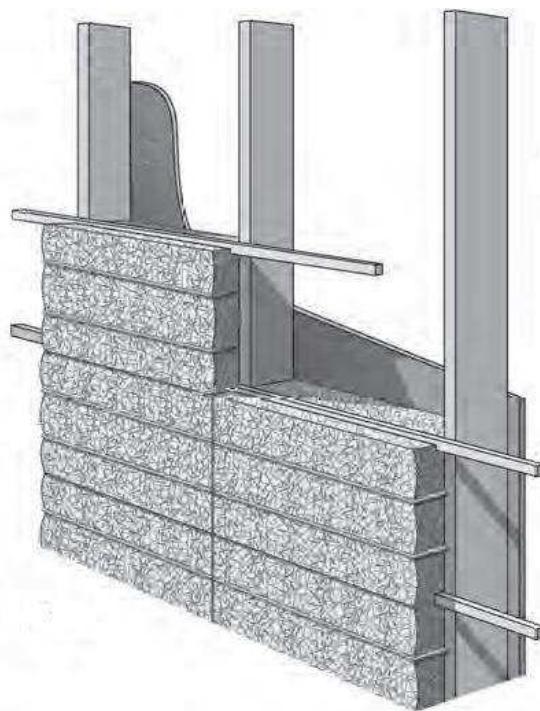


Rapport d'étude ACV / FDES conforme aux exigences de la norme NF EN 15804 (déclaration collective)

Remplissage isolant en bottes de paille

(issues de l'agriculture conventionnelle)

Conformément aux règles professionnelles de construction en paille – CP 2012



Affaire suivie par

Mohamad HAJJ CHEHADE - Laboratoire Eco-Matériaux – Chef de l'Unité Matériaux Bâtiment
<i>Tél. : 01 60 52 33 72</i>
<i>Courriel : mohamad.hajj-chehade@cerema.fr</i>
Site de Sourdun : Division Territoriale d'Ile-de-France – 120 route de Paris – BP216 – Sourdun – 77487 PROVINS

Etude réalisée par

Pascal PICHON - Laboratoire Eco-Matériaux – Unité Matériaux Bâtiment
<i>Tél. : 01 60 52 33 73</i>
<i>Courriel : p.pichon@cerema.fr</i>
Site de Sourdun : Division Territoriale d'Ile-de-France – 120 route de Paris – BP216 – Sourdun – 77487 PROVINS

Rédacteur

Pascal PICHON - DTerIdF / LEM / UMB

Relecteur

Mohamad HAJJ CHEHADE - DTerIdF / LEM / UMB

Remerciements

Cette étude est le fruit d'une collaboration exemplaire entre d'une part :

- les producteurs de paille et les constructeurs du Réseau Français de la Construction Paille (RFCP),
- le laboratoire ARVALIS – Institut du végétal,
- l'Association Générale des Producteurs de Maïs (AGPM),

et l'unité Matériaux Bâtiment du Laboratoire d'Eco-Matériaux de la Division Territoriale d'Ile-de-France du CEREMA, qui a réalisé l'étude, d'autre part.

Un grand merci à tous les acteurs en contact avec l'Unité Matériaux Bâtiment du CEREMA des structures concernées par ce projet pour le travail de recherche et l'extraction des données ayant permis de réaliser cette étude ACV et d'émettre une FDES.

Finalement, un remerciement particulier à la société EVEA qui nous a permis de réaliser techniquement cette étude en nous fournissant les logiciels SIMAPRO et Ev-Dec d'une part, et par son soutien apporté dans l'utilisation de ces outils d'autre part.

SOMMAIRE

1	Aspect généraux	1
2	Objectif de l'étude	1
3	Champ de l'étude	2
3.1	Description du produit étudié	2
3.2	Suivi de l'étude.....	6
3.3	Unité fonctionnelle	6
3.4	Usage du produit.....	6
3.5	Durée de vie de référence.....	6
3.6	Flux de référence.....	7
3.7	Frontières de l'étude	8
3.8	Critères de coupure.....	9
3.8.1	<i>Règle de coupure</i>	9
3.8.2	<i>Flux omis</i>	10
4	Inventaire de cycle de vie	10
4.1	Méthodologie et outils	10
4.1.1	<i>Enquête effectuée auprès des producteurs de paille</i>	10
4.1.2	<i>Logiciels d'ACV et Bases de données utilisés</i>	11
4.1.3	<i>Validation des données</i>	11
4.1.4	<i>Affectation</i>	12
4.2	Étape de production (module A1) : Approvisionnement en matières premières	12
4.3	Étape de production (module A2) : Transport	15
4.4	Étape de production (module A3) : Fabrication.....	15
4.5	Étape du processus de construction (module A4) : Transport	18
4.5.1	<i>Quantité de bottes de paille transportée</i>	19
4.5.2	<i>Quantité de matériaux annexes transportée</i>	19
4.6	Étape du processus de construction (module A5) : Mise en œuvre.....	20
4.6.1	<i>Technique de pose</i>	20
4.6.2	<i>Outils utilisés et consommations associées</i>	21
4.7	Étape de vie en œuvre (module B1) : Utilisation.....	22
4.8	Étape de vie en œuvre (module B2) : Maintenance.....	22
4.9	Étape de vie en œuvre (module B3) : Réparation.....	23
4.10	Étape de vie en œuvre (module B4) : Remplacement	23
4.11	Étape de vie en œuvre (module B5) : Réhabilitation.....	23
4.12	Étape de vie en œuvre (module B6) : Utilisation de l'énergie	23
4.13	Étape de vie en œuvre (module B7) : Utilisation de l'eau	23
4.14	Étape de fin de vie (module C1) : Déconstruction.....	23
4.15	Étape de fin de vie (module C2) : Transport	25
4.16	Étape de fin de vie (module C3) : Traitement des déchets	25
4.17	Étape de fin de vie (module C4) : Elimination	26
4.18	Bénéfices et charges au-delà des frontières du système D.....	27
4.18.1	<i>Stockage temporaire de dioxyde de carbone</i>	27

4.18.2	<i>Bilan CO₂ relatif aux matériaux organiques</i>	27
5	Evaluation de l'impact de cycle de vie	29
6	Interprétation	30
6.1	Résultats	30
6.2	Cadre de validité et représentativité de la FDES	35
7	Conclusion et perspectives	35
	Documents de référence	37

Liste des figures

Figure 1 : Carte de France régionale de la production de paille étudiée.....	2
Figure 2 : Dimensions d'une botte de paille-construction	2
Figure 3 : Production annuelle de paille en France en Tonnes de 1993 à 2010	5
Figure 4 : Rendements nationaux en T/ha de 1989 à 2011.....	5
Figure 5 : Etapes de cycle de vie et modules relatifs à la norme NF EN 15804.....	8
Figure 6 : Arbre des processus et frontière du système	9
Figure 7 : Cycle de l'azote en agriculture	13
Figure 8 : Emplacement des liteaux de compression	20
Figure 9 : Dressage des parois en paille	21
Figure 10 : Etapes du cycle de vie d'un produit organique, émissions de CO ₂ fossile et cycle du Carbone issu de la biomasse.....	28

Liste des tableaux

Tableau 1 : Compositions de la paille et du bois	3
Tableau 2 : Compensation en fertilisants et émissions associées	14
Tableau 3 : Résultats de l'enquête agricole	15
Tableau 4 : Processus agricoles	17
Tableau 7 : Livraisons de la paille au chantier.....	18
Tableau 5 : Dimensions de la maison « MOZART ».....	19
Tableau 6 : Quantité de matériaux annexes transportés	19
Tableau 8 : Mise en œuvre	22
Tableau 9 : Scénario de fin de vie de la paille (extrait des Règles Professionnelles).....	24
Tableau 10 : Scénario moyen français de la fin de vie des produits bois de la construction	24
Tableau 11 : Transport de fin de vie.....	25
Tableau 12 : Traitement des déchets (paille et liteaux) en CSDND	26
Tableau 13 : Traitement des déchets (liteaux) en UIOM	26
Tableau 14 : Revalorisation de déchets (liteaux et vis)	26
Tableau 15 : Fin de vie du déchet « Paille + enduit »	26

1 Aspect généraux

Cette étude a été commandée en 2011 par la Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, dans le cadre des « actions bio-sourcées » destinées à favoriser l'émergence des filières vertes de l'éco-construction.

Connues depuis des siècles, les qualités d'isolant thermique et phonique de la paille trouvent aujourd'hui un regain d'intérêt dans le cadre de l'éco-construction et de l'éco-rénovation. Durant la dernière décennie, la population a pris conscience des enjeux environnementaux liés à la construction, le Grenelle de l'environnement a posé les bases d'une réflexion collective de l'État, des industriels et des filières vertes, en pointant un changement des habitudes et pratiques dans le domaine de la construction.

Cette étude fait partie d'un ensemble de mesures mises en oeuvre dans le cadre des « actions bio-sourcées », initiées par l'État et les filières vertes. Elle a été réalisée en partenariat avec la filière nationale de la construction en paille et le recueil des données établi avec l'aide des membres du réseau français de la construction en paille « RFCP » (Les Compailleurs) (Voir carte, figure 1). Les données économiques et scientifiques ont été requises auprès de l'association générale des producteurs de maïs (AGPM) et de l'institut du végétal (Laboratoire ARVALIS).

2 Objectif de l'étude

Traditionnellement, les pailles issues de la filière céréalière ont une valorisation agricole (broyage et enfouissement dans le sol, paillis horticoles, litières animales, etc.), ainsi que dans le domaine de l'énergie biomasse (pellets de paille pour chaudières biomasse). Ces dernières années, la prise de conscience de la nécessité de préserver l'environnement, les ressources non-renouvelables et de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), ont redonné une seconde vie à une technique déjà ancienne, la construction en paille.

Cette étude a pour objectifs de :

- communiquer sur l'intérêt environnemental de l'utilisation de la paille dans le domaine de la construction. Les résultats à atteindre en terme d'isolation thermique imposés par la RT 2005 et aujourd'hui la RT 2012, ont déjà amené les constructeurs, architectes et décideurs à se pencher sur la question de l'utilisation des matériaux bio-sourcés dans la construction. Avec la future RT 2020, les niveaux à atteindre rendront vraisemblablement nécessaire l'apport conséquent de matériaux d'origine bio-sourcée dans les constructions afin de répondre à la réglementation thermique et aux contraintes environnementales associées,
- connaître les impacts de la paille dans les différentes étapes de la production, de la mise en oeuvre et de la fin de vie pour mettre en évidence celles qui peuvent et doivent être améliorées, afin de diminuer au maximum les impacts potentiels de ce matériau,
- réaliser une analyse de cycle de vie (ACV) puis une fiche déclarative environnementale et sanitaire (FDES) de la paille constructive « non-porteuse », en tant qu'élément constituant d'un mur isolant (travail réalisé dans le respect des recommandations des normes AFNOR NF EN ISO 14040/044 et NF P01-010).

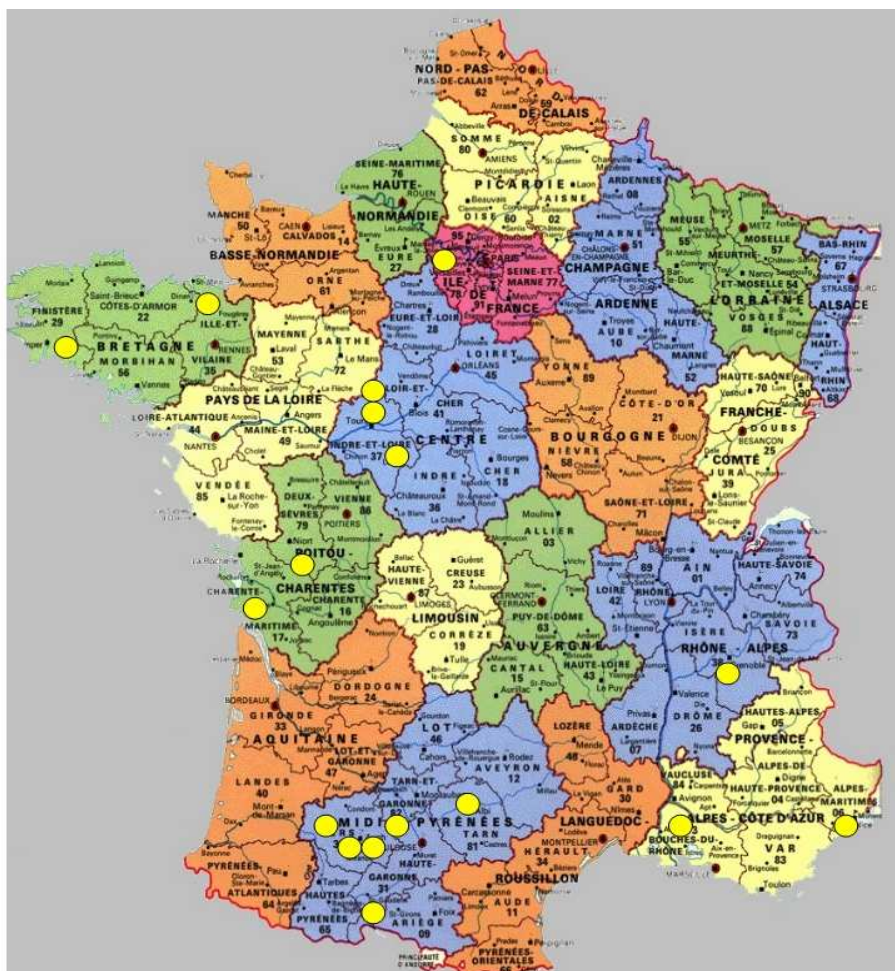


Figure 1 : Carte de France régionale de la production de paille étudiée

3 Champ de l'étude

3.1 Description du produit étudié

La paille faisant l'objet de cette étude est issue d'une culture de céréale conventionnelle (en général de blé) et se présente sous la forme de petites bottes (Voir figure 2). Elle est récoltée à l'andain après la moisson et stockée. Dans de rares cas, les bottes ne subissent pas de stockage et sont livrées directement du champ au chantier.

Caractéristiques d'une botte de paille :

Dimensions :

largeur $l = 47$ cm

hauteur $h = 37$ cm

Longueur $L =$ (environ) 100 cm

Masse volumique retenue = 100 kg/m^3

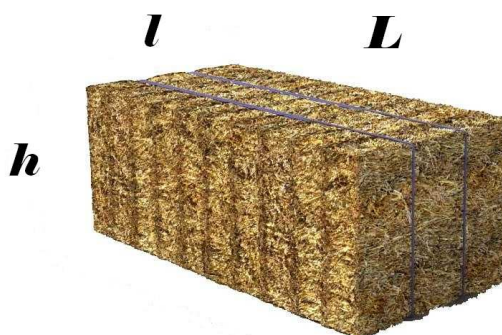


Figure 2 : Dimensions d'une botte de paille-construction

La botte de paille est liée à l'aide de deux ficelles en polypropylène positionnées sur la longueur.

Pour une destination de la paille en construction, et selon les règles professionnelles, 3 caractéristiques sont essentielles et doivent être maîtrisées :

- la masse volumique : les remontées de terrain au travers des bordereaux de contrôle-qualité des bottes de paille (annexes A1 & A2 des règles professionnelles) confirment que la masse volumique moyenne est de 100 kg/m³. Cette masse volumique sera celle retenue pour notre étude,
- le degré d'humidité, qui doit être inférieur à 20 % pour respecter les exigences de mise en œuvre,
- l'orientation des fibres : dans notre cas, une pose à plat, face visible.

La paille constructive est un matériau organique, principalement composée de parois végétales. Ces parois végétales sont composées de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine. Ce matériau a effectivement une composition similaire à celle du matériau bois. Une comparaison des taux de leurs constituants est présentée dans le tableau 1 :

Tableau 1 : Compositions de la paille et du bois

	Cellulose (%)	Hémicellulose (%)	Lignine (%)	
Paille	45 - 55	20 - 25	8 - 12	% de MS
Bois	40 - 50	15 - 25	20 - 30	% de MS

* : Matière Sèche

Sources :

- **Paille** : « Synthèse sur les pailles de céréales », Comité National des Coproduits, ADEME, Institut Technique des Céréales et des Fourrages (ITCF), 1991,
- **Bois** : « Analyse de Cycle de Vie de charpentes bois taillées de fabrication française », FCBA, FFB 2009.

La formule de mesure de l'humidité d'un bois est définie comme le rapport de la masse d'eau qu'il contient sur sa masse anhydre. Elle s'exprime de la façon suivante :

$$\text{Humidité (\%)} = (\text{Masse humide} - \text{Masse anhydre}) \times 100 / \text{Masse anhydre}$$

La mise en évidence de compositions similaires permet, par extension, d'appliquer au matériau paille constructive les règles régissant les catégories de produits de construction en bois, comme les projets de normes PR NF EN 16449 et 16485, entre autres.

Pouvoir Calorifique Inférieur :

L'étude Agricole de 1998, réalisée conjointement par l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) et l'ITCF (Institut Technique des Céréales et des Fourrages), montre une série de valorisations énergétiques possibles de la paille, considérée comme élément ligno-cellulosique de la biomasse. Cette étude donne un Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) de 16,51 MJ/kg de MS et un Pouvoir Calorifique Supérieur (PCS) de 18,79 MJ/kg de MS.

L'équation reliant le pouvoir calorifique inférieur au taux d'humidité du combustible est, selon l'étude de juin 2001 « Mesure des caractéristiques des combustibles bois – Evaluation et proposition des méthodes d'analyse de combustible » menée conjointement par l'ADEME, CrittBois (Centre

Régional d'Innovation et de Transferts Technologiques des industries du bois), FiBois (Interprofession de la filière bois de l'Ardèche et de la Drôme) et le CTBA (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement) :

$$PCI_H = PCI_O \times (100 - H) / 100 - 0,0244296 \times H$$

Le PCI est exprimé en MJ/kg

Où :

PCI_H est le Pouvoir Calorifique Inférieur du bois au taux d'humidité H,

PCI_O est le Pouvoir Calorifique Inférieur du bois anhydre,

H est le taux d'humidité en %.

Les règles professionnelles exigeant, pour sa mise en œuvre, que le taux d'humidité de la paille doit être inférieur à 20 %, il en découle que le Pouvoir Calorifique Inférieur de la paille au taux d'humidité de 20 % est de 12,72 MJ/kg.

De la même façon, l'étude de 2008 sur le « référentiel combustible bois énergie : les plaquettes forestières » réalisé pour l'ADEME, détermine un PCI anhydre de 20 MJ/kg pour les résineux (pin Douglas), soit 15,5 MJ/kg au taux d'humidité de 20%.

Calcul de la part de paille destinée à la construction par rapport à la production de paille totale nationale :

Une enquête réalisée par l'association « Empreinte » à la demande de RFCP, a déterminé qu'entre 2007 et 2010, 310 maisons en paille ont été construites, soit sur une période de 3 ans, 103 maisons par an.

Une maison de typologie « MOZART » (Source : CSTB) de plain-pied, comprenant 3 chambres, une grande pièce de vie et un garage, d'environ 100 m² au sol (annexe 5), a été prise en référence pour le calcul du nombre de bottes nécessaires à sa construction. Il faut ainsi 208 bottes de paille pour le remplissage de l'ossature de ce type d'habitation, le détail du calcul est en annexe 6, et a été validé par le RFCP.

Il est possible d'en déduire que la quantité de paille destinée à la construction au niveau national est de :

$$103 \times 208 = 21\,424 \text{ bottes} \times 17,39 \text{ kg} = 372,56 \text{ Tonnes},$$

Pour une production nationale en 2010 de 30 millions de tonnes de paille en culture céréalière, on obtient un pourcentage de paille-construction par rapport à la production totale de paille au niveau national de 0,0012 %

Renouvelabilité de la paille :

La France produit annuellement environ 30 millions de tonnes de paille :

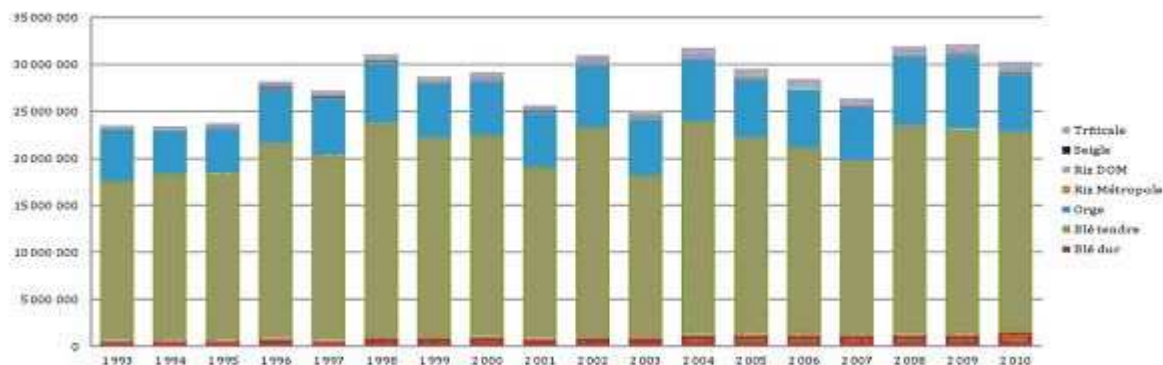


Figure 3 : Production annuelle de paille en France en Tonnes de 1993 à 2010

Environ 40% de la paille produite retourne immédiatement au sol (par broyage). Le reste de la paille est essentiellement employé comme litière animale et remis dans les champs sous forme de fumier. Les agriculteurs sont à la fois équipés pour broyer la paille et épandre dans les champs, le fumier, le compost ou les déchets végétaux broyés (Source : ADEME).

Rendement national :

Le rendement national moyen entre 1989 et 2011 avec une coupe de la céréale à 10 cm, soit 75% du rendement en tonnes à l'hectare, est égal à $7 \times 0,75 = 5,25$ T/ha (Source : Laboratoire ARVALIS).

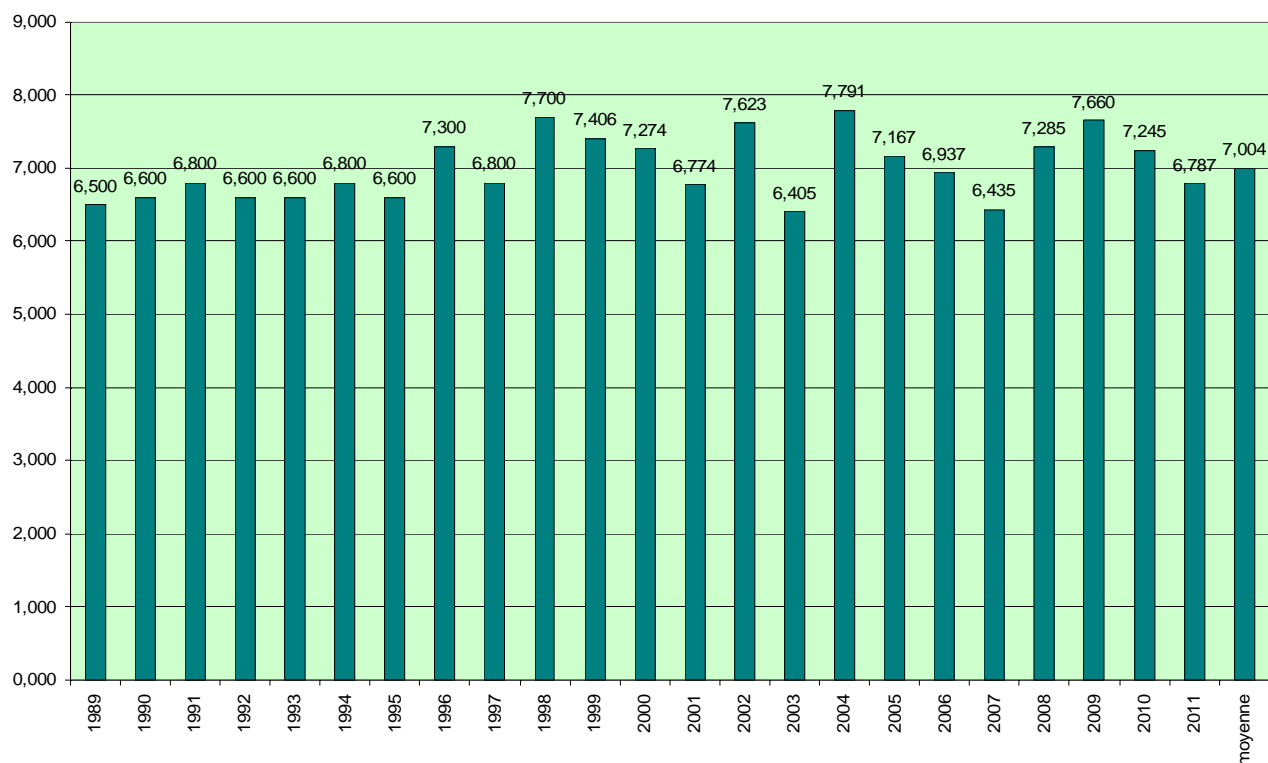


Figure 4 : Rendements nationaux en T/ha de 1989 à 2011

3.2 Suivi de l'étude

Cette étude s'appuie, pour sa partie agricole, sur les données recueillies en 2011 auprès d'un panel représentatif de la production des différentes régions de France métropolitaine en matière de paille pressée au champ sous forme de « petites bottes » (Voir carte, figure 1). Le recueil de données, établi seulement auprès des producteurs adhérents à RFCP et à ses critères de production, reflète donc uniquement les qualités d'un matériau respectant le cahier des charges établi par cette filière dans ses règles de métier (Règles consultables sur le site : <http://www.compailleurs.eu/rfcp/1-projet-propaille---regles-professionnelles>).

Ces règles professionnelles de construction en paille ont par ailleurs été approuvées par la Commission Prévention Produit (C2P) de l'Agence Qualité Construction (AQC).

L'étude menée ici repose sur une aptitude à fournir de la matière-paille selon des processus de production clairement identifiés lors de notre enquête. En effet, la demande en paille-construction n'étant pas systématique et saisonnière, il n'est pas possible, dans cette étude, de quantifier un flux matière systématique et significatif.

Le groupe de travail ayant participé au pilotage, à l'orientation et au suivi de l'ACV et de la FDES est composé de membres des différentes structures, publiques et privées, oeuvrant dans le domaine de la construction et de la paille :

Acteurs institutionnels

- Monsieur Patrick DEGRANGE (MEDDE/DRIEA/PST/CETE-IF/LEM/UMB),
- Monsieur Mohamad HAJJ CHEHADE (CEREMA/DterIdF/LEMUMB),
- Monsieur Pascal PICHON (CEREMA/DterIdF/LEMUMB).

Acteurs privés

- Madame Afsaneh LELLAHI (ARVALIS),
- Messieurs Luc FLOISSAC et Jean-Baptiste THIEVARD (RFCP),
- Monsieur Gildas COTTEN (AGPM).

3.3 Unité fonctionnelle

Assurer une fonction d'isolation répartie sur 1 m² de mur en paille non porteuse (en élément de remplissage, avec liteaux de compression), hors ossature et enduits externe ou interne, d'une résistance thermique de 7,1 m².K/W pour une épaisseur du mur de paille de 37 cm, selon les règles professionnelles de construction en paille (CP 2012), pour une durée de vie de référence de 50 ans.

3.4 Usage du produit

Le matériau Paille de construction est utilisé en respect des règles professionnelles de la Construction en Paille (CP 2012). Il doit répondre à des caractéristiques et des règles de mise en oeuvre pour réaliser des murs.

3.5 Durée de vie de référence

La paille est un élément de remplissage de mur non-porteur, assurant également une fonction d'isolation répartie, dont la durée de vie est établie de manière réglementaire à 50 ans.

Nota : Dans le cadre d'une étude de Qualité Environnementale des Bâtiments par son analyse de cycle de vie, il faudra penser à ajuster la durée de vie du produit (mur non-porteur en paille de remplissage) à celle de l'ouvrage.

La construction en bottes de paille a commencé à la fin du XIX siècle aux USA. De nombreux bâtiments édifiés à cette époque sont toujours occupés et en bon état. En France, le plus ancien bâtiment construit de cette manière est probablement la maison Feuillette à Montargis qui date de 1920 (voir <http://maisonfeuillette.compaillons.eu/>). Cette maison qui accueille aujourd'hui le CNCP (Centre nationale de la Construction en Paille) est toujours habitée et en excellent état. La paille n'y présente aucun signe d'altération.

3.6 Flux de référence

Les flux de référence des matériaux nécessaires pour assurer la fonction définie dans l'unité fonctionnelle représentent une masse totale (M_T) de 38,3569 kilogrammes, et se décomposent comme suit :

- 37 kg/UF de paille de masse volumique de 100 kg/m^3 et d'humidité relative de 20%, représentant un taux de 96,46% de M_T . La masse d'une botte est quant à elle égale à $0,37 \times 0,47 \times 1 \times 100 = 17,39 \text{ kg}$,
- 0,0333 kg/UF de ficelle de type 350, liant une botte, d'une longueur de $[(1 + 0,37) \times 2] \times 2 = 5,48$ mètres / botte, représentant un taux de 0,087% de M_T ,
- 0,0286 kg/UF de ficelle de type 150, liant un ballot de 14 bottes, d'une longueur de $[(2 \times 0,47 \text{ m}) + (7 \times 0,37 \text{ m})] \times 2 \times 4 = 28,24$ mètres, représentant un taux de 0,075% de M_T ,
- 1,27 kg/UF pour 3 liteaux en pin douglas assurant la compression des bottes de paille, de masse volumique 490 kg/m^3 et d'humidité relative de 20 %, de section 27 x 32 mm, représentant un taux de 3,31% de M_T ,
- 0,025 kg/UF de vis, pour la fixation des liteaux sur l'ossature bois, l'UF comprenant 5 vis de 5 grammes, représentant un taux de 0,065% de M_T .

Nota : aucune substance n'appartient à la liste candidate selon le règlement REACH.

**Arbre des processus d'un mur de paille constructive
(dans une structure de type ossature bois)**

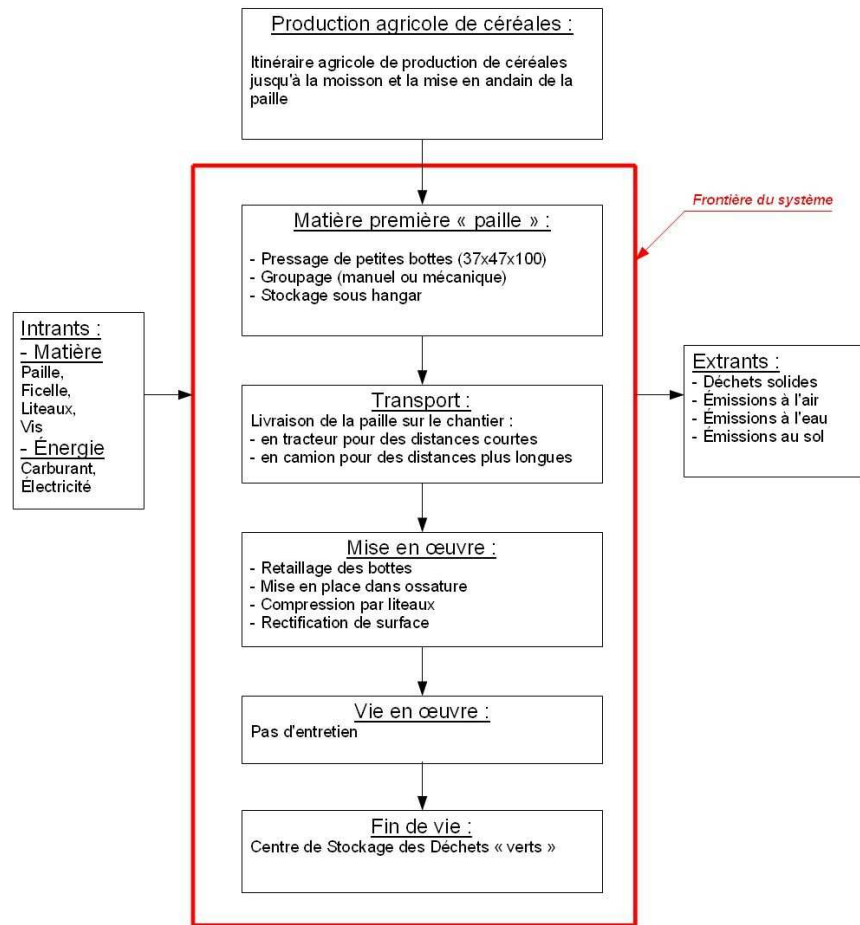


Figure 6 : Arbre des processus et frontière du système

3.8 Critères de coupure

3.8.1 Règle de coupure

Extrait de la norme NF EN 15804 (§ 6.3.5.) :

Les critères d'exclusion d'intrants et d'extrants (règle de coupure) dans l'ACV doivent respecter la procédure suivante :

- tous les entrants et extrants d'un processus (élémentaire) pour lesquels des données ICV sont disponibles doivent être inclus dans le calcul. Les données manquantes peuvent être remplacées selon des hypothèses conservatrices par des données moyennes ou génériques. Toutes les hypothèses relatives à de tels choix doivent être documentées ;
- en cas de données d'entrée insuffisantes ou manquantes pour un processus élémentaire, les critères de coupure doivent être de 1% pour la consommation d'énergie primaire renouvelable et non renouvelable et de 1% de la masse totale entrante de ce processus élémentaire. Le total des flux entrants négligés par module doit être égal au maximum à 5% de la consommation d'énergie et de la masse. Des hypothèses conservatrices associées à des contrôles de plausibilité et à un dire d'expert peuvent être utilisés pour démontrer le respect de ces critères ;

- il convient notamment de veiller à inclure les flux de matières et d'énergie connus pour être susceptibles de provoquer des émissions significatives dans l'air et l'eau ou le sol, en relation avec les indicateurs environnementaux de la présente norme. Des hypothèses conservatrices associées à des contrôles de plausibilité et à un dire d'expert peuvent être utilisés pour démontrer le respect de ces critères.

Cette règle de coupure n'a pas été appliquée dans la présente étude.

3.8.2 Flux omis

Lors de l'inventaire de cycle de vie, et au regard du § 6.3.5 de la norme XP P 01-064/CN, les flux qui peuvent être omis des frontières du système sont :

- l'éclairage, le chauffage et le nettoyage des ateliers,
- le département administratif,
- le transport des employés,
- la fabrication et la maintenance lourde de l'outil de production et des systèmes de transport (machines, camions,...) pour chaque étape.

Dans notre étude, la fabrication, la maintenance et la fin de vie des biens d'équipement (machines, tracteurs, camions,...) ne sont donc pas prises en compte. De plus, les bâtiments et machines agricoles relatifs au processus audités sont considérés comme amplement amortis au cours de leur durée de vie, et, au regard de la durée de vie des matériaux générés. Les impacts associés aux activités agricoles sont considérés similaires à ceux du transport routier, incluant production, transport, stockage et consommation de carburant desdites machines.

4 Inventaire de cycle de vie

4.1 Méthodologie et outils

4.1.1 Enquête effectuée auprès des producteurs de paille

Une étude bibliographique a été menée pour vérifier la disponibilité de données agricoles dans la culture de la paille destinée à la construction. Cette étude a révélé que certaines données sont peu ou pas disponibles telles que la consommation des tracteurs et les temps de travaux agricoles.

Devant cet état des lieux et à la demande de la filière, une enquête a été déclenchée auprès des producteurs de paille-construction, c'est-à-dire :

- à partir d'une base de données nationale des producteurs de paille-construction transmise par le Réseau Français de Construction en Paille, 17 exploitants ont été sondés par le CETE Ile-de-France,
- les producteurs utilisant une presse à petites bottes rectangulaires dont les dimensions du canal sont proches de 37x47 centimètres,
- tous ces producteurs ont fourni au moins une fois de la matière-paille pour une construction et sont susceptibles à tout moment d'en fournir de nouveau.

La localisation géographique des producteurs interrogés est représentée sur la figure 1, les paramètres audités sont répertoriés au chapitre 6.2.1.a, le schéma récapitulatif des différents processus rencontrés est en annexe 1 et le tableau récapitulatif des résultats de l'enquête en annexe 2.

Le dépouillement de cette enquête montre que les différents processus rencontrés sont :

- pour les opérations de pressage et de groupage :
 - tous les producteurs pressent des bottes de paille de petites dimensions, soit 37 x 47 x 100 cm environ,
 - 3 producteurs reviennent effectuer une opération de groupage,
 - 3 producteurs effectuent une opération de pressage et groupage simultanée,
 - 11 producteurs ne regroupent pas leurs bottes,
- pour l'opération de chargement des bottes effectuée sur le champ :
 - 9 producteurs chargent les bottes sur une remorque à la main,
 - 4 producteurs chargent les bottes sur une remorque à l'aide d'un chargeur frontal,
 - 4 producteurs utilisent une autochargeuse,
- pour l'opération de déchargement des bottes sur le lieu de stockage :
 - 1 producteur ne stocke pas les bottes et livre directement celles-ci sur le chantier,
 - 8 producteurs déchargent les bottes à l'aide d'un chargeur frontal,
 - 8 producteurs déchargent les bottes manuellement.

4.1.2 Logiciels d'ACV et Bases de données utilisés

Une analyse de cycle de vie nécessite, par son grand nombre d'éléments ou de substances concernés, l'utilisation d'outils informatiques. Ces éléments sont répertoriées dans des bases de données.

Pour cette étude, le logiciel Simapro (version 8.0.4) complété par la base de données Ecoinvent (version 3.1) ont été employés pour la réalisation de l'ACV. La création de la Fiche Déclarative Environnementale et Sanitaire (FDES) a nécessité l'utilisation du module Ev-DEC (version 3.02) et de sa base de données associée Mat France (version 2.09). Tous ces outils informatiques ont été fournis par la société EVEA.

4.1.3 Validation des données

La validation et la qualité des données sont le reflet de la disponibilité des données sources réelles issues d'audits « terrain », allant des étapes d'approvisionnement des matières premières, jusqu'à la fin de vie du matériau, en passant par l'étape de mise en oeuvre de la paille.

Les données présentées dans cette étude sont :

- « à dire d'expert », fournies par ARVALIS et l'AGPM, pour l'itinéraire agricole,
- réelles pour les étapes de production et de livraison de la paille,
- une mise en oeuvre selon les règles professionnelles,
- génériques, pour le processus de fin de vie, en l'absence d'un circuit de revalorisation existant lié à l'absence de déconstructions réalisées à ce jour,

4.1.4 Affectation

Attribuer une allocation zéro à la culture de la paille avant sa mise en andain est principalement justifié par (Source : ARVALIS) :

- l'itinéraire technique n'a pas pour finalité la production de paille,
- le différentiel prix grain / paille important,
- l'allocation économique difficile, le grain dépend du marché mondial, la paille de l'année climatique, d'une offre et d'une demande locale,
- la directive européenne sur les énergies renouvelables dans laquelle est décrite la méthode d'établissement des bilans GES pour les filières bioéthanol de blé, fait une allocation nulle à la paille,
- l'étude en cours Agri-BALYSE visant à l'établissement d'une base de données d'ACV de produits agricoles (sous l'égide de l'ADEME), a pris la même option.

4.2 Étape de production (module A1) : Approvisionnement en matières premières

La frontière du système étudié, démarre à l'étape d'approvisionnement de la matière première représentée par une paille récupérée sur le champ en andain.

Exportation de paille et amendement

Selon l'étude Agrice (ADEME 1998), environ 40% de la production française de paille reste sur les parcelles, l'essentiel étant récolté pour être destiné aux animaux (litières, alimentation). Cette part de paille laissée au sol est, dans la majorité des cas, broyée et enfouie. Cette valorisation agronomique permet, entre autres, de réduire les quantités d'engrais à épandre sur la culture suivante.

Son extraction, pour être utilisée comme produit de construction, est alors compensée par une quantité d'engrais supplémentaire sur la prochaine culture. D'après l'UNIFA (Exporter les pailles – Conséquences pour la fertilisation), la majoration des doses d'engrais pour une paille de blé doit être de 7 kg de N, 1,7 kg de P₂O₅ et 12,3 kg de K₂O par tonne de paille. Les pourcentages d'azote (N) dans chaque fertilisant sont respectivement de 32% dans l'urée - nitrate d'ammonium, de 8,4% dans le nitrate de potassium et de 14% dans le phosphate de nitrate d'ammonium, soit $0,00224 + 0,0001428 + 0,001722 = 0,004105$ kg de N total fertilisé.

Cet apport complémentaire d'engrais provoque des émissions à l'eau et à l'air. Le cycle correspondant aux migrations de l'azote est présenté dans la figure n°7 ci-dessous :

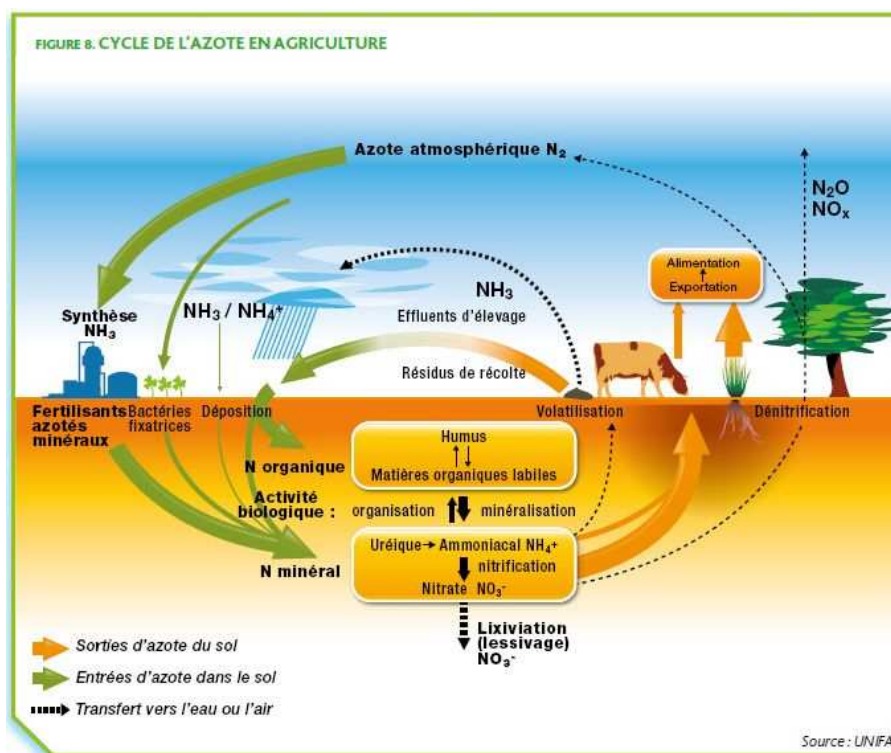


Figure 7 : Cycle de l'azote en agriculture

Les émissions à l'eau sont essentiellement composées de phosphates et de nitrates :

- selon Calzoni et al, (2000), la quantité de phosphate (PO_4^{2-}) drainée est de 1,34% de la dose de phosphore apportée. L'engrais utilisé comporte 52% de P_2O_5 , on obtient une quantité de Phosphate (PO_4^{2-}) émise de : $1,34\% \times 0,0017 \text{ kg } \text{P}_2\text{O}_5 \times 52\% \times 31/142 \times 95/31 = 0,00000792 \text{ kg}$ par kg paille produite, pour un rapport des masses moléculaire de $\text{P}/\text{P}_2\text{O}_5 = 31/142$, et $(\text{PO}_4^{2-})/\text{P} = 95/31$,
- selon le rapport OMINEA du CITEPA (2013), la fraction d'azote emporté par des phénomènes de lixiviation est de 30% (GIEC, 2006). La quantité totale d'azote (N) épandue lors de l'opération de fertilisation est de 8,4% /kg de P_2O_5 , 14% /kg de K_2O et 32% /kg de N, soit un total de 0,004105 kg. Le rapport des masses moléculaire est de $14/62 = 0,2258$, on obtient une quantité de Nitrate (NO_3) émise de : $0,004105 \text{ kg de N} \times 30\% \times 0,2258 = 0,000278 \text{ kg}$ par kg paille produite.

Les émissions à l'air sont composées d'émissions directes du sol lors de l'épandage de l'engrais, et d'émissions indirectes faisant suite, d'une part à la volatilisation et au redépôt de gaz découlant de cet épandage, et après lixiviation d'autre part.

Les émissions directes proviennent de phénomènes :

- de volatilisation de l'azote : la fraction d'azote minéral qui se volatilise sous forme de NH_3 est de 10%. Le fertilisant utilisé est de l'urée - nitrate d'ammonium, de concentrations respectives de 55,1% d'urée et 44,9% de nitrate d'ammonium, à 32% de N pour une application à 0,007 kg / kg de paille produite. Selon le CORPEN (2006), les facteurs d'émissions du nitrate d'ammonium et de l'urée sont de 2% et 15%. La quantité d'ammoniac (NH_3) suite à l'épandage est de $[(55,1\% \times 15\%) + (44,9\% \times 2\%)] \times 0,007 \times 32\% \times 10\% \times 17/14 = 0,0000249 \text{ kg } \text{NH}_3 / \text{kg}$ de paille produite,
- de nitrification et dénitrification des sols : selon le GIEC (2006), 1% de l'azote restant (90%) est rejeté sous forme de protoxyde d'azote (N_2O), soit $0,004105 \times 90\% \times 1\% \times 44/14 = 0,000116 \text{ kg } \text{N}_2\text{O}$ par kg de paille produite.

Les émissions indirectes comprennent, selon le GIEC (2006) :

- la redéposition ammoniacale : ce processus entraîne des émissions de protoxyde d'azote (N_2O), où la fraction d'azote minéral qui se volatilise est de 10% et celle qui se redépose est de 1%, soit $0,004105 \times 10\% \times 1\% \times 44/14 = 0,0000129$ kg de N_2O / kg de paille produite,
- la lixiviation, accompagnée par le processus de nitrification et dénitrification provoque des émissions de protoxyde d'azote (N_2O), où la fraction d'azote minéral qui est transportée est de 30% et la partie transformée en N_2O est de 0,75%, soit $0,004105 \times 30\% \times 0,75\% \times 44/14 = 0,000029$ kg de N_2O / kg de paille produite,
- le relargage de CO_2 du à l'utilisation d'un engrais à l'urée : l'engrais sélectionné contient 55,1% d'urée pour 0,007 kg d'engrais utilisé par kg de paille produite. Sachant que la teneur en carbone de l'urée sur sa masse atomique est de 20% (12/60), la quantité de CO_2 émis est de $0,007 \times 55,1\% \times 20\% \times 44/12 = 0,00283$ kg de CO_2 / kg de paille produite.

Tableau 2 : Compensation en fertilisants et émissions associées

Pour 1 kg de paille				
Matériaux / carburants				
Fertilisant N	Nitrogen fertiliser, as N {RER} urea ammonium nitrate production Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	7^E-3	kg
Fertilisant P_2O_5	Phosphate fertiliser, as P_2O_5 {RER} ammonium nitrate phosphate production Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	$1,7^E-3$	kg
Fertilisant K_2O	Potassium fertiliser, as K_2O {GLO} market for Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	$1,23^E-2$	kg
Emissions à l'eau				
Substance émise	Phosphate (PO_4^{2-})	Donnée Ecoinvent	$7,92^E-6$	kg
Substance émise	Nitrate (NO_3^-)	Donnée Ecoinvent	$2,78^E-4$	kg
Emissions à l'air				
Substance émise	Tropoxyde d'azote (N_2O)	Donnée Ecoinvent	$1,58^E-4$	kg
Substance émise	Ammoniac (NH_3)	Donnée Ecoinvent	$2,49^E-5$	kg
Substance émise	Dioxyde de carbone (CO_2)	Donnée Ecoinvent	$2,83^E-3$	kg

Captage du dioxyde de carbone atmosphérique :

Lors de l'itinéraire agricole et pour permettre sa croissance, la plante prélève du dioxyde de carbone atmosphérique par photosynthèse.

La quantité de carbone (C) contenu dans sa matière sèche est de :

- 50% pour le bois, selon la norme prEN 16449 « Bois et dérivés du bois – Calcul de la séquestration du dioxyde de carbone atmosphérique »,
- 46,53% pour la paille, selon l'étude « Agrice » (ADEME 1998).

La quantité de CO_2 prélevé par photosynthèse, pour des masses atomiques du carbone de 12 g/mol et du dioxyde de carbone de $12 + 16 \times 2 = 44$ g/mol, devient :

- 1,8 kilogrammes de CO_2 prélevé, pour 1 kilogramme de bois,
- 1,5 kilogrammes de CO_2 prélevé, pour 1 kilogramme de paille.

4.3 Étape de production (module A2) : Transport

La matière première paille récupérée sur le champ en andain avant transformation en petites bottes ne subi aucun transport.

4.4 Étape de production (module A3) : Fabrication

Le recueil de données relatif à l'enquête effectuée auprès des producteurs de paille-construction s'est focalisé sur :

- la localisation régionale de l'exploitation,
- la distance du trajet ferme-parcelle, la consommation du tracteur sur route lors de ce trajet,
- l'opération de pressage de la paille à l'andain : l'outil utilisé, sa consommation associée et son temps d'utilisation,
- l'opération de groupage des bottes de paille : si celle-ci existe, si elle a eu lieu en même temps que le pressage ou ultérieurement,
- la technique de ramassage utilisée : manuel ou mécanique, la consommation associée et le temps d'utilisation des machines, l'opération de chargement des bottes ou ballots, puis leur déchargement pour stockage (généralement sous hangar).

Nota : Lorsqu'un producteur n'a pu quantifier un paramètre de l'itinéraire technique (par exemple : consommation sur route,...), ce paramètre a été, lors de l'analyse des données, remplacé par le résultat de la moyenne du même paramètre (cellules en jaune dans le tableau de l'annexe 2).

Tableau 3 : Résultats de l'enquête agricole

Pour 1 kg de paille				
Action	Puissance tracteur	Consommation	Temps travaux	Nombre producteurs
	(Moyenne en CV)	(Moyenne en L/h)	(Moyenne en h/ha)	
Pressage	95,3	10,2	0,9	17
Groupage	118,3	9,3	0,8	3
Chargement manuel	88,3	10,1	0,8	9
Chargeur frontal	88,3	10,1	0,6	4
Autochargeuse	88,3	10,1	0,5	4
Déchargement manuel	88,3	10,1	0,7	8
Déchargement mécanique	88,3	10,1	0,5	8
Trajet ferme parcelle	/	8,1	Distance A-R : 3,9 km	17

- Le pressage de petites bottes se fait à partir de la paille à l'andain, c'est-à-dire une paille fauchée et tombée au sol. Cette opération de pressage est réalisée en attelant au tracteur, une presse dont le canal de compression est de forme rectangulaire et de dimensions proches de 37 x 47 centimètres. Cette opération ne peut se faire qu'à partir du moment où les conditions météorologiques et hydrométriques sont maîtrisées. En effet, il faut prévenir tout risque de dégradation future du matériau comme le pourrissement. Les bottes de paille sont liées avec deux ficelles en polypropylène de type 350. La quantité de ficelle utilisée pour lier une botte de longueur 1 mètre et de hauteur 37 centimètres, est de 5,48 mètres avec un taux de chute déterminé à 0,1% lors du ficelage.

- Le groupage est l'opération qui consiste à rassembler les bottes de paille en vue d'optimiser le temps passé à les charger et les acheminer au lieu de stockage. Les 2 opérations de pressage et groupage peuvent être simultanées ou distinctes. En effet, il est possible d'atteler un groupeur derrière la presse et ainsi de réaliser les 2 actions simultanément. Sinon, une opération de groupage sera effectuée ultérieurement à celle du pressage. Cependant, dans la plupart des cas, les producteurs se passent de cette opération de groupage et viennent charger leurs bottes éparpillées dans le champ. Les producteurs qui reviennent effectuer l'opération de groupage utilisent un groupeur automatique de bottes, du type « ARCUSIN B14 » (annexe 3). Ce modèle, le plus fréquemment utilisé, rassemble les bottes en ballots de 14 pièces, puis les relie par 4 ficelles en polypropylène de type 150. La quantité de ficelle utilisée pour un ballot de 14 bottes de dimensions précitées, est de 28,24 mètres avec un taux de chute déterminé à 0,1% lors du ficelage.
- L'opération de chargement peut être effectuée de 2 manières distinctes :
 - manuellement : chargement « à la main » à l'aide d'une fourche, les bottes les unes à la suite des autres sur une remorque attelée au tracteur. Cette opération peut-être effectuée par une ou plusieurs personnes, et donc être réalisée plus ou moins rapidement.
 - mécaniquement : utilisation soit d'un auto-chargeur attelé au tracteur qui effectue le travail de chargement automatiquement, soit d'un chargeur frontal attelé au tracteur qui prend une série de bottes, regroupées en ballots pour les charger sur une remorque. Généralement, une seule personne suffit à réaliser cette opération.
- L'opération de déchargement s'effectue de la même manière que l'opération de chargement, mais en prenant soin de ranger et « caler » correctement les bottes dans leur lieu de stockage. De ce fait, le temps de déchargement des bottes est donc généralement supérieur à celui du chargement.
- Le stockage est en général de courte durée, moins d'un an, la paille étant la plupart du temps acheminée rapidement vers un chantier. L'enquête a révélé qu'un seul des producteurs audités s'affranchit de cette étape et « impose » la date de livraison de la paille pour s'affranchir du temps de stockage, cette date étant consécutive au pressage. Les conditions de stockages rencontrées sont effectuées sous hangar :
 - sur palettes de récupération : palettes ayant été utilisées pour la livraison des produits de fertilisation sur l'exploitation, et donc non prises en compte dans les intrants,
 - sur une série de « vieilles bottes » sacrifiées,
 - ou à même le sol sur chape béton.

On notera que pendant la durée de stockage, aucune opération de maintenance ou d'entretien n'est nécessaire.

Pour effectuer la livraison de la paille sur le lieu du chantier, il faut au préalable charger la remorque en matière première. Pour cela, le matériel le plus couramment utilisé par les producteurs est un tracteur avec chargeur frontal, ou à défaut d'un chariot élévateur. N'ayant pas de données relatives aux émissions liées à l'utilisation d'un chariot élévateur, le système tracteur et chargeur frontal a été choisi comme référence par défaut, en considérant que les émissions générées par les deux systèmes sont équivalentes.

Il est à noter qu'un seul producteur n'effectue pas cette opération et livre directement sa paille au chantier de mise en oeuvre.

Les caractéristiques techniques retenues sont équivalentes à celles de chargement / déchargement mécanique de la paille en stockage, soit : une vitesse de chargement de 0,5 heure par hectare et une consommation associée de 8,1 litres de gasoil par heure.

Modélisation des processus agricoles et des intrants :

Des processus élémentaires de la base de données Ecoinvent ont été sélectionnés pour modéliser ces travaux agricoles, et sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau 4 : Processus agricoles

Pressage (1 kg de paille)				
<i>Matériaux / carburants</i>				
Carburant	Diesel {Europe without Switzerland} market for Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	1,67 ^E -3	kg
Ficelle	Polypropylene, granulate {RER} production Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	9,01 ^E -4	kg
<i>Electricité / chaleur</i>				
Fabrication ficelle	Extrusion, plastic film {RER} production Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	9,01E-4	kg
<i>Emissions à l'air et au sol</i>				
Processus de référence	Haying	Donnée Ecoinvent		
<i>Déchets et émissions pour traitement</i>				
Fin de vie ficelle	Waste polypropylene {CH} treatment of, sanitary landfill Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	9,02E-4	kg
Groupage (1 kg de paille)				
<i>Matériaux / carburants</i>				
Carburant	Diesel {Europe without Switzerland} market for Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	1,39E-3	kg
Ficelle	Polypropylene, granulate {RER} production Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	7,74E-4	kg
<i>Electricité / chaleur</i>				
Fabrication ficelle	Extrusion, plastic film {RER} production Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	7,74E-4	kg
<i>Emissions à l'air et au sol</i>				
Processus de référence	Haying	Donnée Ecoinvent		
<i>Déchets et émissions pour traitement</i>				
Fin de vie ficelle	Waste polypropylene {CH} treatment of, sanitary landfill Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	7,75E-4	kg
Stockage – Chargement manuel (1 kg de paille)				
<i>Matériaux / carburants</i>				
Carburant	Diesel {Europe without Switzerland} market for Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	1,39E-3	kg
<i>Emissions à l'air et au sol</i>				
Processus de référence	Tractor & trailer	Donnée Ecoinvent		
Stockage – Chargement autochargeuse (1 kg de paille)				
<i>Matériaux / carburants</i>				
Carburant	Diesel {Europe without Switzerland} market for Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	9,09E-4	kg
<i>Emissions à l'air et au sol</i>				
Processus de référence	Self loading	Donnée Ecoinvent		
Stockage – Chargement chargeur frontal (1 kg de paille)				
<i>Matériaux / carburants</i>				
Carburant	Diesel {Europe without Switzerland} market for Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	1,07E-3	kg
<i>Emissions à l'air et au sol</i>				
Processus de référence	Loading bales	Donnée Ecoinvent		
Stockage – Déchargement manuel (1 kg de paille)				
<i>Matériaux / carburants</i>				

Carburant	Diesel {Europe without Switzerland} market for Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	1,26E-4	kg
Emissions à l'air et au sol				
Processus de référence	Tractor & trailer	Donnée Ecoinvent		
Stockage – Déchargement mécanique (1 kg de paille)				
Matériaux / carburants				
Carburant	Diesel {Europe without Switzerland} market for Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	7,74E-4	kg
Emissions à l'air et au sol				
Processus de référence	Loading bales	Donnée Ecoinvent		
Livraison – Chargement mécanique (1 kg de paille)				
Matériaux / carburants				
Carburant	Diesel {Europe without Switzerland} market for Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	4,46E-4	kg
Emissions à l'air et au sol				
Processus de référence	Loading bales	Donnée Ecoinvent		

4.5 Étape du processus de construction (module A4) : Transport

En ce qui concerne l'approvisionnement du chantier en paille, la filière a identifié au travers d'une enquête menée sur la construction de 691 bâtiments, 2 modes de transport et 3 distances d'approvisionnement, réparties comme suit :

- 50% pour des courtes distances de 10 kilomètres Aller-Retour, l'approvisionnement de la paille se fait, généralement par le producteur lui-même, en tracteur avec sa remorque attelée, avec par conséquent un retour à vide,
- 40% pour des distances moyennes de 50 kilomètres Aller-Retour : l'approvisionnement est effectué par camion semi-remorque, où la paille est disposée à même le plateau de la remorque,
- 10% pour de plus longues distances de 80 kilomètres Aller-Retour : l'approvisionnement est réalisé de la même façon que pour des distances de 50 kilomètres.

Tableau 7 : Livraisons de la paille au chantier

Pour 1 kg de paille				
Matériaux / carburants				
Livraison par tracteur sur 10 kms	Transport, tractor and trailer, agricultural {CH} processing Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	5,00 ^E -3	tkm
Livraison par camion sur 50 kms	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Alloc Def, U	Donnée MatFrance	2,50E-2	tkm
Livraison par camion sur 80 kms	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Alloc Def, U	Donnée MatFrance	4,00E-2	tkm
Livraison matériaux annexes	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Alloc Def, U	Donnée MatFrance	6,99E-4	tkm

4.5.1 Quantité de bottes de paille transportée

La quantité de matériau-paille transportée est calculée selon une typologie d'habitation mise en place par le Centre Scientifique et Technologique du Bâtiment (CSTB). La maison-type sélectionnée dans cette étude est une habitation de type « MOZART », habitation de type maison individuelle de plain-pied comprenant 3 pièces de vie (entrée - cuisine – séjour), 3 chambres et garage (voir en annexe 5), définie comme suit :

Tableau 5 : Dimensions de la maison « MOZART »

<i>Maison MOZART</i>		
Nombre de niveau	1	
Hauteur	2,50	m
Périmètre	48,92	m
Longueur Façade Avant	15,80	m
Longueur Façade Arrière	15,80	m
Longueur Pignon Gauche	8,66	m
Longueur Pignon Droit	8,66	m

Il est à noter que selon les règles de construction d'une habitation en paille, une garde au sol doit être prévue pour éviter toute remontée d'humidité. Nous retiendrons dans le cas présent, une garde au sol de 20 centimètres.

Le mode de mise en place des bottes dans l'ossature retenu pour cette étude étant à plat, face visible, la surface de mur correspondant à une botte est donc égale à 0,47 m². Le nombre de bottes nécessaires pour une hauteur de 2,50 m est égale à 4,9 bottes, arrondi dans notre cas à 5.

Si les menuiseries extérieures correspondent à :

- 1 porte de garage, de dimensions en longueur et hauteur : 2,20 m x 2 m,
- 1 porte d'entrée, de dimensions en longueur et hauteur : 0,9 m x 2 m,
- 8 fenêtres 2 vantaux, de dimensions en longueur et hauteur : 1,2 m x 0,9 m.

alors le nombre de bottes nécessaires pour remplir l'ossature de cette maison-type sera égal à 208 bottes. Le détail de ce calcul se trouve en annexe 6.

4.5.2 Quantité de matériaux annexes transportée

Pour la typologie de maison retenue, le calcul de la masse de liteaux transportée est de :

Tableau 6 : Quantité de matériaux annexes transportés

Nombre de bottes sur la hauteur	4,9	
Nombre liteaux sur la hauteur	4	
Périmètre	48,92	m
Longueur totale de liteaux	195,68	m
Section	27x32	mm
Volume total de liteaux	0,17	m ³
Masse volumique (Source FCBA)	490	kg/m ³
<i>Masse totale</i>	<i>0,0833</i>	<i>T</i>

Les liteaux étant fixés à l'ossature par une vis tous les mètres, le nombre de vis nécessaires à la construction de cette maison-type est de 195. Sachant que le poids d'une vis est de 5 grammes (voir en annexe 7), la masse de vis transportée est de $195 \text{ vis} \times 0,005 \text{ kg} = 0,975 \text{ kg}$, soit environ 0,001 Tonne.

La quantité totale de matériaux de construction transportée est égale à 0,0843 Tonnes. Celle-ci est acheminée par camion, pour une distance de livraison établie à 30 kilomètres.

4.6 Étape du processus de construction (module A5) : Mise en œuvre

La mise en œuvre est faite exclusivement selon les règles professionnelles de construction en paille (Règles CP 2012).

4.6.1 Technique de pose

Selon les règles professionnelles, la technique de pose retenue dans cette étude est celle qui utilise le dispositif maximum de maintien de compression des bottes. Elle consiste en une pose à plat, face visible, entre ossature bois avec mise en place de liteaux de compression entre chaque rangée de bottes. Pour une hauteur de botte de paille de 47 centimètres, il faut 3 rangées de liteaux de compression pour 1 m^2 de mur. Ces liteaux de compression sont fixés à l'ossature bois par des vis. Le nombre de vis utilisées pour fixer 3 rangées de liteaux sur 2 m^2 de mur étant de 9, il faut donc 4,5 vis par m^2 de mur, dans notre cas, arrondi à 5 (figure 8).

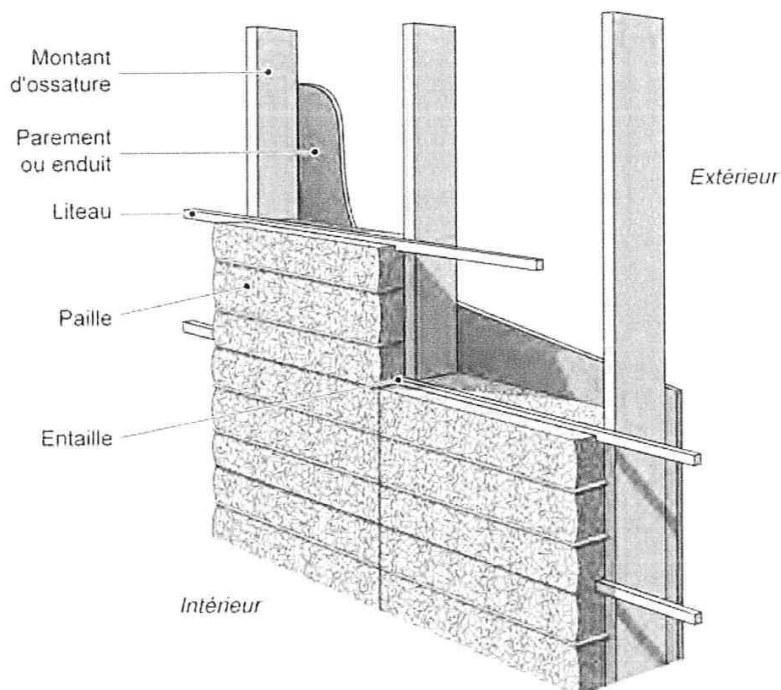


Figure 8 : Emplacement des liteaux de compression

Pour se faire, et avant leur incorporation sans jeu dans l'ossature, 50% des bottes doivent être retaillées à l'aide d'une scie électrique. La quantité de matière-paille en rebut alors générée (de l'ordre de 5%), est utilisée pour combler l'ensemble des interstices présents dans l'édifice. Le temps passé pour effectuer cette opération est évalué à 1 minute par botte.

Une fois l'ensemble des bottes de paille en place, une rectification de surface est nécessaire avant application des enduits (figure 9). Ce surfacage est effectué à l'aide d'un taille-haie thermique,

et engendre un taux de chute de matière-paille de l'ordre de 0,1%. Le temps passé pour effectuer cette opération est évalué à 3 heures, pour rectifier une surface de mur en bottes de paille d'une habitation d'environ 100 m² (de type MOZART).

Cette étude concerne uniquement le remplissage en paille d'un mur, les opérations de parements ou autres finitions, ainsi que leurs produits associés de mise en œuvre tels que treillis, plaques ou panneaux, ne rentrent donc pas dans le périmètre de cette étude.



Figure 9 : Dressage des parois en paille

4.6.2 Outils utilisés et consommations associées

Nous avons vu précédemment que les bottes de paille doivent être retaillées avant leur insertion dans l'ossature. L'outil adapté à cette opération est une scie égoïne électrique. Le modèle retenu pour cette étude est de type BOSCH, d'une puissance de 1600 Watts (voir en annexe 8).

Les liteaux étant de faible section (27 x 32 mm), leur coupe est faite manuellement à l'aide d'une scie égoïne à main. Le taux de rebut généré est de l'ordre de 5 %. Leur fixation sur l'ossature-bois par des vis est effectuée à l'aide d'une visseuse à main sans fil. Les données de consommation de cet outil n'étant pas disponibles, et cette consommation étant considérée comme faible, nous ne la retenons pas dans l'inventaire.

En ce qui concerne la rectification des surfaces de paille à enduire, cette opération est effectuée à l'aide d'un taille-haie thermique. Le modèle retenu pour cette étude est de type HUSQVARNA, d'une puissance de 600 Watts (voir en annexe 9). Sa consommation a été retenue à 767 g / kWh.

Les quantités d'émissions à l'air générées lors de l'utilisation du taille-haie sont données par le constructeur, et sont de :

- 178 g/kWh pour le monoxyde de carbone (CO),
- 219 g/kWh pour les hydrocarbures (HC),
- 1,27 g/kWh pour les oxydes d'azote (NOx).

Une rectification de surface à l'aide d'un taille-haie produit une quantité non-négligeable de petits brins de paille tombant au sol. Ceux-ci sont alors récupérés et réintroduits dans les enduits réalisés à posteriori.

Les émissions à l'air, à l'eau et au sol liées aux opérations de mise en œuvre de la paille sur le chantier de construction correspondent :

- d'une part, à la production des liteaux,
- d'autre part, aux consommations des outils nécessaires pour la mise en œuvre de la paille.

Tableau 8 : Mise en œuvre

Liteaux de compression (1 kg)					
Matériaux / carburants					
Liteaux en Pin Douglas	_Sawn timber, douglas, mass, raw, air dried, 20% water on dry mass basis, at plant /FR S_20130502	Donnée FCBA	7,01 ^E -5	m ³	
Vis (pour 1 kg de paille)					
Matériaux / carburants					
Vis	Steel, low-alloyed, hot rolled {RER} production Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	6,76 ^E -4	kg	
Electricité / chaleur					
Fabrication vis	Deep drawing, steel, 650 kN press, single stroke {RER} deep drawing, steel, 650 kN press, single stroke Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	6,76 ^E -4	kg	
Consommation énergétique des outils (pour 1 kg de paille)					
Matériaux / carburants					
Taille-haie thermique	Diesel {Europe without Switzerland} market for Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	3,73 ^E -4	kg	
Electricité / chaleur					
Scie électrique	Electricity, low voltage {FR} market for Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	7,67 ^E -4	kWh	
Emissions à l'air					
Utilisation thermique	taille-haie	Carbon monoxide	Donnée Ecoinvent	8,66 ^E -5	kg
Utilisation thermique	taille-haie	Hydrocarbons, unspecified	Donnée Ecoinvent	1,07 ^E -4	kg
Utilisation thermique	taille-haie	Nitrogen oxides	Donnée Ecoinvent	6,18 ^E -7	kg
Déchets et émissions pour traitement					
Fin de vie Vis	Scrap steel {CH} treatment of, inert material landfill Alloc Def, U	Donnée Ecoinvent	6,76 ^E -4	kg	

4.7 Étape de vie en œuvre (module B1) : Utilisation

Les bottes de paille mises en compression dans l'ossature, puis leur surface rectifiée, sont recouvertes de 2 enduits, intérieur et extérieur, en général à base de chaux ou de terre. Le matériau-paille « pris en sandwich » au sein de ces 2 enduits profite ainsi d'une protection contre les intempéries, les rongeurs, voire les incendies. Il n'a donc besoin d'aucun entretien ou traitement durant sa vie en œuvre.

De plus, les règles professionnelles imposent, lors de la mise en œuvre des bottes dans les règles de l'art, qu'une garde au sol soit respectée pour éviter toute intempérie. La hauteur de cette garde au sol doit être de 20 centimètres minimum à l'extérieur et de 40 millimètres minimum à l'intérieur de l'habitation.

4.8 Étape de vie en œuvre (module B2) : Maintenance

Lors de la vie en œuvre du matériau, aucune opération de maintenance ou d'entretien n'est nécessaire du fait que le matériau est pris « en sandwich » entre 2 parois (enduits) et n'a donc aucun contact direct avec l'air ambiant.

4.9 Étape de vie en œuvre (module B3) : Réparation

Pas d'opération de réparation durant la vie en œuvre (voir § 4.8).

4.10 Étape de vie en œuvre (module B4) : Remplacement

Pas d'opération de remplacement durant la vie en œuvre (voir § 4.8).

4.11 Étape de vie en œuvre (module B5) : Réhabilitation

Pas d'opération de réhabilitation durant la vie en œuvre (voir § 4.8).

4.12 Étape de vie en œuvre (module B6) : Utilisation de l'énergie

Sans objet.

4.13 Étape de vie en œuvre (module B7) : Utilisation de l'eau

Sans objet.

4.14 Étape de fin de vie (module C1) : Déconstruction

Les maisons construites en paille en France, dont la plus ancienne est probablement la « maison Feuillette » (construite en 1920), sont en majorité toujours habitées. Celles-ci n'ont pas subi de déconstruction et par conséquent aucun circuit de valorisation n'a été créé. Les règles professionnelles précisent les opérations à réaliser en fin de vie.

Ainsi pour procéder au traitement du matériau-paille en fin de vie, il faut au préalable déconstruire l'habitation et effectuer un piquage des 2 couches d'enduits recouvrant la paille. Cette opération est réalisée manuellement. A l'issue de cette opération, la partie piquée de paille encore agglomérée à l'enduit, représentant environ 1% de la paille-construction et est dirigée vers un centre de stockage de déchets non dangereux.

Il faut noter que la paille est un matériau de construction naturel, une destination évidente de sa fin de vie reste le centre de traitement pour produits biodégradables. En effet, les règles professionnelles de la construction en paille préconisent, à juste titre, deux destinations de la paille après démolition : une valorisation agricole et/ou une valorisation énergétique.

Tableau 9 : Scénario de fin de vie de la paille (extrait des Règles Professionnelles)

Tab. 1.1. Déconstruction de parois isolées en paille

Matériau	Technique de démontage (par ordre de préférence)	Valorisation potentielle (par ordre de préférence)
Bois d'ossature (1)	– Démontage – Démolition	– Réutilisation – Valorisation énergétique – Mise en décharge
Pièces d'assemblage, clous, vis	Dévisage ou arrachage	– Réutilisation – Mise en décharge
Enduit de terre crue sans adjuvants ou peinture	Piquage	– Réutilisation après trempage dans de l'eau et malaxage – Dépose directe dans le milieu environnant, éventuellement mélangé à la paille
Enduit de chaux ou de terre avec adjuvants ou peinture	Piquage	Mise en décharge
Paille	– Extraction des bottes entières – Démolition des bottes	– Valorisation agricole (amendement ou litière animale) – Valorisation énergétique
(1) Le bois traité chimiquement fait l'objet de dispositions particulières.		

La destination de fin de vie de la paille vers une valorisation énergétique est rarement pratiquée. De plus, son incinération demande l'utilisation d'un matériel d'incinération spécifique au vu notamment de sa teneur en silice et/ou de son pouvoir calorifique. Dans les faits et conformément au scénario, la paille est traitée comme un déchet « vert », et acheminée vers un centre de traitement spécialisé.

Le scénario de fin de vie des liteaux en pin Douglas, est celui préconisé par la FCBA établi dans l'étude DHUP/CODIFAB/BBF/CSTB/FCBA volet 2, intitulé « ACV & DEP pour des produits et composants de la construction bois – Prise en compte de la fin de vie des produits bois », où le scénario considéré est le scénario moyen français de la fin de vie des produits bois de construction :

Tableau 10 : Scénario moyen français de la fin de vie des produits bois de la construction

% mis en centre plateforme de tri de stockage de déchets non dangereux (CSDND)	% incinéré dans UIOM avec récupération d'énergie	% Envoyé sur % mis en centre plateforme de tri	
		% incinéré dans UIOM avec récupération d'énergie (fines de broyage)	% de bois acheté comme matière première secondaire par les usines de panneaux de particules bois
17,3%	15,4%	10,1%	57,2%

4.15 Étape de fin de vie (module C2) : Transport

La distance de transport de ce matériau du lieu de déconstruction vers le centre de traitement reste conforme à la préconisation de la norme FD P01-015, soit 30 kilomètres.

Tableau 11 : Transport de fin de vie

Produit	Quantité/UF	Destination	Processus	Quantité	Unité
Paille + enduit	1% = 0,37 kg	CSDND	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Alloc Def, U	3,00E-4	tkm
Paille	99% = 36,63 kg	CSDND	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Alloc Def, U	2,97E-2	tkm
Liteaux + vis	100% = 1,27 kg	Incinérateur et CSDND	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Alloc Def, U	1,40E-3	tkm

4.16 Étape de fin de vie (module C3) : Traitement des déchets

Les destinations de fin de vie des produits de construction d'un bâtiment en paille sont :

- pour la paille : 99% vers un centre de traitement, considérée comme un déchet « vert »,
- pour les liteaux : calquée sur le scénario moyen français de la fin de vie des produits bois de construction, c'est-à-dire :
 - 17,3% vers un Centre de Stockage des Déchets Non Dangereux (CSDND),
 - 15,4% + 10,1% = 25,5% vers une Usine d'Incinération des Ordures Ménagères (UIOM), avec récupération d'énergie,
 - 57,2% comme matière première secondaire par les usines de panneaux de particules bois,
- pour les vis, vers un centre de recyclage des métaux.

Centre de Stockage des Déchets Non Dangereux :

Les émissions relatives au processus de traitement de déchets relatifs au bois de la base de données Ecoinvent® donne un taux de décomposition du bois de 1,5% (Disposal, wood untreated, 20% water, to sanitary landfill/CH U). Celui-ci étant inférieur au taux de dégradation du bois préconisé par le FCBA et le CSTB retenu à 15%, les quantités d'émissions de CO₂ et de CH₄ issues de la dégradation sont alors recalculées et réajustées dans les processus de fin de vie respectifs de la paille et des liteaux. Lors de l'étape de fin de vie des matériaux d'origine bio-sourcée, ceux-ci se décomposent lentement au fil des ans. Selon la littérature scientifique, « l'Analyse de Cycle de Vie de Charpentes Bois taillées de Fabrication Française » (FCBA, FFB, 2009) et les préconisations du CSTB, les données de mise en décharge sans valorisation de biogaz récupéré intègrent :

- un taux de décomposition du bois de 15%,
- 70% de biogaz torchés et 30% rejetés dans l'environnement.

Les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et de méthane (CH₄) ont été recalculées, elles représentent 0,478 kg équivalent de CO₂ par kg de liteau. Le détail des calculs se trouvent en annexe 10.

Tableau 12 : Traitement des déchets (paille et liteaux) en CSDND

Déchets	Destination	Processus Ecoinvent	Quantité/UF
Paille	CSDND	Biowaste {CH} market for Alloc Def, U	99% = 36,63 kg
Liteaux	CSDND	Disposal, wood untreated, 20% water, to sanitary landfill/CH U	17,3% = 0,23 kg

Usine d'Incinération des Ordures Ménagères :

Les émissions relatives au processus de traitement des déchets « bois » de la base de données Ecoinvent® vers un centre d'incinération avec récupération d'énergie sont comptabilisées dans les processus « Waste wood, untreated {CH}| treatment of, municipal incineration | Alloc Def, U » et « Material for energy recovery, unspecified ».

Tableau 13 : Traitement des déchets (liteaux) en UIOM

Déchets	Destination	Processus Ecoinvent	Quantité/UF
Liteaux	UIOM	Waste wood, untreated {CH} treatment of, municipal incineration Alloc Def, U	25,5% = 0,34 kg

Revalorisation :

La quantité de déchets « bois » destinée à être revalorisée comme matière première secondaire par les usines de panneaux de particules bois est de 57,2%. Le processus utilisé de la base de données Ecoinvent® est « Waste to recycling ».

La quantité de vis récupérée lors de la déconstruction est dirigée vers un centre de traitement des métaux.

Tableau 14 : Revalorisation de déchets (liteaux et vis)

Déchets	Destination	Processus Ecoinvent	Quantité/UF
Liteaux	revalorisation	Waste to recycling	57,2% = 0,76 kg
Vis	revalorisation	Scrap steel {CH} treatment of, inert material landfill Alloc Def, U	100% = 0,025 kg

4.17 Étape de fin de vie (module C4) : Elimination

Le déchet « paille + enduit » issu de la déconstruction a pour destination de fin de vie une élimination en Centre de Stockage des Déchets Non Dangereux (CSDND).

Tableau 15 : Fin de vie du déchet « Paille + enduit »

Déchets	Destination	Processus Ecoinvent	Pourcentage	Quantité /UF	Unité
Paille + enduit	CSDND	Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH U	1%	0,37	kg

4.18 Bénéfices et charges au-delà des frontières du système D

4.18.1 Stockage temporaire de dioxyde de carbone

A l'étape de production, le dioxyde de carbone capté au cours de l'itinéraire agricole dans la paille, va être stocké pendant toute la durée de vie de l'ouvrage au sein du produit.

Dans une optique de lutte contre le changement climatique, cette durée de stockage temporaire de CO₂ peut être quantifié au niveau de l'ACV par un « bénéfice climat » (G. DEROUBAIX et al. – Cycles de vie des produits à base de bois et séquestration du carbone (FCBA), 2012) du fait que ce CO₂ ne se retrouve pas dans l'atmosphère et ne participe donc pas à l'effet de serre. Le calcul proposé est d'évaluer une déduction des émissions de CO₂, au prorata de la quantité de carbone biomasse contenue dans le produit et de sa durée de vie. Ce principe est d'ailleurs retenu dans le référentiel de bonnes pratiques de l'affichage environnemental des produits de grande consommation (BPX 30-323). Il en découle, dans notre étude, que la déduction d'émissions de CO₂ relatif à une durée de vie typique du produit de 50 ans, est de :

1/50ème de 46,53% de C par an, soit 0,0341 kg CO₂ /an, et pour 1 kg paille produite.

Nota : Ce calcul de stockage temporaire du dioxyde de carbone en vie en œuvre n'est pas intégré à la modélisation dans SIMAPRO, mais présenté comme une information complémentaire, en annexe de la Fiche Déclarative Environnementale & Sanitaire.

4.18.2 Bilan CO₂ relatif aux matériaux organiques

Le remplissage isolant d'un mur en paille nécessite l'utilisation de 2 matériaux d'origine organique : la paille de remplissage et les liteaux de compression en bois.

Lors des étapes de cycle de vie d'un produit d'origine bio-sourcée, du CO₂ d'origine fossile est consommé et du CO₂ d'origine atmosphérique est capté, puis relargué :

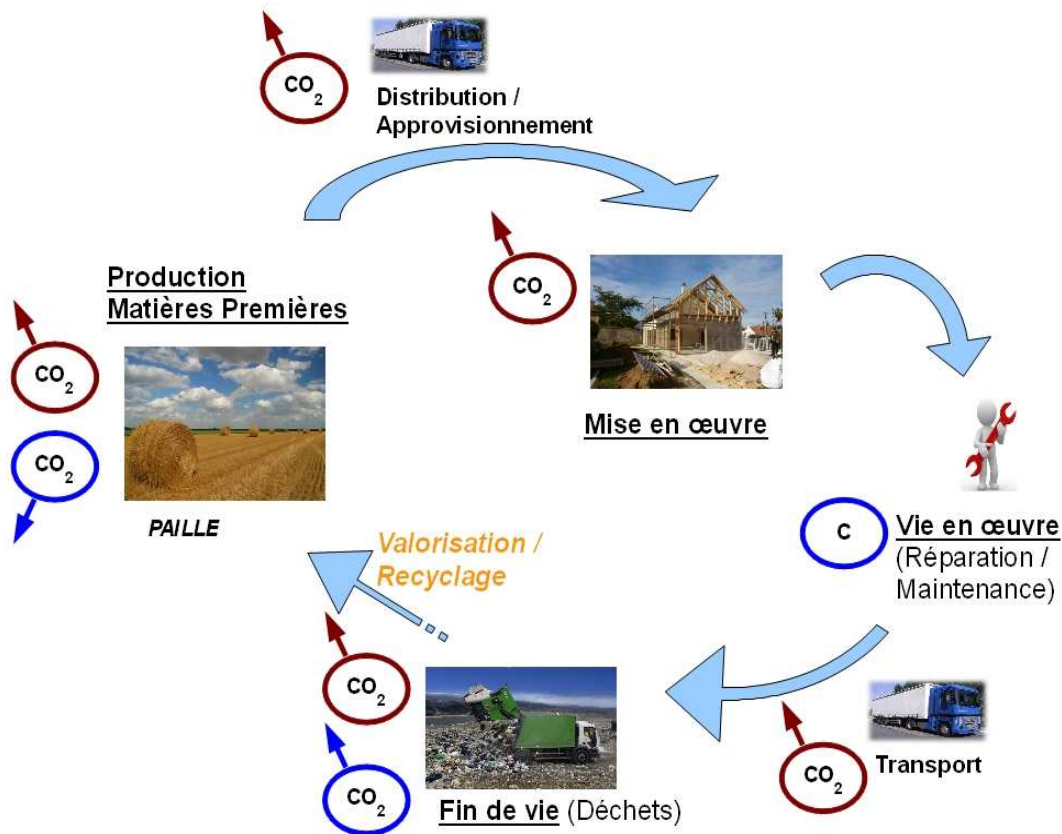


Figure 10 : Etapes du cycle de vie d'un produit organique, émissions de CO₂ fossile et cycle du Carbone issu de la biomasse

Légende:

-  : Émissions de CO₂ fossile relatives aux transports et aux processus de production
-  : Captage de CO₂ issu de la biomasse par photosynthèse
-  : Stockage temporaire de CO₂ sous forme de carbone organique
-  : Réémissions du CO₂ issu de la biomasse

Il en découle que, lors de ses étapes de cycle de vie :

- tout transport de matériau est source d'émission de CO₂ fossile,
- en phase de production et au cours de l'itinéraire agricole :
 - la paille et le bois absorbent lors de leur croissance une quantité de CO₂ atmosphérique équivalente à leur teneur en carbone,
 - l'utilisation de matériels agricoles et de véhicules de transport provoque des émissions de CO₂ fossile,
- en phase de mise en œuvre, l'utilisation de matériels et d'outils thermiques et électriques provoque des émissions de CO₂ fossile,
- lors de la vie en œuvre des produits, la paille et les liteaux pris « en sandwich » entre deux enduits n'ont pas de contact direct avec l'air ambiant, il n'y a donc pas de transfert de CO₂

pendant cette période. De plus, la quantité de CO₂ issu de la biomasse reste stockée au sein des produits durant toute la durée de vie de l'ouvrage,

- en fin de vie :
 - la paille et les liteaux relarguent une partie du CO₂ atmosphérique stocké,
 - l'utilisation de véhicules de transport vers les centres de traitement provoque des émissions de CO₂ fossile.

5 Evaluation de l'impact de cycle de vie

Les méthodes utilisées pour évaluer l'impact de cycle de vie de la paille de construction sont celles décrites dans les normes :

- internationales pour NF EN ISO 14040 et 14044 d'octobre 2006,
- européenne NF EN 15804 d'août 2012,
- française NF EN 15804+A1 d'avril 2014,
- complément français XP P 01-064/CN,
- française NF P 01-010.

L'évaluation de l'impact est réalisée selon une qualité des données jugée suffisante et un respect des frontières du système définies, afin de répondre à la définition des objectifs. Elle comprend les résultats d'indicateurs des différentes catégories d'impacts suivantes, et utilise les facteurs de caractérisation de la norme NF EN 15804 précitée :

- réchauffement climatique,
- appauvrissement de la couche d'ozone atmosphérique,
- acidification des sols et de l'eau,
- eutrophisation,
- formation d'ozone photochimique,
- épuisement des ressources abiotiques – éléments,
- épuisement des ressources abiotiques – fossiles.

Conformément à la norme, les résultats de l'EICV sont des expressions relatives et ne prédisent pas les impacts finaux par catégorie, le dépassement de seuils, les marges de sécurité ou les risques.

6 Interprétation

6.1 Résultats

Impacts environnementaux	Etape de fabrication			Etape de mise en œuvre		Etape de vie en œuvre							Etape de fin de vie				D. Bénéfices et charges au-delà des frontières du système
	A1 Approvisionnement en matières premières	A2 Transport	A3 Fabrication	A4 Transport	A5 Installation	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets	C4 Elimination	
Réchauffement climatique kg CO ₂ eq/UF	-5.40E+01	0.00E+00	6.31E-01	1.17E-01	6.97E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.21E-01	4.54E+01	2.56E-01	0.00E+00
Appauvrissement de la couche d'ozone kg CFC 11 eq/UF	2.09E-07	0.00E+00	1.02E-07	2.13E-08	1.55E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.05E-08	7.10E-07	3.11E-10	0.00E+00
Acidification des sols et de l'eau kg SO ₂ eq/UF	1.22E-02	0.00E+00	2.61E-03	3.62E-04	3.79E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.68E-04	4.21E-02	3.02E-05	0.00E+00
Eutrophisation kg (PO ₄) ³⁻ eq/UF	5.53E-03	0.00E+00	4.57E-04	6.65E-05	6.71E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.54E-05	1.20E-02	2.18E-04	0.00E+00
Formation d'ozone photochimique Ethene eq/UF	8.20E-04	0.00E+00	1.97E-04	3.15E-05	1.48E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.38E-05	4.04E-03	4.99E-05	0.00E+00
Epuisement des ressources abiotiques (éléments) kg Sb eq/UF	4.59E-06	0.00E+00	8.75E-07	1.09E-07	1.28E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.18E-07	9.77E-05	1.18E-10	0.00E+00
Epuisement des ressources abiotiques (fossiles) MJ PCI/UF	1.94E+01	0.00E+00	1.05E+01	1.62E+00	1.46E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.09E+00	4.77E+01	3.00E-02	0.00E+00
Pollution de l'eau m ³ /UF	1.62E+00	0.00E+00	1.08E+01	3.22E-02	4.34E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.98E-02	1.09E+01	2.83E-02	0.00E+00
Pollution de l'air m ³ /UF	2.88E+02	0.00E+00	7.36E+01	6.12E+00	8.62E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.04E+01	6.49E+02	9.33E-01	0.00E+00

Utilisation des ressources	Etape de fabrication			Etape de mise en œuvre		Etape de vie en œuvre							Etape de fin de vie				D. Bénéfices et charges au-delà des frontières du système
	A1 Approvisionnement en matières premières	A2 Transport	A3 Fabrication	A4 Transport	A5 Installation	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets	C4 Elimination	
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières MJ PCIUF	3.43E+00	0.00E+00	1.09E-01	4.15E-03	7.33E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.20E-03	1.25E+01	5.47E-03	0.00E+00
Utilisation des ressources d'énergie primaire renouvelables en tant que matières premières MJ PCIUF	4.91E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières) MJ PCIUF	4.95E+02	0.00E+00	1.09E-01	4.15E-03	7.33E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.20E-03	1.25E+01	5.47E-03	0.00E+00
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières MJ PCIUF	2.06E+01	0.00E+00	1.08E+01	1.63E+00	1.83E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.11E+00	5.88E+01	5.83E-02	0.00E+00
Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables en tant que matières premières MJ PCIUF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières) MJ PCIUF	2.06E+01	0.00E+00	1.08E+01	1.63E+00	1.83E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.11E+00	5.88E+01	5.83E-02	0.00E+00
Utilisation de matière secondaire kgUF	3.26E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Utilisation de combustibles secondaires renouvelables MJ PCIUF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables MJ PCIUF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Utilisation nette d'eau douce m ³ UF	3.63E-02	0.00E+00	7.64E-04	9.98E-05	9.02E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.92E-04	6.55E-02	2.18E-05	0.00E+00

Catégorie de déchets	Etape de fabrication			Etape de mise en œuvre		Etape de vie en œuvre							Etape de fin de vie				D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système
	A1 Approvisionnement en matières premières	A2 Transport	A3 Fabrication	A4 Transport	A5 Installation	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets	C4 Elimination	
Déchets dangereux éliminés kg/UF	1.07E-01	0.00E+00	1.92E-03	7.60E-05	1.32E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.59E-04	1.15E+01	3.55E-04	0.00E+00
Déchets non dangereux éliminés kg/UF	1.23E-01	0.00E+00	4.94E-02	1.24E-03	5.07E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.51E-03	5.77E-01	3.70E-01	0.00E+00
Déchets radioactifs éliminés kg/UF	1.26E-04	0.00E+00	5.87E-05	1.20E-05	1.18E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.29E-05	4.29E-04	3.81E-07	0.00E+00

Flux sortants		Etape de fabrication			Etape de mise en œuvre		Etape de vie en œuvre						Etape de fin de vie				D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système		
		A1 Approvisionnement en matières premières	A2 Transport	A3 Fabrication	A4 Transport	A5 Installation	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 traitement des déchets		C4 Elimination	
Composants destinés à la réutilisation kg/UF		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Matériaux destinés au recyclage kg/UF		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.91E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.63E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Matériaux destinés à la récupération d'énergie kg/UF		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.40E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Energie fournie à l'extérieur (par vecteur énergétique) MJ/UF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

Catégorie d'impact / flux	Unité	Total Fabrication	Total Mise en œuvre	Total Vie en œuvre	Total Fin de vie	Total Cycle de vie
Réchauffement climatique	kg CO ₂ eq/UF	-5.34E+01	1.86E-01	0.00E+00	4.59E+01	-7.37E+00
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg CFC 11 eq/UF	3.11E-07	3.68E-08	0.00E+00	7.51E-07	1.10E-06
Acidification des sols et de l'eau	kg SO ₂ eq/UF	1.48E-02	7.41E-04	0.00E+00	4.27E-02	5.82E-02
Eutrophisation	kg (PO ₄) ³⁻ eq/UF	5.99E-03	1.34E-04	0.00E+00	1.23E-02	1.84E-02
Formation d'ozone photochimique	Ethene eq/UF	1.02E-03	1.79E-04	0.00E+00	4.14E-03	5.34E-03
Epuisement des ressources abiotiques -éléments	kg Sb eq/UF	5.47E-06	1.38E-06	0.00E+00	9.79E-05	1.05E-04
Epuisement des ressources abiotiques -fossiles	MJ PCI/UF	2.99E+01	3.08E+00	0.00E+00	5.08E+01	8.37E+01
Pollution de l'eau	m ³ /UF	1.24E+01	7.56E-02	0.00E+00	1.09E+01	2.35E+01
Pollution de l'air	m ³ /UF	3.62E+02	9.23E+01	0.00E+00	6.60E+02	1.11E+03
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières	MJ PCI/UF	3.54E+00	7.38E-01	0.00E+00	1.25E+01	1.68E+01
Utilisation des ressources d'énergie primaire renouvelables en tant que matières premières	MJ PCI/UF	4.91E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.91E+02
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières)	MJ PCI/UF	4.95E+02	7.38E-01	0.00E+00	1.25E+01	5.08E+02
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières	MJ PCI/UF	3.14E+01	3.46E+00	0.00E+00	6.20E+01	9.68E+01
Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables en tant que matières premières	MJ PCI/UF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières)	MJ PCI/UF	3.14E+01	3.46E+00	0.00E+00	6.20E+01	9.68E+01
Utilisation de matière secondaire	kg/UF	3.26E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.26E+01
Utilisation de combustibles secondaires renouvelables	MJ PCI/UF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables	MJ PCI/UF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Utilisation nette d'eau douce	m ³ /UF	3.71E-02	1.00E-03	0.00E+00	6.57E-02	1.04E-01
Déchets dangereux éliminés	kg/UF	1.08E-01	1.32E-02	0.00E+00	1.15E+01	1.16E+01
Déchets non dangereux éliminés	kg/UF	1.73E-01	5.20E-02	0.00E+00	9.50E-01	1.17E+00
Déchets radioactifs éliminés	kg/UF	1.85E-04	2.38E-05	0.00E+00	4.53E-04	6.61E-04
Composants destinés à la réutilisation	kg/UF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Matériaux destinés au recyclage	kg/UF	0.00E+00	1.91E-06	0.00E+00	7.63E-01	7.63E-01
Matériaux destinés à la récupération d'énergie	kg/UF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.40E-01	3.40E-01
Energie fournie à l'extérieure (électricité)	MJ/UF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Energie fournie à l'extérieure (vapeur)	MJ/UF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Energie fournie à l'extérieure (gaz)	MJ/UF	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

6.2 Cadre de validité et représentativité de la FDES

L'arrêté du 23 décembre 2013 relatif à la déclaration environnementale des produits de construction et de décoration destinés à un usage dans les ouvrages de bâtiment (l'article 10) demande de satisfaire à une condition d'homogénéité, pour une déclaration collective concernant un « produit type ».

Ce cadre de validité n'étant obligatoire qu'à partir du 1^{er} juillet 2017, il n'a pas été traité dans cette étude.

Représentativité de la FDES :

Les producteurs ayant participé à l'enquête agricole sont représentatifs de l'ensemble des pratiques agricoles les plus courantes de production de bottes de paille de petites dimensions. Cependant, le panel, réalisé en coopération avec ARVALIS, entrant dans le cadre de validité environnemental qui peut se prévaloir de cette Fiche Déclarative Environnementale et Sanitaire comprend tous les producteurs de bottes de paille de petites dimensions (37 x 47 x 100 cm), destinées à la construction au regard des règles professionnelles de la construction en paille CP 2012.

Le domaine d'application des règles CP2012 couvre :

- la participation de l'élément de remplissage aux performances d'isolation acoustique et thermique de l'ouvrage,
- l'utilisation de bottes de paille comme support d'enduits normalisés.

Ce document porte sur toute partie d'ouvrage contenant de la paille en bottes. Il s'applique en France métropolitaine aux bâtiments dont le plancher le plus haut est inférieur à 8 m, qui peuvent être de type :

- maisons individuelles ou logements collectifs,
- locaux commerciaux,
- lieux de travail,
- bâtiments agricoles,
- ERP : Etablissement Recevant du Public.

7 Conclusion et perspectives

L'analyse de cycle de vie de la présente étude a été faite selon les principes édictés dans la norme NF EN 15804. La Fiche Déclarative Environnementale et Sanitaire (FDES) qui en découle répond à un mode de déclaration collectif et concerne un matériau de construction assurant une fonction d'isolation répartie sur 1 m² de mur en paille non porteuse (en élément de remplissage, avec liteaux de compression).

La paille est ici assimilée à un déchet, les frontières du système étudié considèrent que « le berceau » de l'étude se situe au moment du ramassage à l'andain. Cela implique une allocation de 0% à la paille pour les intrants et sortants liés au travail des terres et aux traitements lors des séquences de production agricole proprement dite. Cependant, une quantité de fertilisants a été introduit dans l'étude afin de compenser l'enlèvement de la paille sur le champ, celle-ci étant pour 40% de la production nationale, broyée et enfouie, servant d'apport nutritionnel pour la culture suivante.

Le cycle de vie de la paille de construction se termine « à la tombe », à la mise en installation de stockage de déchets non dangereux d'une part et vers un centre d'incinération d'autre part, en l'absence de circuit de revalorisation.

Le résultat de l'ACV montre que :

- près de 97% de l'énergie renouvelable est représentée par l'énergie matière renouvelable de la paille et des liteaux,
- la demande en ressources est faible, mis à part l'utilisation de liteaux de compression en pin douglas lors de l'étape de mise en oeuvre,
- la consommation d'eau totale de 104 litres, est répartie pour 63% en fin de vie lors du traitement de la paille, et pour 36% lors de l'étape de production, essentiellement par la présence de fertilisants en compensation de l'extraction de la paille du champ,
- l'utilisation d'un matériau de construction bio-sourcé permet de prélever du dioxyde de carbone biomasse lors de la croissance de la plante, et d'en restituer une partie en fin de vie. Il est également à noter que le CO₂ stocké dans le matériau paille pendant sa durée de vie en œuvre n'est pas rejeté dans l'atmosphère, il ne participe donc pas au phénomène d'effet de serre impactant sur le changement climatique,
- la pollution de l'air de 1110 m³ / UF provient pour 59% du traitement de la paille en fin de vie, pour 32% lors de l'étape de production, essentiellement par la présence de fertilisants, puis pour 8% lors de la mise en œuvre,
- la pollution de l'eau d'environ 23 m³ / UF provient du traitement de la paille en fin de vie (47%) et de la production de carburant nécessaire aux opérations de travaux et manutentions agricoles d'une part (46%),
- les impacts environnementaux d'acidification atmosphérique, de destruction de la couche d'ozone, de formation d'ozone photochimique et d'eutrophisation sont faibles, voire très faibles.

Ce matériau offre d'autres intérêts :

- la paille n'est pas produite au détriment de l'agriculture alimentaire puisqu'elle en est un co-produit,
- en 2010 pour 30 millions de tonnes de paille produits, seulement 0,0012% sont allés au bâtiment. Actuellement en France le parc de constructions en paille est estimé à environ 2000 bâtiments individuels ou collectifs, cette ressource, totalement renouvelable, a donc une très grande marge de progression devant elle.

Cette étude destinée à favoriser l'émergence d'un matériau d'origine bio-sourcée constitutif d'un système de construction, a montré les vertus en terme d'impact sur l'environnement de ce type de produit de construction. L'existence de cette FDES lui permettra d'améliorer, au travers des bases de données françaises de référence des produits de construction (déclaration-environnementale.gouv.fr, base-inies.fr), l'information aux professionnels et au public sur ses performances environnementales.

Documents de référence

Documents normatifs et réglementaires :

AFNOR, Norme NF EN 15804+A1, Contribution des ouvrages de construction au développement durable / Déclarations environnementales sur les produits / Règles régissant les catégories de produits de construction, avril 2014

AFNOR, Norme expérimentale XP P 01-064/CN, Contribution des ouvrages de construction au développement durable / Déclarations environnementales sur les produits / Règles régissant les catégories de produits de construction / Complément national à la NF EN 15804+A1, avril 2014

AFNOR, Avant-projet de norme prEN 16449, Bois et dérivés du bois / Calcul de la séquestration du dioxyde de carbone atmosphérique, 2012

AFNOR, Avant-projet de norme prEN 16485, Bois ronds et sciages / Déclarations environnementales de produits / Règles de définition des catégories de produits en bois et à base de bois pour l'utilisation en construction, 2012

AFNOR, Norme NF EN ISO 14040, Analyse du cycle de vie / Principes et cadre, octobre 2006

AFNOR, Norme NF EN ISO 14044, Analyse du cycle de vie / Exigences et lignes directrices, octobre 2006

AFNOR, Norme NF P 01-010, Qualité environnementale des produits de construction / Déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction, décembre 2004

AFNOR, Norme *FD P 01-015, Qualité environnementale des produits de construction / Fascicule de données énergie et transport*, février 2006

Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement (METL), Arrêté du 23 décembre 2013 relatif à la déclaration environnementale des produits de construction et de décoration destinés à un usage dans les ouvrages de bâtiment

Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement (METL), Décret n°2013-1264 du 23 décembre 2013 relatif à la déclaration environnementale de certains produits de construction destinés à un usage dans les ouvrages de bâtiment

Documents techniques :

ADEME - Programme de recherche « Agri-BALYSE » portant sur la création d'une base de données d'analyse de cycle de vie des produits agricoles

ADEME - Programme « AGRICE » - Agriculture pour la Chimie et L'Energie

ADEME ./ ITCF – Etude AGRICE – Résidus de culture : Paille de céréales - 1998

ADEME, Institut Technique des Céréales et des Fourrages (ITCF), « Synthèse sur les pailles de céréales », Comité National des Coproduits, 1991,

ADEME - Mesure des caractéristiques des combustibles bois – Evaluation et proposition des méthodes d'analyse de combustible ; CrittBois (Centre Régional d'Innovation et de Transferts Technologiques des industries du bois), FiBois (Interprofession de la filière bois de l'Ardèche et de la Drôme) et le CTBA (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement) ; juin 2001

ADEME - Référentiel combustible bois énergie : les plaquettes forestières – Définition et exigences ; FCBA; avril 2008

ADEME / UNIFA – Guide sectoriel : Industries de la fertilisation – Guide méthodologique pour le calcul du bilan des émissions de gaz à effet de serre – Mai 2012

AFNOR – BP X30-323 : Référentiel de bonnes pratiques – Principes généraux pour l'affichage environnemental des produits de grande consommation – Juin 2011

ARCUSIN – Fiche technique Groupeur de balles multipack B14 ARCUSIN (www.arcusin.com)

Association « Empreinte » - Enquête sur la construction en paille en France ([www.habitat-ecologique.org/\t\" parent](http://www.habitat-ecologique.org/\t\))

CALZONI et al. : Bioenergy for europe : which ones fit best ? A comparative analysis for the community – 2000

CITEPA / MEDDE – Rapport national d'inventaire : Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France (OMINEA) 10^{ème} édition / Section 4D « Agriculture hors énergie, culture » – Fév. 2013

CORPEN – Les émissions d'ammoniac et de gaz azotés à effet de serre en agriculture – Chapitre II « Inventaire des émissions azotées provenant des activités agricoles en France » - 2006

FCBA – Cycles de vie des produits à base de bois et séquestration du carbone – G.DEROUBAIX et al. ; Innovations agronomiques 18 (2012)

FCBA – L'analyse de cycle de vie appliquée aux produits bois : bilan énergétique et prise en compte du carbone biomasse – CORNILLIER & VIAL – Nov. 2008

FCBA, « Analyse de Cycle de Vie de charpentes bois taillées de fabrication française », FFB 2009

FCBA / CSTB / DHUP / CODIFAB / FBF, Convention DHUP/CSTB 2009 - Action 33 Sous-action 6 : ACV & DEP pour des produits et composants de la construction bois –Volet 1 : Création d'une base de données amont & Volet 2 : Prise en compte de la fin de vie des produits bois, 2012

GIEC – Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre / Chapitre 11 « Emissions de N₂O des sols gérés, et émissions de CO₂ dues au chaulage et à l'application d'urée » – 2006

RFCP / Compailleurs, *Règles professionnelles de construction en paille*, Luc Floissac, CP 2012 (Règles consultables sur le site : <http://www.compailleurs.eu/rfcp/1-projet-propaille---regles-professionnelles>)

Thomas NEMECEK et al. - Life cycle inventories of agricultural production systems – Ecoinvent report n°15 - (2007)

UNIFA – Fiche n°14 Ferti-pratique – Exporter les pailles : conséquences pour la fertilisation - 2009

Sites internet :

Site « RFCP » - Réseau Français de Construction en Paille

Adresse : <http://www.compailleurs.eu>

Site « Maison feuillette », le plus ancien bâtiment construit en paille en 1920

Adresse : <http://maisonfeuillette.compailleurs.eu>

Site « INIES » - Base de données française de référence sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des produits de construction

Adresse : www.inies.fr/

Site « JNLOG », Jean NOEL, Cas d'exemple CoDyBa à partir de la typologie CSTB des bâtiments, Rev 1.03, mars 2008

Adresse : www.jnlog.com

Site « ARCUSIN » - Matériel agricole – Groupeur Multipack B14, consulté en mars 2012

Adresse : <http://www.arcusin.com/>

Site « CASTORAMA » – Magasin de bricolage – Quincaillerie, vis acier fraisées 4 x 70 mm, consulté en novembre 2011

Adresse : <http://www.castorama.fr/>

Site « BOSCH » - Outillage électroportatif pour l'artisanat et l'industrie - Scie tandem électrique, consulté en novembre 2011

Adresse : <http://www.bosch-professional.com/fr/>

Site « HUSQVARNA » – Equipements pour la forêt et le jardin – Comparaison de tailles-haies thermiques, consulté en novembre 2011

Adresse : <http://www.husqvarna.com/fr/>

Glossaire

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

AFNOR : Association Française de NORmalisation

ACV (Analyse de cycle de vie) : Opération qui consiste à étudier les impacts d'un produit sur l'environnement « du berceau à la tombe ». L'étude porte sur « la fonction » du produit. La méthode d'analyse fait l'objet d'une norme (ISO 14040 et 14044).

Bottes et ballots: La botte est le produit de la compression et du ficelage de la paille sous la forme d'un parallélépipède qui peut avoir différentes dimensions (par ex. 37x47x100 cm). Le ballot est composé d'un ensemble de bottes de paille attachées entre elles pour transport et stockage.

CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique

CORPEN : Comité d'ORientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'ENvironnement

DVR : Durée de Vie de Référence définie par la norme NF EN 15804

DVT : Durée de Vie Typique définie par la norme NF P01-010

Ecoinvent® : Base regroupant des jeux de données établis par des experts indépendants. Elle est utilisée par la plupart des logiciels d'analyse de cycle de vie (SIMAPRO, TEAM, OPEN-LCA, UMBERTO, etc...)

Ev-DEC© : Outil d'aide à la réalisation d'une FDES, complémentaire à SIMAPRO.

FCBA : Institut technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement

FDES (Fiche déclarative environnementale et sanitaire) : Fiche établie sur la base d'une ACV, elle est définie par la norme NF EN 15804.

Flux de référence : Désigne dans une ACV, la quantité de produit analysée et de consommables utilisés, pour déterminer les besoins de l'unité fonctionnelle dudit produit.

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

ICV (Inventaire de cycle de vie) : Recueil des données quantitatives destinées à l'analyse du produit.

Mat France: Base de données complémentaires associée à l'outil Ev-DEC.

Simapro® : Logiciel destiné à faciliter le travail d'analyse de cycle de vie

UNIFA : Union des Industries de la Fertilisation

UF (Unité fonctionnelle) : Quantification de la fonction du produit, elle doit être précise et mesurable.

Annexes

Annexe 1

Schéma récapitulatif de l'itinéraire technique agricole des producteurs de paille, issu du recueil de données

Annexe 2

Tableau récapitulatif des résultats de l'enquête effectuée auprès des producteurs de paille

Annexe 3

Fiche technique « Groupeur de bottes de paille ARCUSIN B14 »

Annexe 4

Tableau récapitulatif des calculs d'émissions à l'air et au sol des opérations agricoles selon la méthode de Thomas NEMECEK et al. (2007) « Life cycle inventories of agricultural production systems – Ecoinvent report n°15 »; chapitre 7: Agricultural field work processes

Annexe 5

Typologie CSTB des bâtiments - maison « MOZART », issu de cas d'exemple CoDyBa (jnlog)

Annexe 6

Feuille de calcul Excel® du nombre de bottes nécessaires pour remplir l'ossature d'une maison de typologie « MOZART »

Annexe 7

Document CASTORAMA, relatif aux vis à bois

Annexe 8

Document relatif à la scie égoïne électrique 1600 Watts de type BOSCH

Annexe 9

Document relatif à des taille-haies thermiques 600 Watts de type HUSQVARNA

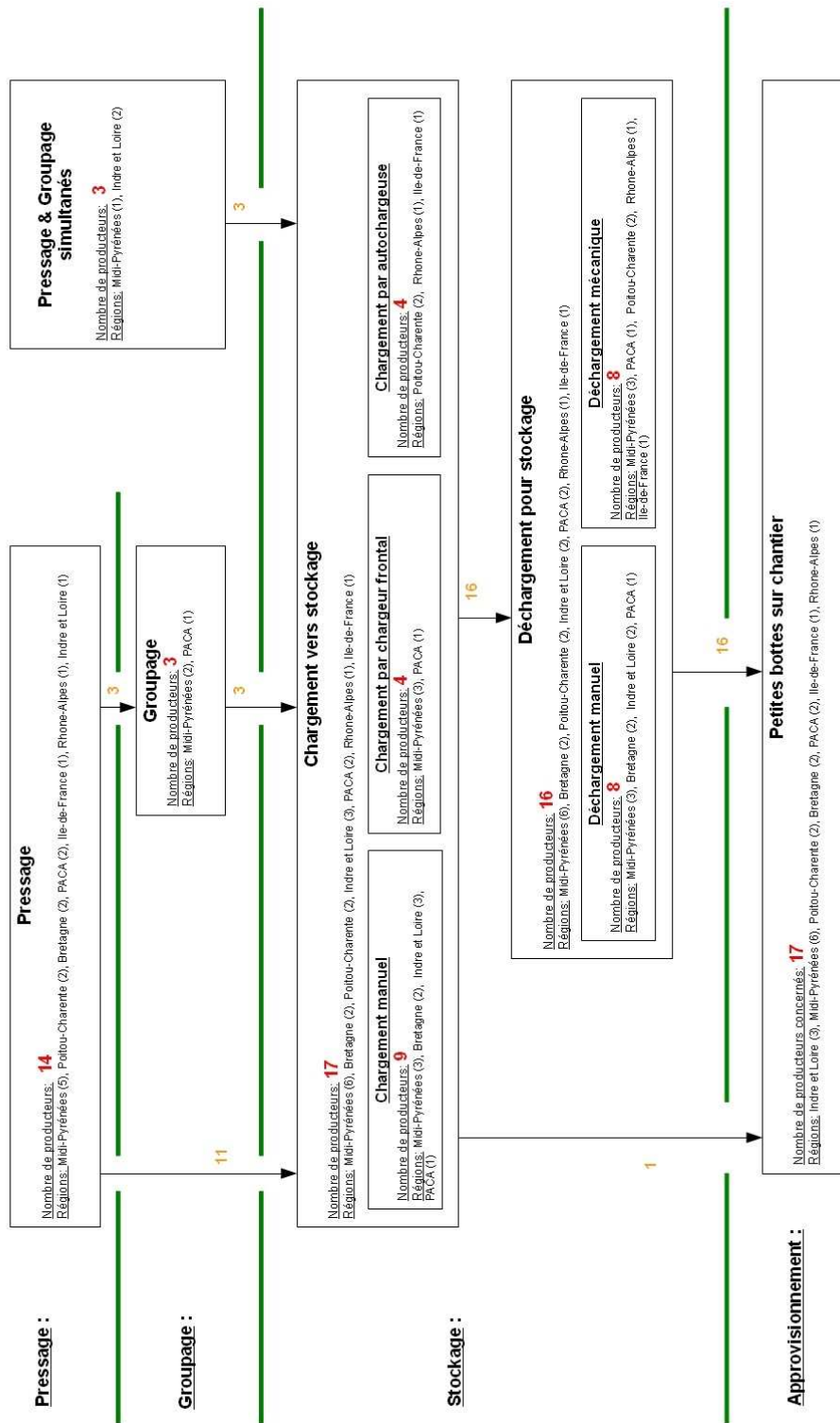
Annexe 10

Feuille de calcul Excel® du bilan carbone lors des étapes de cycle de vie des produits d'origine bio-sourcée

Annexe 1

Schéma récapitulatif de l'itinéraire technique agricole des producteurs de paille

Récapitulatif des Processus rencontrés lors du recueil de données national des producteurs de paille construction



Annexe 2

Tableau récapitulatif des résultats de l'enquête effectuée auprès des producteurs de paille

Région	Pressage			Groupage			Stockage			Trajet A-R							
	Matériel (CY)	Consommation (L/h)	Temps (h/ha)	Matériel (CY)	Consommation (L/h)	Temps (h/ha)	Ficelle (O/M)	Grospeur (O/M)	Temp. (h/ha)	Matériel (CY)	Consommation (L/h)	Auto chargées (O/M)	masel (h/ha)	Temp. déchargement masel (h/ha)	mécannage (h/ha)	Consommation (L/h)	Distance moy A-R (km)
Pressage, Groupage, Stockage																	
1	100	17	1	100	12	0	0	0	0,75	100	12	N	0,25	0,5	13	1	
2	80	10	1	145	10	0	0	0	1	80	10	N	0,17	0,17	3	3,5	
3	70	10	1	110	10	0	0	0	0,5	382*	4,27	N	0,5	0,5	8,1	10	
Pressage et Groupage simultanés, Stockage																	
1	100	10	0,5	Pressage et Groupage simultanés (voir Pressage)			N			100	10	N	0,5	0,75	10	4	
2	50	5	0,5	Pressage et Groupage simultanés (voir Pressage)			N			80	4	N	1	1	4	8,33	
3	115	10	1	Pressage et Groupage simultanés (voir Pressage)			N			50	6	N	1,12	1,12	8,1	1	
Pressage, pas de Groupage, Stockage																	
1	75	10,2	1	Pas de groupage			N			75	10,1	N	0,5	0,5	8,1	2	
2	120	10,2	1	Pas de groupage			N			52	10,1	N	1	0,5	8,1	1	
3	90	10	0,5	Pas de groupage			N			110	10	N	0,5	0,25	8,1	10	
4	30	10	1,25	Pas de groupage			N			80	8	N	1	1	8	4	
5	30	10,2	0,9	Pas de groupage			N			75	10,1	N	0,5	0,5	8,1	0,9	
6	30	13	0,75	Pas de groupage			N			30	13	N			10	1	
7	70	5	1	Pas de groupage			O			70	3	O	0,708	0,71	4	5,7	
8	125	10,2	1	Pas de groupage			O			125	10,1	O	0,42	0,42	8,1	2	
9	80	10	0,5	Pas de groupage			O			80	10	O	0,42	0,42	5	4	
10	80	13	1,25	Pas de groupage			O			80	13	O	0,5	0,5	10	0,9	
Pressage, pas de groupage, pas de stockage																	
1	105	10	1	Pas de groupage						105	20		1	Pas de stockage	8,1	1	
* : Par camion Selon FD P 01-015 (2/2'38 L/100 lins x 50 km/h)																	
Les cellules vides ou jaunes représentent les données "Non renseignées" par les producteurs, celles-ci ont été remplacées par le moyenne de la catégorie.																	
* : Par camion																	
Selon FD P 01-015 (2/2'38 L/100 lins x 50 km/h)																	
Les cellules vides ou jaunes représentent les données "Non renseignées" par les producteurs, celles-ci ont été remplacées par le moyenne de la catégorie.																	

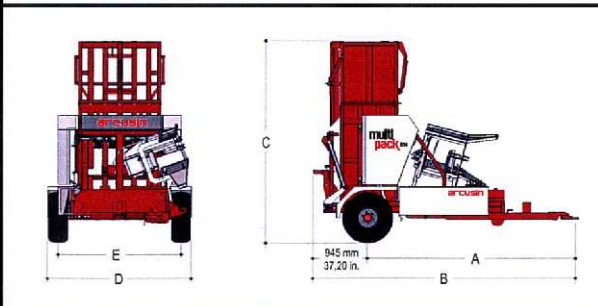
Annexe 3

Fiche technique « Groupeur de bottes de paille ARCUSIN B14 »



Dimensiones y características
Dimensions and characteristics
Mesures et caractéristiques
Abmessungen und Eigenschaften

Modelo Modèle Modell	A	B	C	D	E	Tipo neumático Tyre type Type pneumatique Reifenart
B14	3.610 mm. 142.12 in.	4.560 mm. 172.52 in.	3.480 mm. 137 in.	2.460 mm. 96.85 in.	2.100 mm. 82.67 in.	13.0/65 18 Tubeless



Pesos y cargas
Weights & Loadings
Poids et charges
Gewichte und Lasten

Punto de enganche Drawbar Weight Point d'attelage Kuppelung	650 kg. 1,433 Lb.
Eje de ruedas Axe Weight Axe des roues Radachse	2.320 kg. 5,114.7 Lb.
Tara Tare Weight Tare Tara	2.970 kg. 6,547.7 Lb.



+ información técnica
 information technique
 technical information
 technische daten
www.arcusin.com



arcusin

Autovía A-2, Km. 486
 Tels.: +34 973 71 28 55 / +34 696 98 29 10 - Fax: +34 973 60 42 57
 25243 EL PALAU D'ANGLESOLA - Lleida (España/Spain/Espagne/Spanien)
arcusin@arcusin.com - www.arcusin.com

Enchères y características representadas en esta ficha, no serán y pueden ser alteradas sin previo aviso.
 The following information and characteristics are subject to possible changes without prior notification.
 Les données et caractéristiques figurées dans cette brochure, ne font pas et elles peuvent être modifiées sans avis préalable.
 Die hier in der Tabelle Daten und Eigenschaften sind unverbindlich und können ohne Vorwarnung geändert werden.

Annexe 4

Tableau récapitulatif des calculs d'émissions à l'air et au sol des opérations agricoles selon la méthode de Thomas NEMECEK et al. (2007) « Life cycle inventories of agricultural production systems – Ecoinvent report n°15 »; chapitre 7: Agricultural field work processes

Calcul des émissions à l'air des processus agricoles				
Source: Ecoinvent report n°15 - LCI of agricultural production system - T Nemecek et al. - Déc 2007				
Processus	Ecoinvent	Emissions à l'air		
		Rinaldi & Stadler (2002)		
		HC	Nox	CO
		g/h	g/h	g/h
Pressage, groupage	haying	11	143	15
Stockage / Chargement manuel (Tracteur et remorque)	Transport (Tractor & trailer)	14	239	36
Stockage / Chargement par chargeur frontal	Loading bales	12	142	18
Stockage / Chargement par autochargeuse	Self loading trailer	13	214	23
Stockage / Déchargement par chargeur frontal	Loading bales	12	142	18
Stockage / Déchargement manuel (Tracteur et remorque)	Transport (Tractor & trailer)	14	239	36
Emissions à l'air- SAEFL (2000)				
Emission benzene - Wörgetter (1991)				
Designation	Ecoinvent	Symbole	Facteur Emission g/kg fuel consupcion	
Carbon dioxide	Dioxyde de carbone	CO2	3120	CO à déduire
Sulphur dioxide	Dioxyde de soufre	SO2	1,01	
Methane	Methane	CH4	0,129	
Benzene	Benzene	C6H6	0,0073	
Cadmium	Cadmium	Cd	0,00001	
Chromium	Chrome	Cr	0,00005	
Copper	Cuivre	Cu	0,0017	
Dinitrogen monoxide	Oxyde d'azote	N2O	0,12	
Nickel	Nickel	Ni	0,00007	
Zinc	Zinc	Zn	0,001	
Benzo(a)pyrene	Benzo(a)pyrene	C20H12	0,00003	
Ammonia	Ammoniac	NH3	0,02	
Selenium	Selenium	Se	0,00001	
Particulate matter	Particule de matière	PM2,5		Formule EF
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	Hydrocarbones Aromatiques Polycycliques			
Benzo(a)-Anthracene	Benz(a)-Anthracene		0,00008	
Benzo(b)-Fluor-Anthracene	Benzo(b)-Fluor-Anthracene		0,00005	
Chrysene	Chrysene		0,0002	
Dibenzo(a,h)-Anthracene	Dibenzo(a,h)-Anthracene		0,00001	
Fluoranthene	Fluoranthene		0,00045	
Phenanthrene	Phenanthrene		0,0025	
Formule EF	Pressage / groupage	autochargeuse	chargement frontal	Remorquage
	Puissance nominale (kW)	50	62	62
	Puissance moyenne (kW)	7,3	16,3	19,8
	Temps d'opération	0,6	0,02	0,0071
	EF _{pm2,5} =7,25-3,62*Puiss/10	7,18	7,19	7,18
	PM _{2,5} = EF _{pm2,5} * 0,854 * MP * OT	26,85	2,00	1,21
	1 CV = 0,7355 kW			
	Pouvoir calorifique du diesel = 45,4 MJ/kg			

Calcul des émissions au sol des processus agricoles									
Source: Ecoinvent report n°15 - LCI of agricultural production system - T Nemecek et al. - Déc 2007									
Processus	Emissions au sol			HMzinc	1b	g/kg pneu	g/kg pneu	g/kg pneu	
	Frischknecht et al. (1996) et Zimmermann (2002)	HM (lead)	HM (cadmium)						
	g/kg paille	g/kg paille	g/kg paille	LTm	LTt	W	RO	AM	
Pressage, groupeage									
	haying	7,25E-02	1,18E-02	2,72E-03					
	Tracteur	7,25E-02	1,18E-02	2,72E-03	7200	2500	321,75	93,3075	5,24E-05
	Machine	5,21E-05	8,47E-06	1,95E-06	720	2500	15,18	8,5008	8,76E-05
Autochargeuse	Self loading trailer	2,22E-01	3,60E-02	8,31E-03					
	Tracteur	1,27E-01	2,06E-02	4,76E-03	7200	2500	321,75	93,3075	9,17E-05
	Machine	9,48E-02	1,54E-02	3,55E-03	3600	750	123,5	69,16	1,44E-04
chargement frontal	Loading bales	8,34E-02	1,35E-02	3,13E-03					
	Tracteur	7,29E-02	1,18E-02	2,79E-03	7200	2500	321,75	93,3075	5,27E-05
	Machine	1,05E-02	1,70E-03	3,92E-04	1200	750	71,25	39,9	1,44E-04
Remorquage	Transport tractor	1,00E-02	1,63E-03	3,76E-04					
	Tracteur	8,78E-03	1,43E-03	3,29E-04	7200	2500	321,75	93,3075	6,95E-06
	Machine	1,26E-03	2,05E-04	4,72E-05	1200	750	71,25	39,9	1,73E-05
	Pressage / groupeage	50	62	50	62				
	Puissance nominale (kW)	62	50	62	62				
	Poids Tracteur (kg)	3300	3300	3300	3300				
	Poids Machine (kg)	552	2600	1500	1500				
	Durée vie Tracteur (h)	7200	7200	7200	7200				
	Durée vie Machine (h)	720	3600	1200	1200				
	Temps d'opération (h)	0,6	0,02	0,023	0,0071				
	Durée de vie pneu Tracteur (h)	2500	2500	2500	2500				
	Durée de vie pneu Machine (h)	2500	750	750	750				
	Poids jeu pneu Tracteur (kg/kg machine)	0,0975	0,0975	0,0975	0,0975				
	Poids jeu pneu machine (kg/kg machine)	0,0275	0,0475	0,0475	0,0475				
	Taux d'usure pneu tracteur (kg /kg pneus)	0,29	0,29	0,29	0,29				
	Taux d'usure pneu machine (kg /kg pneus)	0,56	0,56	0,56	0,56				
	1 CV = 0,7355 kW								

Annexe 5

Typologie CSTB des bâtiments - maison « MOZART », issu de cas d'exemple CoDyBa, jnlog

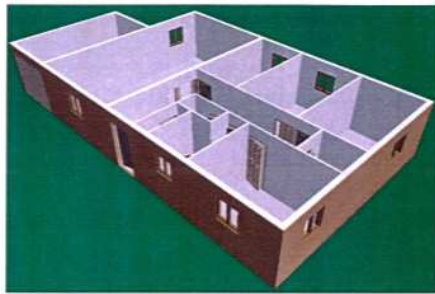


Figure 7 : vue du logement Mozart



Figure 8 : vue du toit du logement Mozart

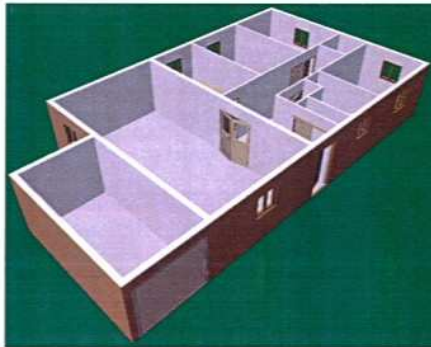


Figure 9 : vue du logement Mozart

L'angle du toit est de 30° par rapport à l'horizontal.
Le toit du logement est considéré comme formé de deux surfaces de tuile.
Pour simplifier, le toit du garage est considéré comme plat.

II - 2 - Plans des logements individuels

II - 2 - 1 - Maison "Mozart"

Le plan de la maison "Mozart" est donné figure 6 et différentes vues de la maison sont présentées sur les figures 7, 8 et 9.

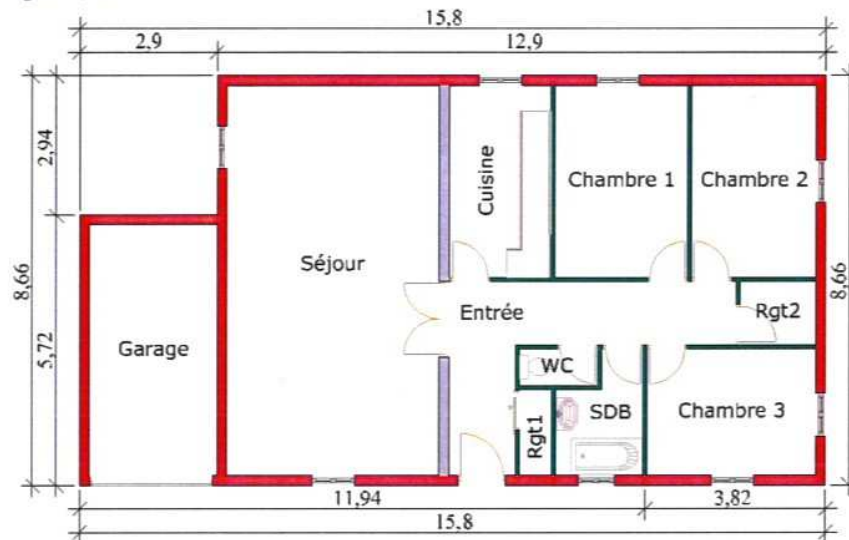


Figure 6 : plan du logement Mozart

Pour cette maison, le vide sanitaire est également présent sous le garage.

Annexe 7

Document CASTORAMA, relatif aux vis à bois



Date : 17/02/2012 - 10:48

RESERVES : les prix et les disponibilités sont sujets à modification après l'impression de cette page. Les photos des produits ne sont pas contractuelles. Page consultée le 17/02/2012 à 10:48:04 GMT. Copyright 2009. Castorama. Tous droits réservés.

Vis pozi acier bichromaté tête fraisée Ø 4 x 70 mm



Autre produit

ROCKET X

2,80 €

Vis tête fraisée pozi. Acier bichromaté et lubrifié. Dimensions : Ø 4 x 70 mm. En sachet de 11 pièces.

Plus produit : Entaille coupante : suppression du fendage du bois. Empreinte pozi profonde pour une bonne prise de l'embout de vissage. Spéciale visseuses électriques. Pointe effilée 22 à 25° : vissage précis. Acier bichromaté et lubrifié : vissage facile. Filet incliné à 40° : forte résistance à l'arrachement. 6 stries en fond de filet : renforce la résistance. Double cône : haute résistance à la rupture. 6 crans sous tête : auto-fraisage.

Conseils d'utilisation : Vis bois aggro pour intérieurs. Assemblage de meubles, étagères en bois, panneaux agglomérés, bois exotiques.

Poids : 0,054 kg

Annexe 8

Document relatif à la scie égoïne électrique de type BOSCH, de puissance 1600 Watts



Scie égoïne électrique GFZ 16-35 AC Professional

L'universelle avec la régulation électronique constante




Puissance de prise de courant nominale 1.600 W

Longueur du guide 350 mm

Longueur de course 50 mm

Annexe 9

Document relatif à des taille-haies thermiques, de type HUSQVARNA, d'une puissance de 600 Watts

Comparaison entre Taille-haies			
			
Modèles	122HD45	123HD60	123HD65x
<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> De série <input type="radio"/> En option <input type="radio"/> Sans objet 			
Particularités			
Smart Start®	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Bouton "Stop" à retour automatique	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Démarrage facilité	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
LowVib®	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Poignée arrière orientable	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Spécifications moteur			
Cylindrée	21,7 cm ³ / 1,3 po ³	22,5 cm ³ / 1,4 po ³	22,5 cm ³ / 1,4 po ³
Alésage du cylindre	32 mm / 1,3 inch	32 mm / 1,3 inch	32 mm / 1,3 inch
Course	27 mm / 1,1 inch	28 mm / 1,1 inch	28 mm / 1,1 inch
Puissance de sortie	0,6 kW / 0,8 ch	0,6 kW / 0,8 ch	0,6 kW / 0,8 ch
Régime à la puissance maxi	6000 tr/min	7000 tr/min	7000 tr/min
Régime maxi recommandé	9000 tr/min	12000 tr/min	12000 tr/min
Carburateur	Ruixin	Walbro	Walbro
Contenance du réservoir de carburant	0,36 l / 12,2 fl oz	0,5 l / 16,91 fl oz	0,5 l / 16,91 fl oz
Consommation spécifique	660 g/kWh	767 g/kWh	748 g/kWh
Système d'allumage	SEM	-	-
Régulation du module d'allumage	0,3 mm / 0"	-	-
Ralenti	2700 tr/min	-	-
Bougie	NGK	-	-
Ecartement des électrodes	0,5 mm / 0"	-	-
Données concernant les émissions polluantes, le bruit et le niveau sonore			
Niveau de vibrations équivalent (ahv, eq) - poignées avant/arrière	2,9/4,9 m/s ²	4,1/3,5 m/s ²	4,1/3 m/s ²
Niveau de pression sonore au niveau des oreilles de l'utilisateur	93 dB(A)	97 dB(A)	95 dB(A)
Niveau de puissance sonore garanti (Lwa)	101 dB(A)	106 dB(A)	106 dB(A)
Emissions polluantes (CO moyen)	-	178 g/kWh	178 g/kWh
Emissions polluantes (HC moyen)	-	219 g/kWh	219 g/kWh
Emissions polluantes (NOx moyen)	-	1,27 g/kWh	1,27 g/kWh
Transmission			
Démultiplication	4,44:1	4,25:1	4,25:1
Équipement			
Longueur de lame	45 cm / 17,7 inch	55 cm / 22 inch	60 cm / 23,6 inch
Ecartement des dents	28 mm / 1,1"	28 mm / 1,1"	28 mm / 1,1"
Diamètre maxi conseillé pour les brindilles	20 mm / 0,8"	15 mm / 0,6"	15 mm / 0,6"
Vitesse de coupe	4050 coupe/min	3765 coupe/min	3765 coupe/min
Dimensions hors-tout			
Poids	4,6 kg / 10,1 lb	5,1 kg / 11,2 lb	5,2 kg / 11,5 lb
Données logistiques			
Poids, y compris l'emballage	-	7,3 kg / 16,09 lb	7,3 kg / 16,09 lb

Annexe 10

Feuille de calcul Excel® du bilan carbone lors des étapes de cycle de vie des produits d'origine bio-sourcée

Matériau : Paille						
Production MP						
Teneur en C	46,53%			Masse molaire C	12	g/mol
Quantité paille (20 %HR) kg/UF	37			Masse molaire CO ₂	44	g/mol
Quantité paille anhydre kg/UF	32,56			Masse molaire CH ₄	16	g/mol
Captage par photosynthèse	55,551	kg CO ₂ /UF				
Captage par photosynthèse / kg	1,501	kg CO ₂ /kg paille				
Matériau : Liteau						
Production MP						
Teneur en C	50,00%					
Quantité liteau (20 %HR) kg/UF (Pertes 5%)	1,3335					
Quantité liteau anhydre kg/UF (Pertes 5%)	1,3074					
Captage par photosynthèse	2,3968	kg CO ₂ /UF				
Captage par photosynthèse / kg	1,797	kg CO ₂ /kg paille				
Fin de vie						
				kg CH ₄ /UF	Facteur equivalence CO ₂	kg eq CO ₂ réémis
Enfouissement :	17,3%	0,415				
Dont "Non dégradé"	85%					0,352
Dont "Dégradé" :	15%	0,062				
Dégradé CO ₂	50%					0,031
Dégradé CH ₄	50%			0,011		
Dont Réémis atmosphère	30%			0,003	21	0,071
Dont Brulé Torche air	70%			0,008	1	0,008
					Somme enfouissement /kg liteau:	0,478
					Somme:	0,110



Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Direction territoriale Ile-de-France – 12 rue Teisserenc de Bort – 78190 – Trappes-en-Yvelines –

Tel : 01 34 82 12 34 – Fax : 01 30 50 83 69 – mel : dteridf.cerema@cerema.fr

Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30

Etablissement public - Siret : 130 018 310 00313 - TVA Intracommunautaire : FR 94 130018310 - www.cerema.fr