e)	10593,9	21353,7	2486,1	10969,3	251,8	5833,0	1019,5	51487,8
Emissions ramenées à la production (tCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )	501,2	1032,9	115,7	575,1	10,0	289,0	31,5	2523,7
EGES tot dues à la tourbe	5077			7765		5359		18201
Emissions totales (tCO <sub>2</sub> e) (%)	20,6%	41,5%	4,8%	21,3%	0,5%	11,3%	2,0%	100,0%
Emissions ramenées à la production (tCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> ) (%)	19,9%	40,9%	4,6%	22,8%	0,4%	11,5%	1,2%	100,0%

Le Tableau 21 Détail par regroupement de postes, et précision sur la tourbe regroupe les postes sous 7 étiquettes plus lisibles pour l'analyse et la communication des résultats. En outre sont proposés ici de nouveaux chiffres, exprimant dans chaque secteur les émissions de GES propres à la tourbe. Cela ne peut être fait que pour les secteurs Fret amont, Matières premières et Utilisation/EoL, car on ne peut pas séparer la responsabilité de la tourbe dans les autres secteurs.

### c. Focus sur le fret

Outre les résultats généraux, le programme permet de tracer quelques représentations graphiques des activités amont et aval de Florentaise.

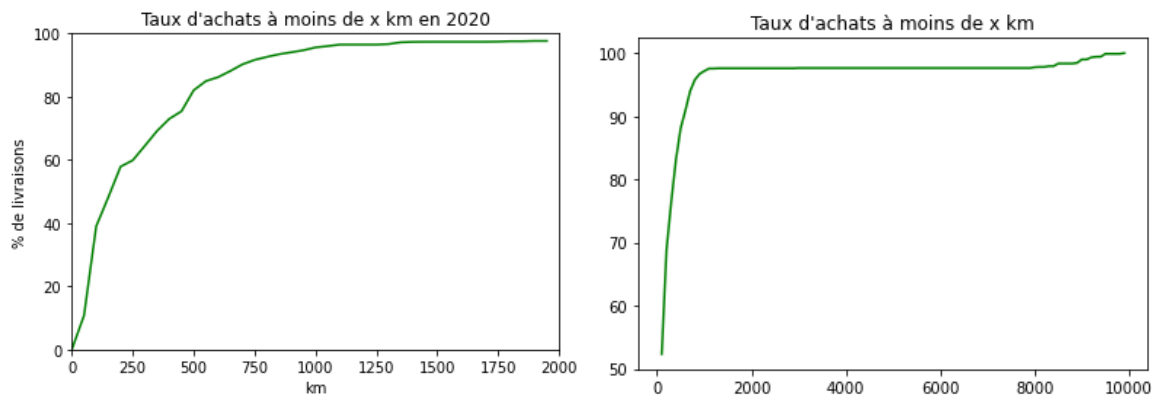


Figure 24 Proximité des achats de matières premières

On obtient sur la Figure 24 Proximité des achats de matières premières une représentation de la proportion des achats de matières premières effectués à moins de X kilomètres de l'usine où ils sont acheminés, avec les distances X en abscisses, sur l'exercice 2018/2019 en vert. L'objectif étant de réduire les distances d'approvisionnement, il est bon de s'intéresser à l'évolution de cette courbe avec les années et les efforts pour se sourcer localement. En traçant le même graphe pour l'année 2015 on obtient l'allure donnée par la courbe de la Figure 25 Courbe de proximité des achats en 2015.

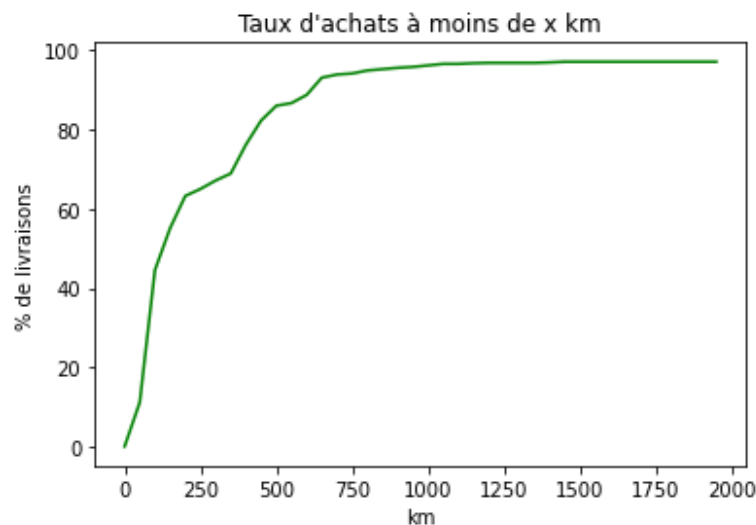


Figure 25 Courbe de proximité des achats en 2015

On y observe une rupture entre 250 et 500km, qui est comblée en 2019, montrant que des efforts ont été faits pour sourcer les matières premières entre 2015 et 2019.

De manière générale, on peut ainsi tracer la superposition des graphes, comme montré dans la Figure 26 Graphes de proximité, afin d'obtenir l'évolution de la proximité des ventes.

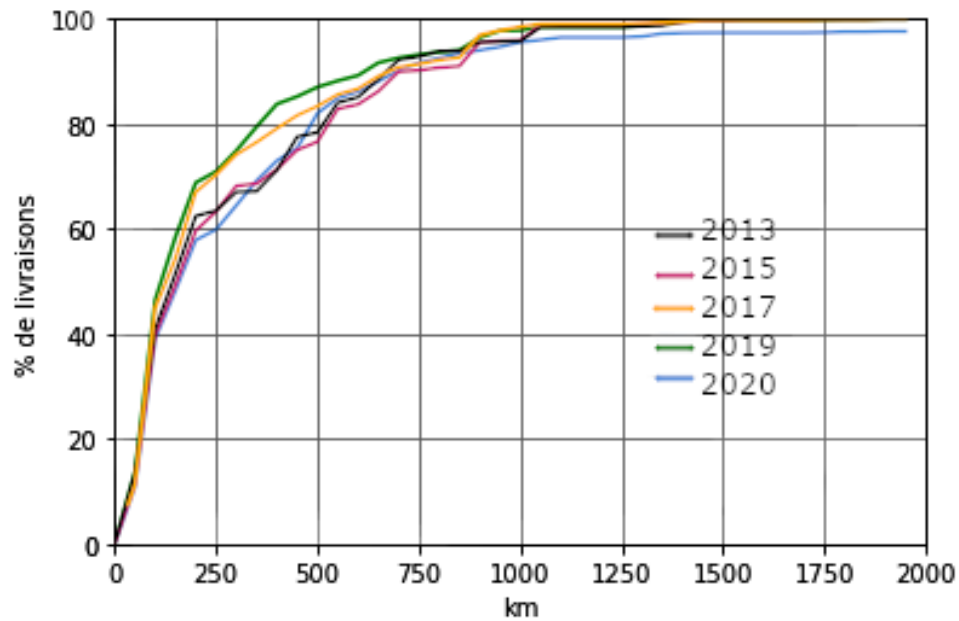


Figure 26 Graphes de proximité

D'une manière un peu plus visuelle, quoique moins exploitable, on peut représenter les provenances des matières premières sous une forme géographique, comme montré dans la Figure 27 Carte des provenances des matières premières en 2019.



Figure 27 Carte des provenances des matières premières en 2019

On peut procéder à la même analyse pour les ventes, en traçant cette fois le graphe du pourcentage des livraisons à moins de x kilomètres, avec en abscisse les distances x, comme montré dans la Figure 28 Proximité des livraisons en 2019.



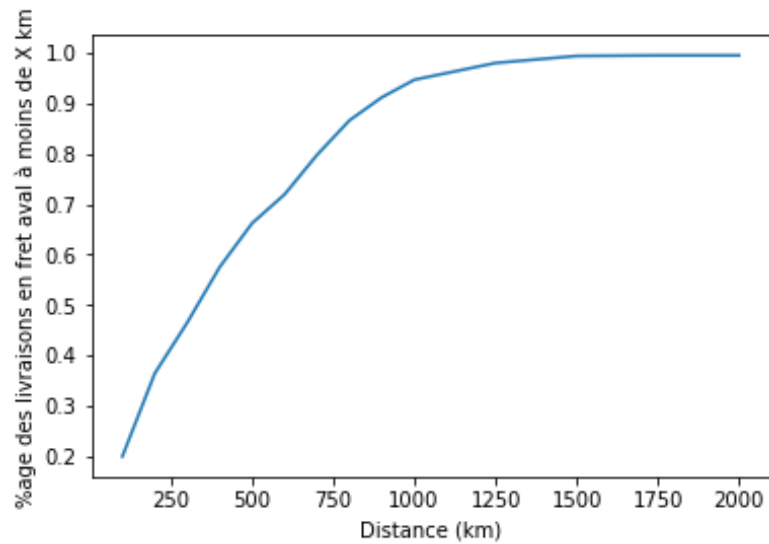


Figure 28 Proximité des livraisons en 2019

Cette fois-ci, la carte des ventes est plus foisonnante (Figure 29 Carte de proximité des ventes en 2019), mais on y identifie bien les usines de Florentaise, montrant qu'elles vendent majoritairement à proximité d'où elles sont situées.

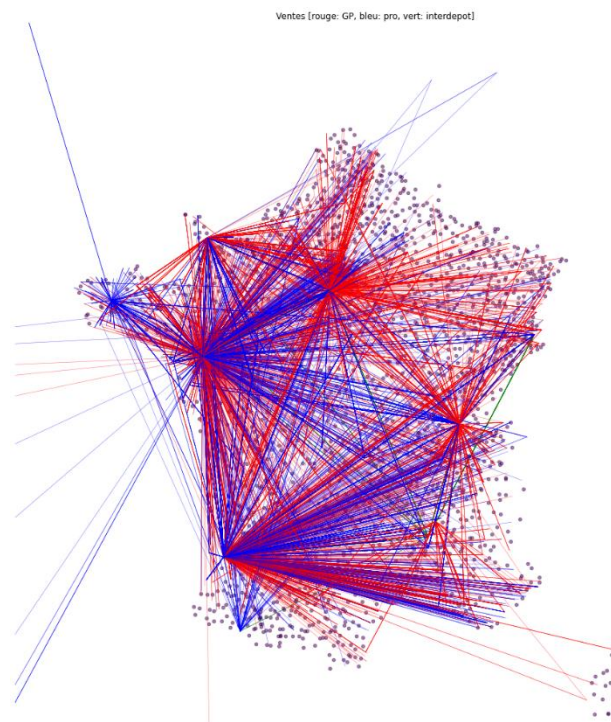


Figure 29 Carte de proximité des ventes en 2019

#### d. Fichier d'analyse

Les tableaux des parties a.a et a.b peuvent être placés dans un fichier Excel propre à l'analyse de ces données un peu plus complète. Celui-ci s'appelle Stratégie Bas Carbone.

Le premier onglet présente la trajectoire d'atténuation suivie, au fur-et-à-mesure que l'on remplit de tableau à partir de 2019. Il est représenté dans la Figure 30. Le premier tableau donne l'information de si l'on est en-dessous ou au-dessus de la trajectoire visée depuis 2019.

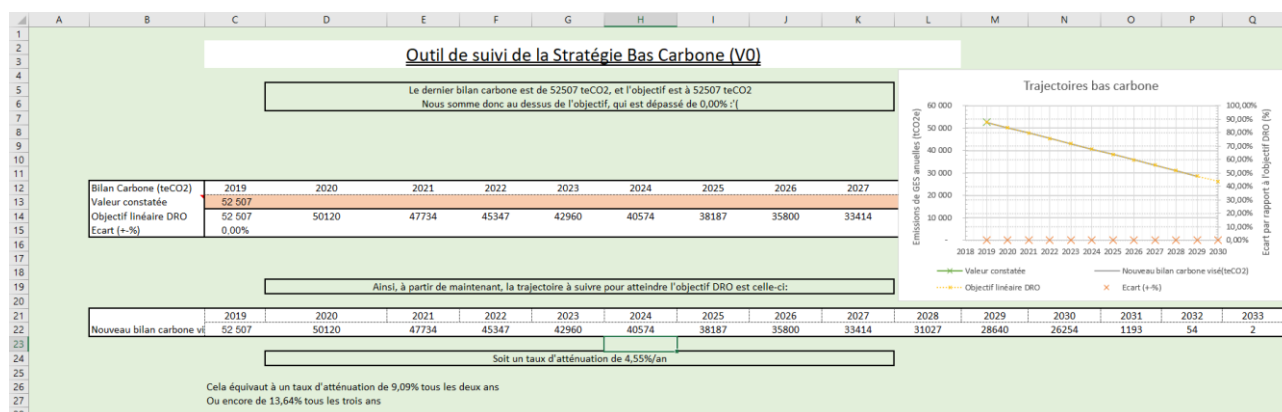


Figure 30 Premier onglet de l'outil de stratégie bas carbone

Le second tableau aide à s'intéresser à l'atténuation qu'on doit adopter désormais pour accomplir l'objectif DRO. Il donne le taux d'atténuation annuel, en pourcentage du bilan carbone, le taux d'atténuation bi-, et tri-annuel, cela pour permettre aux décideur-euses d'adopter les stratégies adéquates, et de voir plus facilement le bilan carbone comme un indicateur à minimiser dans la gestion de l'entreprise.

Le reste du fichier Excel est davantage porté sur l'analyse des postes du bilan carbone et de leur évolution. L'onglet 2, présenté dans la Figure 31, permet l'analyse du tableau de l'onglet "Résultats Détaillés" tel que sorti par le programme. Il suffit d'y copier/coller les deux tableaux. Se mettent alors à jour automatiquement les graphes, mais surtout les estimations plus bas. Elles ont pour but de donner une idée, dans le contexte actuel, de quelle serait l'efficacité de telle ou telle mesure sur la réduction du bilan carbone. La plus grande réduction, sans surprise, est celle liée à la tourbe: si l'entreprise passait à 0% de tourbe utilisée dans tous les terreaux, en la remplaçant à volume équivalent par de la Turbofibre®, le bilan carbone diminuerait de près de 30%.

L'onglet suivant (Figure 32), appelé "analyse bisannuelle" permet de comparer le résultat de deux années. Il fournit une matrice semblable aux deux tableaux de l'onglet "Résultats Détaillés", mais qui contient l'écart entre les émissions de GES en tCO<sub>2e</sub>. En haut à gauche, la même comparaison est faite, mais tous les sites Florentaise confondus, et avec le focus sur la tourbe.

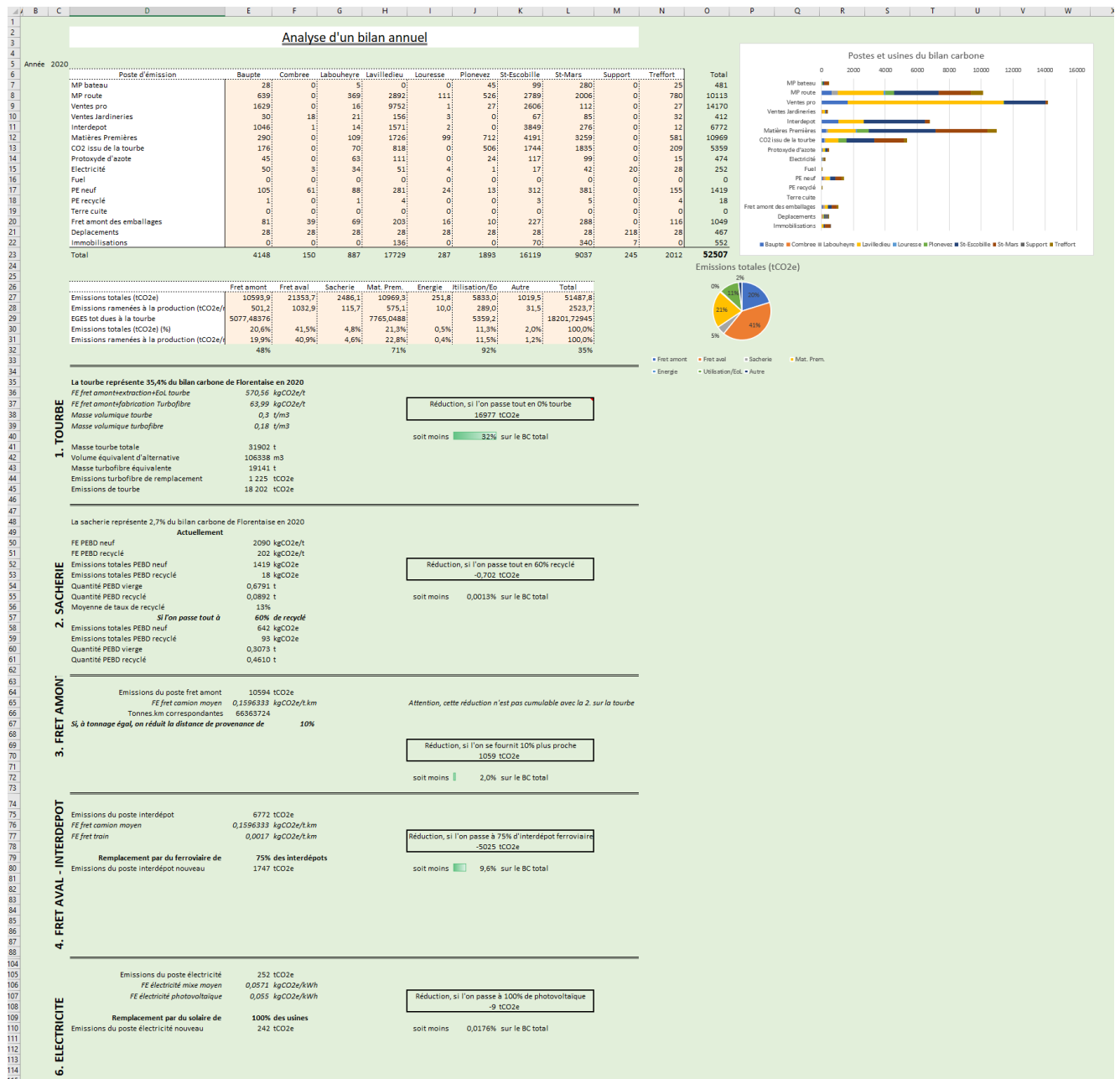


Figure 31 Second onglet de l'outil de stratégie bas carbone

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	Somme 2020	53212 tCO2e										Poste d'émission	Baupré	Combre	Labouheyre	Lavilledieu	Louresse	Plonevez	St-Escobille	St-Mars	Support	Treffort
2	Somme 2019	50580 tCO2e										MP bateau	28	0	5	0	0	45	99	280	0	25
3	Différence	2832 tCO2e										MP route	639	0	369	2892	111	526	2789	2006	0	780
4	Ecart	6%										Ventes pro	1629	0	16	9752	1	27	2606	112	0	27
5												Ventes Jardinerie	30	18	21	156	3	0	67	85	0	32
6												Interdépot	1046	1	14	1571	2	0	3849	276	0	12
7												Matières Premières	396	0	154	1822	99	727	4568	3323	0	585
8												CO2 issu de la tourbe	176	0	70	818	0	506	1744	1835	0	209
9												Prototype d'azote	45	0	63	111	0	24	117	99	0	15
10												Electricité	50	3	34	51	4	1	17	42	20	28
11												Fuel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12												PE neuf	105	61	88	281	24	13	312	381	0	155
13												PE recyclé	1	0	1	4	0	0	3	5	0	4
14												Terre cuite	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15												Fret amont des emballages	81	39	69	203	16	10	227	288	0	116
16												Déplacements	28	28	28	28	28	28	28	218	28	218
17												Immobilisations	0	0	0	136	0	0	70	340	7	0
18												REFERENCE 2020 ↓ 2019	Baupré	Combre	Labouheyre	Lavilledieu	Louresse	Plonevez	St-Escobille	St-Mars	Support	Treffort
19												MP bateau	34	0	19	0	0	19	19	33	0	1
20												MP route	279	0	382	1094	111	388	1707	1427	0	251
21												Ventes pro	2216	0	21	13263	2	37	3543	149	0	-9
22												Ventes Jardinerie	30	18	21	156	3	0	67	85	0	0
23												Interdépot	1424	2	20	2198	5	0	5237	375	0	0
24												Matières Pre	388	0	143	1228	142	667	1599	2713	0	296
25												CO2 issu de	216	0	20	347	0	375	626	1507	0	209
26												Prototype d'	14	0	79	91	0	22	69	59	0	15
27												Electricité	39	1	22	59	4	1	20	50	20	28
28												Fuel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29												PE neuf	113	23	81	284	45	13	317	400	0	151
30												PE recyclé	1	0	1	3	0	0	3	3	0	4
31												Terre cuite	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32												Fret amont d	86	15	62	199	28	9	232	286	0	108
33												Déplacement	28	28	28	28	28	28	28	28	218	28
34												Immobilisat	0	0	0	136	0	0	70	340	7	0

Figure 32 Troisième onglet, d'analyse bisannuelle de la stratégie bas carbone

## 7. Table des illustrations et tableaux

Figure 1 Fonctionnement global du Calculateur .....	3
Figure 2 Périmètre opérationnel du bilan carbone .....	5
Figure 3 Exemple de diagramme de résultat .....	7
Figure 4 Calcul du FE de broyage du CFE.....	11
Figure 5 Comptabilisation du bilan carbone des fibres de bois transformées par les usines .....	14
Figure 6 Calcul du FE du gravier .....	16
Figure 7 Bilan carbone d'un terreau moyen.....	20
Figure 8 Taux de décomposition de 100kg de carbone stable sur cent ans .....	27
Figure 9 Facteurs d'Emission relatifs à l'épandage d'engrais et autres amendements (ADEME) .....	29
Figure 10 Facteurs d'émission des transports de marchandise .....	30
Figure 11 Facteurs d'émission des éléments de sacherie .....	30
Figure 12 Répartition des postes secondaires du bilan carbone 2017 .....	31
Figure 13 Fonctionnement global du calculateur.....	33
Figure 14 Exemples de livraisons groupées.....	41
Figure 15 Exemple 1 de regroupement des livraisons .....	42
Figure 16 Exemple 2 de regroupement des livraisons .....	42
Figure 17 Non réciprocité des livraisons .....	43
Figure 18 Onglet principal du fichier résultat.....	44
Figure 19 Graphe résultat par usine.....	45
Figure 20 Graphe résultat par poste .....	45
Figure 21 Proximité des achats de matières premières .....	47
Figure 22 Courbe de proximité des achats en 2015.....	47
Figure 23 Graphes de proximité.....	48
Figure 24 Carte des provenances des matières premières en 2019 .....	48
Figure 25 Proximité des livraisons en 2019.....	49
Figure 26 Carte de proximité des ventes en 2019.....	49
Figure 27 Premier onglet de l'outil de stratégie bas carbone .....	50
Figure 28 Second onglet de l'outil de stratégie bas carbone .....	51
Figure 29 Troisième onglet, d'analyse bisannuelle de la stratégie bas carbone.....	51
Tableau 1 Postes de la méthode ADEME adaptés à Florentaise.....	5
Tableau 2 Conversion des postes Florentaise/ADEME .....	7
Tableau 3 : FE des familles de matières premières en 2019 .....	10
Tableau 4 Calcul du FE de production de l'argile .....	11
Tableau 5 Calcul du FE de criblage des écorces .....	13
Tableau 6 Calcul des FE de transformation Hortifibre et Turbofibre .....	15
Tableau 7 Méthode de calcul du FE de la perlite expansée .....	17
Tableau 8 Propriétés de la perlite, vermiculite, argile expansée et béton allégé.....	18
Tableau 9 Calcul du FE de la perlite.....	18
Tableau 10 Facteurs d'Emission de fabrication des engrais.....	28
Tableau 11 Facteurs d'émission de fin de vie de la tourbe .....	36
Tableau 12 Nombre de livraisons et regroupement .....	37
Tableau 13 Méthodes d'assimilations de noms .....	38
Tableau 14 Détail par regroupement de postes, et précision sur la toube .....	46

## 8. Bibliographie

ADEME, ARPE, Région Midi-Pyrénées. (2010). FICHE MATERIAU: Perlite, Vermiculite, et Argile Expansée. MA07.

- Ahlholm, U. a. (1990). CO<sub>2</sub> release from peat-harvested peatlands and stockpiles. *International Conference on Peat Production and Use*.
- Boldrin, A., Hartling, K. R., Laugen, M., & Christensen, T. H. (2010). Environmental inventory modelling of the use of compost and peat in growth media. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Couwenberg, J. T. (2011). Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy. *Hydrobiologia*.
- GIEC IPCC. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Récupéré sur <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>
- Ieva Pakere, D. B. (2016). Energy efficiency indicators in peat extraction industry - a case study. *Energy Procedia*, 143-150.
- J. Cleary, N. T. (2005). Greenhouse Gas Emissions from Canadian Peat Extraction, 1990–2000: A Lifecycle analysis. *BioOne*, 456-461.
- James M. Waddington, J. P. (2009). Reducing the Carbon Footprint of Canadian Peat Extraction and Restoration. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*.
- Niko Silvan, K. S. (2012). Excavation-drier method of energy-peat extraction reduces long-term climatic impact. *Boreal Environment Research*, 263-276.

### Crédit des icones utilisés pour les schémas :

process by Diky Setiawan from the Noun Project  
Files by Komkrit Noenpoempisut from the Noun Project  
document folder by Rob Crosswell from the Noun Project  
database by Bernar Novalyi from the Noun Project  
terminal by Ashwin Dinesh from the Noun Project  
result by Pause08 from the Noun Project  
Factory by Matthieu Rodrigues from the Noun Project

Smoke by Laymik from the Noun Project  
delivery truck by Icons Producer from the Noun Project  
cargo by Bin Bon from the Noun Project  
product by Iconstock from the Noun Project  
Planting Plant by Gan Khoon Lay from the Noun Project  
Tree by ani rofiqah from the Noun Project  
Carbon Dioxide by Nicholas DeForest from the Noun Project

Document rédigé par [Lou Bedouret](#) pour Florentaise

Dernière mise à jour: mars 2021