



MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE

ÉTUDE DES CARACTÉRISTIQUES ENVIRONNEMENTALES

DU CHANVRE

PAR L'ANALYSE DE SON CYCLE DE VIE

Septembre 2006



MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE

**_*_*_*_*_

Cette étude ACV (Analyse du cycle de vie du chanvre et de produits en chanvre) menée par l'INRA et un large comité de pilotage répond aux attentes des industriels et à celles de la société en matière de qualification environnementale des produits.

Cette étude a été complétée par une revue critique.

En conséquence ce rapport comprend :

- 1) L'analyse du cycle de vie,
l'étude sera finalisée grâce à la rédaction d'un écoprofil pour les compounds thermoplastiques et d'une fiche de déclaration environnementale et sanitaire pour le béton de chanvre ;
- 2) la note de synthèse de la revue critique ;
- 3) l'intégralité des commentaires détaillés rédigés par Ecobilan avec comme conséquence le retrait des comparaisons décidé par le comité de pilotage, le rédacteur du rapport n'ayant pas apporté de réponses aux questions soulevées par la revue critique.

Paris, Septembre 2006.

Analyse du cycle de vie de :

**1. compounds thermoplastiques chargés
fibres de chanvre**

**2. mur en béton chanvre banché sur
ossature en bois**

Note de synthèse



BOUTIN Marie-Pierre,
FLAMIN Cyril,
QUINTON Samuel,
GOSSE Ghislain,
INRA, Lille

**Recherche ayant bénéficiée d'un financement du Ministère de l'agriculture et de la pêche
(Direction des Politiques Économique et Internationale).**

Référence MAP 04 B1 05 01

Le contenu du présent document n'engage que la responsabilité de ses auteurs.

Introduction

Objectif de l'étude

Actuellement première productrice européenne de chanvre, la filière française cherche à diversifier ses débouchés. Ainsi, en plus de la papeterie, elle vise les nouveaux marchés de la plasturgie (compounds thermoplastiques chargés fibres de chanvre) et du bâtiment (mur en béton chanvre banché sur ossature bois). La connaissance des impacts environnementaux potentiels dus à la fabrication de ces deux produits est nécessaire pour connaître les étapes du cycle de vie les plus nuisibles à l'environnement. En effet, dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue, cette connaissance permet de diminuer encore les impacts potentiels négatifs pour l'environnement de ces productions en focalisant les efforts sur ces étapes.

La filière chanvre estime par ailleurs que, face à la perspective de substitution des fibres minérales dans les plastiques composites et d'alternatives dans les systèmes de construction conventionnels, il n'existe pas de meilleure promotion que la mise en évidence des gains environnementaux permis par la présence du chanvre dans ces nouveaux produits. Or ces caractéristiques environnementales n'étaient pas à ce jour totalement prouvées.

Ainsi afin d'évaluer les impacts potentiels sur l'environnement des compounds thermoplastiques chargés fibres de chanvre et du mur en béton chanvre, la Direction des Politiques Economique et Internationale (DPEI) du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (MAP), en partenariat avec la filière chanvre, a sollicité l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA) pour réaliser l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) de compounds thermoplastiques chargés fibres de chanvre et d'un mur en béton chanvre banché sur ossature en bois conformément à la série des normes ISO 14040.

Description des produits étudiés

Le chanvre est une culture utilisée comme tête de rotation dans les systèmes de culture. Il fournit deux grands types de produits : de la fibre corticale et de la chènevotte.

- Issue de la paille de chanvre, la fibre corticale autrefois utilisée pour le textile est aujourd'hui principalement utilisée en papeterie. Cependant, grâce à ces propriétés mécaniques, elle sert également à la fabrication de produits tels que des composites, des isolants utilisés pour la construction et de plus en plus à la production de thermoplastiques renforcés utilisables dans l'industrie automobile.
- Issue de la moelle de la tige de chanvre, la chènevotte sert aujourd'hui principalement à la fabrication de litière animale de par sa capacité d'absorption. Ses propriétés de faible densité et son pouvoir isolant élevé lui valent d'être de plus en plus utilisée dans la composition de certains matériaux de construction.

Le compound thermoplastique chargé fibres de chanvre

Les thermoplastiques sont des matériaux synthétiques dérivés de polymères organiques qui peuvent être réversiblement ramollis par la chaleur puis durcis par refroidissement. Ces matrices plastiques peuvent être mélangées à des fibres pour produire des matériaux composites (compounds). Chargés en fibres, ces matériaux deviennent plus résistants et sont appelés thermoplastiques renforcés.

Aujourd'hui, la majorité des thermoplastiques sont renforcés par de la fibre de verre. Ils peuvent être chargés en fibres de chanvre et conserver des propriétés mécaniques équivalentes, comme le montrent des études déjà effectuées.

Le mur en béton chanvre banché sur ossature bois

Mélangée à un liant à base de chaux aériennes et de liant hydraulique prêt à l'emploi (pour l'étude, Tradical 70®), la chènevotte permet de confectionner des bétons qui, n'étant pas porteurs, sont ensuite projetés mécaniquement sur une structure bois porteuse. Cette projection de béton se fait sur un panneau de coffrage placé derrière l'ossature bois, jusqu'à atteindre une épaisseur suffisante pour recouvrir la structure porteuse. Le mur en béton chanvre sur ossature bois résultant présente des caractéristiques techniques spécifiques et performantes telles qu'un pouvoir isolant élevé, une bonne correction acoustique et une perméabilité à la vapeur d'eau.

Méthodologie

Délimitation des systèmes étudiés

Un comité de pilotage est chargé de la définition du champ de l'étude, de l'orientation et du suivi de l'ACV. Il regroupe à la fois des membres d'institutions (MAP, ADEME, MEDD), les industriels de la filière chanvre (BCB-Lhoist, AFT Plasturgie, UTC, Plasticana) et des membres d'instituts techniques et de recherche (FNPC, INRA, Construire en chanvre).

Analyse de l'inventaire

Constituer l'analyse de l'inventaire nécessite d'une part de définir un scénario de référence pour le procédé étudié et d'autre part d'en recueillir les données concernant la nature et les quantités des intrants et des sortants mis en jeu au cours des différentes étapes. En effet, pour la production d'un même bien, il peut exister des procédés similaires mais dont la nature ou les quantités d'intrants ou de sortants mis en jeu sont sensiblement différentes. C'est en particulier le cas pour les productions agricoles qui dépendent notamment du sol, facteur variable d'un endroit à un autre. Ainsi, suivant les types de sols, la qualité et les quantités de fertilisants azotés utilisés pour une culture avec un objectif de rendement donné peuvent varier.

Dans cette étude, la construction d'un scénario de référence et le recueil des données ont été réalisés pour chaque produit en réunissant un groupe de travail composé d'experts du domaine. A partir du scénario de référence construit et de références bibliographiques, le calcul des quantités de substances potentiellement émises et consommées au cours des procédés étudiés est effectué.

Evaluation de l'impact

L'objectif de cette partie est de quantifier les impacts environnementaux potentiels causés par le procédé étudié. Cette quantification se base sur le calcul des quantités de substances émises et consommées effectué au cours de l'analyse de l'inventaire.

Choix des impacts considérés dans l'étude

L'un des produits à analyser étant utilisé en tant que matériau de construction, les impacts considérés dans l'étude ont donc été choisis selon les recommandations formulées dans la norme régissant la qualité environnementale et sanitaire des produits de construction (NF P01-010). Huit impacts environnementaux potentiels ont été retenus : l'épuisement des ressources (en kg Sb eq.), l'acidification atmosphérique (en kg SO₂ eq.), l'effet de serre à 100 ans (en kg CO₂ eq.), la destruction de la couche d'ozone (en kg CFC-11 eq.), la formation d'ozone photochimique (en kg C₂H₄ eq.), la consommation d'énergie non

renouvelable (en MJ), la production de déchets (en kg), la pollution de l'air et de l'eau (en m³).

Passage de l'analyse de l'inventaire à l'évaluation de l'impact

Pour chaque substance répertoriée dans l'analyse de l'inventaire, il existe un facteur d'équivalence pour une masse donnée de substances dans un impact environnemental potentiel donné. Ces facteurs sont nommés facteurs de caractérisation. Les valeurs calculées dans l'analyse de l'inventaire pour chaque substance sont converties en impacts grâce à ces facteurs. La somme de ces valeurs est ensuite effectuée pour chacun des impacts potentiels considérés dans l'ACV.

Interprétation du cycle de vie

Les résultats fournis par les ACV étant complexes, ils nécessitent une interprétation. Cette interprétation se fait en identifiant les étapes de la production qui ont un impact potentiel majeur sur l'environnement et en faisant varier si nécessaire la valeur de certains paramètres sensibles du scénario de référence pour tester leur rôle dans l'impact environnemental potentiel du produit.

Résultats et discussions

L'étude a été divisée en trois parties : une partie agronomie commune aux deux parties suivantes, la partie thermoplastique et la partie bâtiment.

Partie agronomie

Délimitation du système étudié

Le système étudié dans cette partie comprend la phase de production agricole, nommée itinéraire technique et la phase de production de fibres et de chènevotte nommée transformation primaire. L'unité fonctionnelle considérée est le kilogramme.

Le système étudié ne tient pas compte de la production de semences, de la production de chènevis parfois associée à la production de paille et des intrants dont la masse est inférieure à 2% de la masse totale des intrants (NF P01-010). On considère également la poussière issue de la transformation primaire comme un déchet (recherche de valorisation en cours). Enfin, la répartition des impacts environnementaux potentiels de la paille de chanvre entre fibres et chènevotte a été faite selon une allocation massique (60% chènevotte, 40% fibres) et une allocation économique (68% fibres et 32% chènevotte).

Analyse de l'inventaire

La valeur des intrants et des distances de transport imputée à la production de paille de chanvre a été calculée à partir des valeurs fournies par les membres du groupe de travail (FNPC, LCDA, Eurochanvre et PDM Industrie).

La valeur des sortants imputée à la production de paille a été calculée à partir de formules issues de la bibliographie.

Le stockage du carbone dans le produit lié au phénomène photosynthèse a été pris en compte dans cette étude.

Evaluation de l'impact et interprétation du cycle de vie

Les résultats montrent un impact potentiel favorable vis-à-vis de l'effet de serre. En effet, la valeur potentielle de cet impact est comprise entre -1,7 (allocation massique) et -2,9

(allocation économique) kg CO₂ eq/kg de fibre et entre -1 (allocation économique) et -1,9 (allocation massique) kg CO₂ eq./kg de chènevotte. La prise en compte du stockage de carbone dans la fibre et la chènevotte par la photosynthèse explique ce résultat positif au niveau de la partie agronomie (la durée du stockage de carbone dépend du type de produit final, de son utilisation, incluant le recyclage potentiel et de sa fin de vie).

Les résultats montrent également des impacts potentiels défavorables, à l'instar des autres activités agro-industrielles. La fertilisation azotée est l'étape déterminante dans le bilan environnemental de la fibre et de la chènevotte. Cette étape intervient principalement pour l'émission de gaz à effet de serre (production des engrais minéraux et devenir des engrais dans les sols), la consommation de ressources énergétiques non renouvelables et la pollution de l'eau par les nitrates. Le test de paramètre effectué sur cette étape met également en évidence qu'une diminution des doses d'azote de 20% permettrait, en considérant un rendement identique, une diminution de l'ensemble des impacts potentiels de l'ordre de 10% à l'exception des impacts production de déchets, destruction de la couche d'ozone et pollution de l'eau.

Au-delà des résultats de l'ACV, la culture de chanvre ne nécessitant qu'une fertilisation azotée limitée, aucun produit phytosanitaire ni irrigation, elle pourrait être favorablement comparée aux grandes cultures classiques.

Partie thermoplastique

Délimitation des systèmes étudiés

Le compound étudié est un mélange de polypropylène et de fibres de chanvre. Le rapport massique entre ces deux composés est de 70% pour le polypropylène et 30% pour les fibres de chanvre. L'unité fonctionnelle considérée est le kilogramme.

Le système étudié comprend la phase de production et de transport des matières premières ainsi que la phase de compoundage, le compound résultant étant stocké en vrac, prêt à l'emploi.

Les intrants dont la masse est inférieure à 2% de la masse totale des intrants ne sont pas comptabilisés (NF P01-010).

Analyse de l'inventaire

Les distances de transport des matières premières et les quantités d'intrants (énergie, matières) utilisées dans le scénario de référence décrit ci-dessus proviennent d'AFT Plasturgie.

L'analyse de l'inventaire de la fibre de chanvre a été présentée dans la partie agronomie. Celui du polypropylène provient de la base de données Ecoinvent®.

Evaluation de l'impact et interprétation du cycle de vie

Les résultats mettent en évidence que la fibre de chanvre diminue l'impact potentiel défavorable lié au polypropylène. Ainsi, la production d'un kilogramme de compound de polypropylène chargé à 30% de chanvre consomme 67 MJ d'énergie non renouvelable et émet pour l'effet de serre entre 0,7 et 1 kg CO₂ eq, suivant l'allocation économique ou massique. La consommation d'énergie et l'impact sur l'effet de serre sont respectivement inférieurs de 20 et 40% à ceux liés à la production de polypropylène pur.

En outre, la production de polypropylène nécessite de nombreuses ressources fossiles telles que le gaz naturel (0,73 m³/kg), le charbon (63 g/kg) et l'uranium (5 mg/kg). Dans le cadre d'une démarche d'écoconception, l'utilisation de matériaux à base de carbone

renouvelable et ayant les mêmes propriétés techniques que le polypropylène améliorerait encore le bilan environnemental du compound chargé fibres de chanvre.

Partie bâtiment

Délimitation des systèmes étudiés

L'objet de l'étude est le mur en béton chanvre banché sur ossature bois dont l'unité fonctionnelle est d'assurer la fonction de mur porteur sur 1m² de paroi avec une résistance thermique de 2,36m² K/W pendant une annuité. La durée de vie retenue pour ce produit est de 100 ans.

Le système étudié comprend la production des matières premières, la mise en œuvre du mur sur chantier, la vie en œuvre, la fin de vie du mur (avec, par défaut de filière de valorisation bien définie, un stockage des déchets de construction en centre d'enfouissement technique de classe II (CET II)) et la phase de transport, fragmentée sur l'ensemble du cycle de vie.

Ce système ne tient pas compte des intrants dont la masse est inférieure à 2% de la masse totale des intrants (NF P01-010) et considère qu'en l'absence de données sur les émissions dues à la dégradation des gravats de béton et du bois en CET II, la fin de vie se limite donc à la prise en compte de la masse de déchets de démolition et des émissions liées à leur transport vers le CET II le plus proche. De même, la réutilisation ou le recyclage du matériau béton chanvre n'ont pas été pris en compte.

Analyse de l'inventaire

L'organisation de la filière, les distances de transport des matières premières et les quantités d'intrants (énergie, matières) utilisées dans le scénario de référence décrit ci-dessus proviennent de BCB-Lhoist et de Construire en chanvre.

L'analyse de l'inventaire de la chènevotte a été calculée dans la partie agronomie. Celles du Tradical 70® (chaux, liant hydraulique) et du bois proviennent de la base de données Ecoinvent®.

Evaluation de l'impact et interprétation du cycle de vie

Les résultats montrent un impact potentiel favorable vis-à-vis de l'effet de serre. Ainsi, le cycle de vie d'un mètre carré de mur en béton chanvre sur 100 ans stocke entre 14 et 35 kg CO₂ eq par m², suivant l'allocation économique ou massique. Ce stockage de carbone est dû principalement à la chènevotte, mais aussi au bois et à la chaux contenue dans le béton (phénomène de recarbonatation).

Concernant les autres impacts forcément négatifs, en particulier la consommation d'énergies fossiles (entre 370 et 394 MJ par m²), il conviendrait de les comparer à ceux des autres matériaux de construction.

La fabrication du liant, suivie de l'étape de transport, est le poste qui contribue le plus à la consommation d'énergie non renouvelable, à l'effet de serre et à la formation d'ozone photochimique. Si les marges de manœuvre concernant l'amélioration de la production du liant sont liées au développement industriel, une amélioration du bilan environnemental du mur en béton de chanvre est rapidement possible via l'optimisation de la phase de transport. En effet, les distances parcourues aujourd'hui sont très importantes ; les raccourcir, en développant la filière, permettrait de diminuer l'impact global potentiel du produit.

Au-delà des résultats de l'ACV, les principales améliorations pourraient venir d'évolutions technologiques comme par exemple le développement de la production à grande échelle de

blocs de béton chanvre. Ces nouveaux blocs fabriqués industriellement permettraient à la fois d'utiliser moins de liant tout en conservant le principal puits de carbone, la chènevotte, et donc de diminuer l'impact potentiel sur l'environnement. Cette évolution est actuellement à l'étude dans le cadre du projet EUREKA HLB (Hemp Lime Blocks).

Conclusion et perspectives

Pour le compound thermoplastique chargé fibres de chanvre, le chanvre contribue aux impacts potentiels défavorables de façon marginale (épuiement des ressources, acidification, émissions de gaz à effet de serre, destruction de la couche d'ozone), de façon minoritaire (pollution de l'air et de l'eau) ou de façon majoritaire (production de déchets).

Pour le mur en béton chanvre, le chanvre contribue aux impacts potentiels défavorables de façon marginale (destruction de la couche d'ozone, émissions de gaz à effet de serre, énergie non renouvelable, production de déchets), de façon minoritaire (épuiement des ressources) ou de façon majoritaire (pollution de l'air et de l'eau).

Par ailleurs, les résultats de l'étude prouvent que du point de vue de l'effet de serre, le compound thermoplastique chargé fibres de chanvre et le mur en béton chanvre sur ossature bois sont performants. Ceci est dû au carbone issu de la photosynthèse stocké dans la matière première chanvre. En outre, le mur de béton chanvre constitue un puits de carbone intéressant au moins pour une durée de 100 ans, car le mur stocke plus de CO₂ que son cycle de vie n'en émet. Quant aux thermoplastiques, la substitution d'une partie du polypropylène par des fibres végétales diminue l'impact défavorable de ce dernier sur l'effet de serre.

Les résultats observés sont largement dus à la matière première chanvre dont la production agricole nécessite peu d'intrants fossiles et s'insère bien dans les systèmes de productions agricoles.

Au-delà des résultats de cette étude, d'autres caractéristiques environnementales paraissent d'ores et déjà favorables. Ainsi, les compounds thermoplastiques chargés de fibres de chanvre étant moins denses que ceux utilisés aujourd'hui, ils permettent de réduire le poids des véhicules et donc leur consommation en carburant, diminuant de manière indirecte les émissions de gaz à effet de serre. De plus, les thermoplastiques chargés en fibres de chanvre étant recyclables, leur réutilisation permet une économie de matière, notamment en polypropylène, et par conséquent là encore un effet indirect de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Enfin, si le béton chanvre étudié présente une isolation conforme à la réglementation thermique, le confort thermique ne se limite pas à cet unique aspect et le fonctionnement hygrothermique des bétons chanvre laisse espérer des économies d'énergie indirecte à confort équivalent.

L'ensemble des résultats de cette étude gagnerait à être comparé aux unités fonctionnelles des produits fossiles concurrents (le kilogramme de compound thermoplastique chargé fibres minérales et le mètre carré de mur en construction conventionnelle de résistance thermique équivalente).

Analyse du cycle de vie de :

**1. compounds thermoplastiques chargés
fibres de chanvre**

**2. mur en béton chanvre banché sur
ossature en bois**

Rapport final



BOUTIN Marie-Pierre,
FLAMIN Cyril,
QUINTON Samuel,
GOSSE Ghislain,
INRA, Lille

**Recherche ayant bénéficiée d'un financement du Ministère de l'agriculture et de la pêche
(Direction des Politiques Économique et Internationale).**

Référence MAP 04 B1 05 01

Le contenu du présent document n'engage que la responsabilité de ses auteurs.

Juin 2005

Sommaire

1. INTRODUCTION	1
1.1. GENERALITES	1
1.1.1. <i>Présentation du chanvre</i>	1
1.1.2. <i>Production et transformation du chanvre</i>	2
1.2. CARACTERISTIQUES DE LA FILIERE FRANÇAISE CHANVRE.....	3
1.2.1. <i>Les principaux bassins de productions</i>	3
1.2.2. <i>Le devenir des produits issus de la plante</i>	3
2. DEFINITION DE L’OBJECTIF ET DU CHAMP DE L’ETUDE	5
2.1. OBJECTIF DE L’ETUDE.....	5
2.2. SUIVI DE L’ETUDE	5
2.3. CHAMP DE L’ETUDE	6
2.3.1. <i>Partie agronomie</i>	7
2.3.2. <i>Partie thermoplastique</i>	9
2.3.3. <i>Partie bâtiment</i>	11
3. ANALYSE DE L’INVENTAIRE	14
3.1. CONSTITUTION DE L’ANALYSE DE L’INVENTAIRE	14
3.1.1. <i>Méthodologie employée</i>	14
3.1.2. <i>Passage du scénario de référence à l’analyse de l’inventaire</i>	14
3.1.3. <i>Résultats obtenus</i>	16
3.2. PARTIE AGRONOMIE.....	17
3.2.1. <i>Constitution d’un groupe de travail</i>	17
3.2.2. <i>Construction d’un scénario de référence</i>	17
3.3. PARTIE THERMOPLASTIQUE	22
3.3.1. <i>Constitution d’un groupe de travail</i>	22
3.3.2. <i>Construction d’un scénario de référence</i>	22
3.4. PARTIE BATIMENT.....	24
3.4.1. <i>Constitution d’un groupe de travail</i>	24
3.4.2. <i>Construction d’un scénario de référence</i>	24
4. ÉVALUATION DE L’IMPACT	28
4.1. CHOIX DES IMPACTS CONSIDERES DANS L’ETUDE	28
4.2. PASSAGE DE L’ANALYSE DE L’INVENTAIRE A L’EVALUATION DE L’IMPACT	29
4.3. PARTIE AGRONOMIE.....	30
4.4. PARTIE THERMOPLASTIQUE	32
4.5. PARTIE BATIMENT.....	34
5. INTERPRETATION DU CYCLE DE VIE.....	35
5.1. PARTIE AGRONOMIE.....	35
5.2. PARTIE THERMOPLASTIQUE	41
5.3. PARTIE BATIMENT.....	47
6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	53
6.1. PARTIE AGRONOMIQUE	53
6.2. PARTIE THERMOPLASTIQUE	54
6.3. PARTIE BATIMENT	55
6.4. RECAPITULATIF DES HYPOTHESES MAJEURES DE L’ACV	56
BIBLIOGRAPHIE.....	58
ANNEXES	60

Liste des figures

FIGURE 1 : PROCESSUS ETUDIES DANS L'ACV	6
FIGURE 2 : ÉTAPES CONSIDEREES DANS L'ETUDE DE LA PRODUCTION DE CHENEVOTTE ET DE FIBRE	7
FIGURE 3 : ARBRE DE CYCLE DE VIE D'UN COMPOUNDS THERMOPLASTIQUES CHARGES FIBRE DE CHANVRE ..	10
FIGURE 4 : COUPE TRANSVERSALE DE L'UNITE FONCTIONNELLE	11
FIGURE 5 : ARBRE DE CYCLE DE VIE SIMPLIFIE DU MUR EN BETON CHANVRE BANCHE SUR OSSATURE BOIS....	12
FIGURE 6 : SCENARIO DE REFERENCE	24
FIGURE 7 : EPUISEMENT DES RESSOURCES/PAILLE DE CHANVRE	35
FIGURE 8 : ACIDIFICATION ATMOSPHERIQUE/PAILLE DE CHANVRE	36
FIGURE 9 : RAPPORT EMISSIONS/PRELEVEMENTS DE GAZ A EFFET DE SERRE/PAILLE DE CHANVRE	36
FIGURE 10 : EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE A 100 ANS/PAILLE DE CHANVRE	37
FIGURE 11 : DESTRUCTION DE LA COUCHE D'OZONE/PAILLE DE CHANVRE	37
FIGURE 12 : FORMATION D'OZONE PHOTOCHIMIQUE/PAILLE DE CHANVRE.....	38
FIGURE 13 : ENERGIE NON RENOUVELABLE UTILISEE/PAILLE DE CHANVRE.....	38
FIGURE 14 : POLLUTION DE L'AIR/PAILLE DE CHANVRE	39
FIGURE 15 : POLLUTION DE L'EAU/PAILLE DE CHANVRE	39
FIGURE 16 : COMPARAISON DE SCENARIOS AVEC DIFFERENTS NIVEAUX DE FERTILISANTS AZOTES	40
FIGURE 17 : EPUISEMENT DES RESSOURCES/COMPOUND CHANVRE	41
FIGURE 18 : ACIDIFICATION ATMOSPHERIQUE/COMPOUND CHANVRE.....	41
FIGURE 19 : RAPPORT EMISSIONS/PRELEVEMENTS DE GAZ A EFFET DE SERRE/COMPOUND CHANVRE.....	42
FIGURE 20 : EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE A 100 ANS/COMPOUND CHANVRE	42
FIGURE 21 : DESTRUCTION DE LA COUCHE D'OZONE/COMPOUND CHANVRE.....	43
FIGURE 22 : FORMATION D'OZONE PHOTOCHIMIQUE/COMPOUND CHANVRE	43
FIGURE 23 : ENERGIE NON RENOUVELABLE/COMPOUND CHANVRE.....	44
FIGURE 24 : PRODUCTION DE DECHETS/COMPOUND CHANVRE	44
FIGURE 25 : POLLUTION DE L'AIR/COMPOUND CHANVRE.....	45
FIGURE 26 : POLLUTION DE L'EAU/COMPOUND CHANVRE.....	45
FIGURE 27 : EPUISEMENT DES RESSOURCES/MUR DE CHANVRE	47
FIGURE 28 : ACIDIFICATION ATMOSPHERIQUE/MUR DE CHANVRE	47
FIGURE 29 : RAPPORT EMISSIONS/PRELEVEMENT DE GAZ A EFFET DE SERRE/MUR DE CHANVRE	48
FIGURE 30 : STOCKAGE DE CARBONE/MUR DE CHANVRE.....	48
FIGURE 31 : EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE A 100 ANS/MUR DE CHANVRE	49
FIGURE 32 : DESTRUCTION DE LA COUCHE D'OZONE/MUR DE CHANVRE	49
FIGURE 33 : FORMATION D'OZONE PHOTOCHIMIQUE/MUR DE CHANVRE	50
FIGURE 34 : ENERGIE NON RENOUVELABLE/MUR DE CHANVRE	50
FIGURE 35 : POLLUTION DE L'AIR/MUR DE CHANVRE.....	51
FIGURE 36 : POLLUTION DE L'EAU/MUR DE CHANVRE	51
FIGURE 37 : PRODUCTION DE DECHETS/MUR DE CHANVRE	52

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : FLUX DE REFERENCE.....	12
TABLEAU 2 : EXEMPLE : CAS DU CO ₂ EMIS LORS DU FAUCHAGE DE LA PAILLE DE CHANVRE	14
TABLEAU 3 : EXEMPLE DE CALCUL, CAS DU TEMPS MOYEN DE PREPARATION DU SOL	17
TABLEAU 4 : ITINERAIRE TECHNIQUE MOYEN RETENU DANS LE SCENARIO DE REFERENCE.....	18
TABLEAU 5 : QUANTITES D'INTRANTS APPORTEES LORS DE L'ITINERAIRE TECHNIQUE.....	18
TABLEAU 6 : VALEUR DU COEFFICIENT A SUIVANT LE TYPE DE FERTILISANT UTILISE.....	19
TABLEAU 7 : QUANTITES DE PAILLE DE CHANVRE TRANSFORMEES EN UN AN PAR LES INDUSTRIELS	20
TABLEAU 8 : QUANTITES D'INTRANTS ET DE SORTANTS POUR TRANSFORMER 1 KG DE PAILLE DE CHANVRE ...	21
TABLEAU 9 : QUANTITES DE GASOIL UTILISEES POUR TRANSPORTER LES PRODUITS NECESSAIRES A LA FABRICATION D'1 KG DE COMPOUND.....	23
TABLEAU 10 : QUANTITES D'INTRANTS NECESSAIRES A LA FABRICATION D'1 KG DE COMPOUND.	23
TABLEAU 11 : INTRANTS LIES A LA PRODUCTION DE TRADICAL 70® ET A SON TRANSPORT VERS LE DISTRIBUTEUR	25
TABLEAU 12 : INTRANTS LIES A LA PRODUCTION ET AU TRANSPORT DE LA CHENEVOTTE VERS LE DISTRIBUTEUR	25
TABLEAU 13 : INTRANTS LIES AU TRANSPORT DE LA CHENEVOTTE ET DU TRADICAL 70® VERS LE CHANTIER .	25
TABLEAU 14 : INTRANTS LIES A LA FABRICATION DE L'OSSATURE BOIS ET SON TRANSPORT VERS CHANTIER...	26
TABLEAU 15 : INTRANTS LIES A LA MISE EN OEUVRE DU MUR.....	26
TABLEAU 16 : SORTANTS LIES A LA MISE EN OEUVRE DU MUR.....	27
TABLEAU 17 : SORTANTS LIES A LA FIN DE VIE	27
TABLEAU 18 : EXEMPLES DE FACTEURS DE CARACTERISATION.....	29
TABLEAU 19 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX POTENTIELS LIES A LA PRODUCTION DE CHANVRE	30
TABLEAU 20 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX POTENTIELS LIES A LA PRODUCTION D'1 KG DE COMPOUND THERMOPLASTIQUE	31
TABLEAU 21 : IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX POTENTIELS SUR 100 ANS LIES A LA FABRICATION D'1M ² DE MUR EN BETON CHANVRE BANCHE SUR OSSATURE BOIS ⁽¹⁾	33

Glossaire

Analyse de cycle de vie : Compilation et évaluation des entrants et sortants, ainsi que des impacts potentiels environnementaux d'un système de produits au cours de son cycle de vie (Source : ISO 14 040).

Analyse de l'inventaire : Etape de l'Analyse de Cycle de Vie qui nomme et quantifie les entrants et sortants mis en jeu pour un système donné (Source : ISO 14 040).

Antimoine : Élément métallique dont le symbole atomique est "Sb". Son numéro atomique dans la classification de Mendeleïev est 51.

Banche : Panneau de coffrage pour la construction des murs en béton ou en pisé (Source : Larousse 2003).

Centre d'enfouissement technique de classe II : Lieu aménagé pour le dépôt de déchets non dangereux sur le sol ou leur enfouissement. Synonymes : centre de stockage ou décharge de classe II (Source : ADEME).

Chènevis : Graine de chanvre.

Chênevotte : Ensemble des tissus ligneux provenant principalement de la moelle de la tige de chanvre issu de la transformation primaire (Source : Dictionnaire d'agriculture).

Compound thermoplastique chargé fibres de chanvre : Mélange dans des proportions données entre un thermoplastique et des fibres de chanvre.

Durée de vie typique (DVT) : Durée de vie théorique du produit retenue pour l'unité fonctionnelle (Source : NF P 01-010).

Ecoinvent® : Base de données d'inventaires de cycle de vie de divers matériaux.

Évaluation de l'impact : Etape de l'Analyse de Cycle de Vie qui évalue à partir de l'analyse de l'inventaire la valeur des différents impacts environnementaux potentiels d'un système donné (Source : ISO 14 040).

Facteurs de caractérisation : Facteur permettant de convertir un résultat de l'analyse de l'inventaire dans l'unité utilisée pour qualifier un impact environnemental potentiel.

Fanage : Opération consistant à laisser flétrir sur le champ la plante fauchée (Source : Dictionnaire d'agriculture).

Fibre : Longue cellule, ou ensemble de cellules, provenant de l'écorce de la tige de chanvre, dont la paroi est constituée en grande partie de cellulose et qui est obtenue après un traitement plus ou moins élaboré selon la quantité des autres molécules organiques présentes (Source : Dictionnaire d'agriculture).

Flux de référence : Mesure des sortants nécessaires des processus, dans un système de produits donné, pour remplir la fonction telle qu'elle est exprimée par l'unité fonctionnelle (Source : ISO 14041, NF P 01-010).

Impact environnemental : Toute modification de l'environnement, négative ou bénéfique résultant totalement ou partiellement des activités, produits ou services d'un organisme au système global (Source : ISO 14 001).

Inventaire de cycle de vie (ICV) : Phase de l'analyse de cycle de vie impliquant la compilation et la quantification des entrants et des sortants pour un système de produits donné au cours de son cycle de vie.

Itinéraire technique : Suite logique et ordonnée de techniques culturales appliquées par l'agriculteur à un peuplement végétal cultivé sur une parcelle donnée en vue d'atteindre un objectif de production donnée (Source : Dictionnaire d'agriculture).

Mise en œuvre : Etape du cycle de vie d'un produit de construction allant de l'arrivée sur le chantier de construction à la réception de l'ouvrage (Source : NF P 01-010).

Papiers spéciaux : Papiers fins servant à la fabrication de papiers pour bible, papiers à cigarette et papiers pour la monnaie.

Poussière : Fraction poudreuse provenant de la moelle de la tige de chanvre issue de la transformation primaire.

Rouissage : Dégradation des tiges sous l'action enzymatique des micro-organismes du sol (bactéries, champignons) visant à favoriser l'extraction ultérieure des fibres. Il peut être naturel au sol ou chimique en cuve. En France, seul le rouissage naturel au sol est autorisé.

Règle de coupure : Critère pour l'inclusion des entrants et des sortants (Source : ISO 14041). Dans la norme française NF P 01-010, le critère de coupure massique a été retenu. Le seuil est fixé à 98%.

Rupture de charge : Interruption d'un transport due à un changement de véhicule ou de mode de transport (Source : Larousse 2003).

Tradical 70® : Liant pour béton prêt à l'emploi, constitué d'un mélange de chaux aériennes et d'adjuvants d'origines minérales et végétales.

Transformation primaire : Ensemble des étapes de production de fibres et de chènevotte à partir de paille de chanvre.

Unité fonctionnelle (UF) : Performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse de cycle de vie (Source : ISO 14040, NF P 01-010).

Vie en œuvre : Etape du cycle de vie d'un produit de construction allant de l'occupation de l'ouvrage par les occupants, entretien et réparations, jusqu'au départ des derniers occupants (Source : NF P 01-010).

INTRODUCTION

1. Introduction

1.1. Généralités

Les informations fournies dans cette première partie sont issues d'une brochure éditée par Sorghal asbl, institut supérieur belge étudiant plusieurs cultures dont le chanvre, et du site Internet de La Chanvrière de l'Aube.

1.1.1. Présentation du chanvre

1.1.1.1. Aspects botaniques et morphologiques

Le chanvre (*Cannabis sativa*) est une plante annuelle dicotylédone appartenant à la famille des Cannabacées. Cette plante est composée :

- D'un système racinaire pivotant pouvant mesurer jusqu'à 2,5 m.
- D'une tige hexagonale couverte de poils atteignant une hauteur comprise entre 2 et 4 m et dont la ramification dépend de la densité de semis.
- De feuilles palmatiséquées dont le nombre de folioles est fonction de la variété, de l'âge et de la position de la feuille sur la tige.
- De fleurs unisexuées. Les fleurs mâles contiennent 5 étamines entourées d'un calice constitué de 5 pétales jaunes/verts. Les fleurs femelles sont réduites à un calice entourant un ovaire. La position des fleurs sur la plante dépend de la variété. Ainsi pour les variétés dioïques, les fleurs mâles se situent au niveau des pétioles et vont par paire tandis que les fleurs femelles sont rassemblées en bouquet au niveau de ramifications secondaires courtes. Pour les variétés monoïques, les fleurs mâles se trouvent sur les verticilles de la tige principale et les fleurs femelles au sommet de cette tige.
- De graines sphériques, appelées couramment chènevis, logées dans un akène.

1.1.1.2. Intérêts agronomiques du chanvre

Le chanvre est :

- **Une bonne tête d'assolement.** Il constitue un bon précédent pour les céréales, car son cycle cultural étant court, il libère le sol tôt (récolte à partir de mi-septembre en France).
- **Une plante « nettoyante ».** Elle exerce une concurrence forte vis-à-vis des adventices. Cette culture ne nécessite donc pas d'herbicides et laisse le sol propre pour la culture suivante.
- **Une plante qui améliore la structure du sol.** Grâce à son système racinaire profond, elle ameublisse le sol. Elle apporte également une quantité importante de matière organique (2 à 3 t/ha).
- **Une plante qui ne nécessite ni fongicides, ni insecticides.** Il n'existe pratiquement aucun parasite, ni aucune maladie nuisible au chanvre.
- **Une plante qui s'adapte bien à des terres de qualité moyenne et à des climats variés grâce à son cycle court.**

1.1.2. Production et transformation du chanvre

Cultivée en France depuis le Moyen-Âge, la production agricole de chanvre a historiquement surtout servi à la fabrication de cordes à partir des fibres issues de la plante.

L'obtention de fibres de chanvre se fait en deux étapes : une étape de production de paille de chanvre nommée itinéraire technique et une étape de transformation de la paille en fibres et en chènevotte appelée transformation primaire.

1.1.2.1. L'itinéraire technique du chanvre

Il aboutit à la production de paille et pour certaines régions à la production de chènevis et de paille.

1.1.2.1.1. Préparation du sol

Cette opération culturale sert à créer un lit de semences émiétté qui conserve une humidité de surface suffisante pour faciliter la germination. Elle s'effectue généralement en deux temps : un labour d'hiver suffisamment précoce pour permettre l'action du gel suivi d'une reprise au début du printemps et de la préparation du lit de semences.

1.1.2.1.2. Fertilisation

Les éléments nécessaires au développement du chanvre sont :

- **L'azote (N)** : suivant le sol, les apports varient entre 80 et 120 kg/ha. Ils doivent être modulés pour éviter les risques de verse. L'azote est souvent apporté sous forme d'ammonitrate lors de la reprise de printemps.
- **Le phosphate (P_2O_5)** : les apports sont compris entre 80 et 120 kg/ha. Ils sont souvent faits lors du labour d'hiver.
- **La potasse (K_2O)** : les doses sont comprises entre 160 et 200 kg/ha. Les apports sont effectués lors du labour d'hiver.

1.1.2.1.3. Semis

Il a lieu en France vers la mi-avril. La profondeur de semis varie entre 2 et 3 cm. Les densités de semis sont comprises entre 40 et 70 kg/ha.

1.1.2.1.4. Récolte

Deux produits peuvent être récoltés : la paille et le chènevis.

▪ **Le chènevis**

La récolte du chènevis s'effectue lors de la maturité des graines. Une moissonneuse batteuse classique dont la hauteur de la barre de coupe a été adaptée au chanvre récolte entre 0,8 et 1,2 t/ha de chènevis. Une fois le chènevis récolté, le chanvre est fauché puis mis en balle.

▪ **La paille**

Les pieds de chanvre sont fauchés à l'aide d'une faucheuse conditionneuse. Ils sont ensuite mis en andains pour sécher et rouir. Néanmoins, pour la majorité des producteurs, l'objectif principal de cette opération culturale, nommée par la suite fanage, est de sécher la paille. Une fois sec, les andains sont mis en balle à l'aide d'un round baller. Le rendement en paille est compris entre 8 et 12 t/ha.

1.1.2.2. La transformation primaire

Après stockage temporaire sur l'exploitation agricole, la paille est transportée vers un site de transformation primaire. Sur ce site, la paille de chanvre est traitée mécaniquement pour séparer la fibre corticale (issue de l'écorce du chanvre) et la chènevotte (issue de la moelle de la tige de chanvre). Le principal déchet issu de cette séparation est de la poussière (également appelée poudre).

La fibre et la chènevotte sont ensuite transportées vers les sites de valorisation liés à notre étude.

1.2. *Caractéristiques de la filière française chanvre*

1.2.1. Les principaux bassins de productions

Avec 9 400 ha de surface en 2003, la production française représente 50% de la production européenne. La majeure partie de cette surface se répartit sur le territoire français de la manière suivante :

- 6200 ha en contrat avec la chanvrière de l'Aube.
- 1500 ha dans la Sarthe en contrat avec l'usine de transformation primaire de Spay appartenant au groupe papetier SCHWEITZER-MAUDUIT.
- 1200 ha en contrat avec Eurochanvre en Bourgogne.

Les producteurs travaillant avec ces trois industriels sont géographiquement situés dans la même région que les sites de transformation primaire.

1.2.2. Le devenir des produits issus de la plante

1.2.2.1. La fibre corticale de chanvre

La fibre a aujourd'hui plusieurs applications :

- **La papeterie**

La fibre est utilisée pour la fabrication de papiers spéciaux. Ce secteur est aujourd'hui le principal débouché de la fibre de chanvre.

- **Nouvelles applications**

La fibre sert de plus en plus à la fabrication de produits tels que des fibres composites, des isolants utilisés pour la construction ou des pièces moulées sous pression utilisables par exemple dans l'industrie automobile. Cette utilisation est en augmentation depuis plusieurs années.

- **Les textiles et les textiles techniques**

La fibre sert également à la fabrication de cordes, de ficelles, de vêtements... Cependant cette utilisation autrefois courante du chanvre est aujourd'hui inexistante en France. Pour ce secteur, un rouissage au champ volontairement approfondi est appliqué au chanvre par les producteurs.

1.2.2.2.La chènevotte

La chènevotte sert principalement dans :

- **La fabrication de litière animale**

La chènevotte est intéressante pour la production de litière animale, car elle possède des qualités d'absorption et de compostage.

- **Les matériaux de construction**

La chènevotte est utilisée comme isolant par déversement, , comme granulat isolant pour béton et pour la fabrication des panneaux agglomérés.

1.2.2.3.Le chènevis

La semence de chanvre sert en premier lieu à l'implantation de nouvelles parcelles de chanvre. Seule la production de variétés dont la teneur en tetrahydrocannabinol (THC), substance psychotrope, est inférieure à 0,2% dans les parties vertes est autorisée par les pouvoirs publics qui contrôlent sévèrement cette filière.

La graine de chanvre, de par sa richesse en huile, est principalement utilisée en oisellerie de loisir (90%), en pêche sportive (10%). Elle participe de façon marginale à la production d'huiles alimentaires et d'huiles cosmétiques.

1.2.2.4.La poussière

Il n'existe pas d'utilisations spécifiques pour la poussière. Les transformateurs s'en débarrassent en essayant de minimiser les coûts. La poussière peut ainsi servir à fournir de l'énergie dans une centrale thermique ou plus rarement être utilisée dans la fabrication d'aliments pour bétails. Cependant, la majeure partie de la poussière produite est actuellement soit stockée en décharge, soit utilisée comme amendement chez les agriculteurs.

OBJECTIF ET CHAMP DE L'ETUDE

2. Définition de l'objectif et du champ de l'étude

2.1. Objectif de l'étude

Actuellement première productrice européenne de chanvre, la filière française cherche à diversifier ses débouchés. Ainsi, en plus de la papeterie spéciale et extra fine, elle vise par exemple les nouveaux marchés de la plasturgie (compounds thermoplastiques chargés fibres de chanvre) et du bâtiment (mur en béton chanvre banché sur ossature en bois). La connaissance des impacts environnementaux potentiels dus à la production de ces deux produits est nécessaire pour au moins deux raisons :

- **Connaître les étapes de la production qui nuisent le plus à l'environnement**

Dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue, cette connaissance permettrait de diminuer encore les impacts potentiels négatifs pour l'environnement de ces productions en focalisant les efforts sur ces étapes.

- **Pouvoir communiquer sur l'intérêt de ces produits pour l'environnement**

La filière chanvre estime que, face à la perspective de substitution des fibres minérales dans les plastiques composites et d'alternatives dans les systèmes de construction conventionnels, il n'existe pas de meilleure promotion que la mise en évidence des gains environnementaux permis par la présence du chanvre dans ces nouveaux produits. Or ces caractéristiques environnementales n'étaient pas à ce jour totalement prouvées.

Afin d'évaluer les impacts potentiels sur l'environnement des compounds thermoplastiques chargés fibres de chanvre et du mur en béton chanvre, la Direction des Politiques Economique et Internationale (DPEI) du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (MAP), en partenariat avec la filière chanvre, a sollicité l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA) pour réaliser l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) de compounds thermoplastiques chargés fibres de chanvre et d'un mur en béton chanvre banché sur ossature en bois conformément à la série des normes ISO 14040..

2.2. Suivi de l'étude

Un comité de pilotage est chargé de l'orientation et du suivi des ACV mur en béton chanvre banché sur ossature en bois et compounds thermoplastiques chargés fibres de chanvre. Il regroupe à la fois :

- **des institutionnels**

Madame **Gislaine LEGENDRE** du MAP/DPEI

Madame **Véronique BORZEIX** du MAP/DPEI

Madame **Annie BONNET** du MAP/DPEI

Monsieur **Jean-Paul VENTERE** du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

Madame **Dominique VEUILLET** de l'ADEME

Madame **Nadia BOEGLIN** de l'ADEME

Monsieur **Hilaire BEWA** de l'ADEME

Monsieur **Philippe LEONARDON** de l'ADEME

- **des industriels**

Monsieur **André RAVACHOL** de Plasticana

Monsieur **Daniel DAVILLER** de LHOIST BCB

Monsieur **Benoît SAVOURAT** de l'Union des Transformateurs de Chanvre (UTC)

Monsieur **Gérard MOUGIN** de AFT Plasturgie

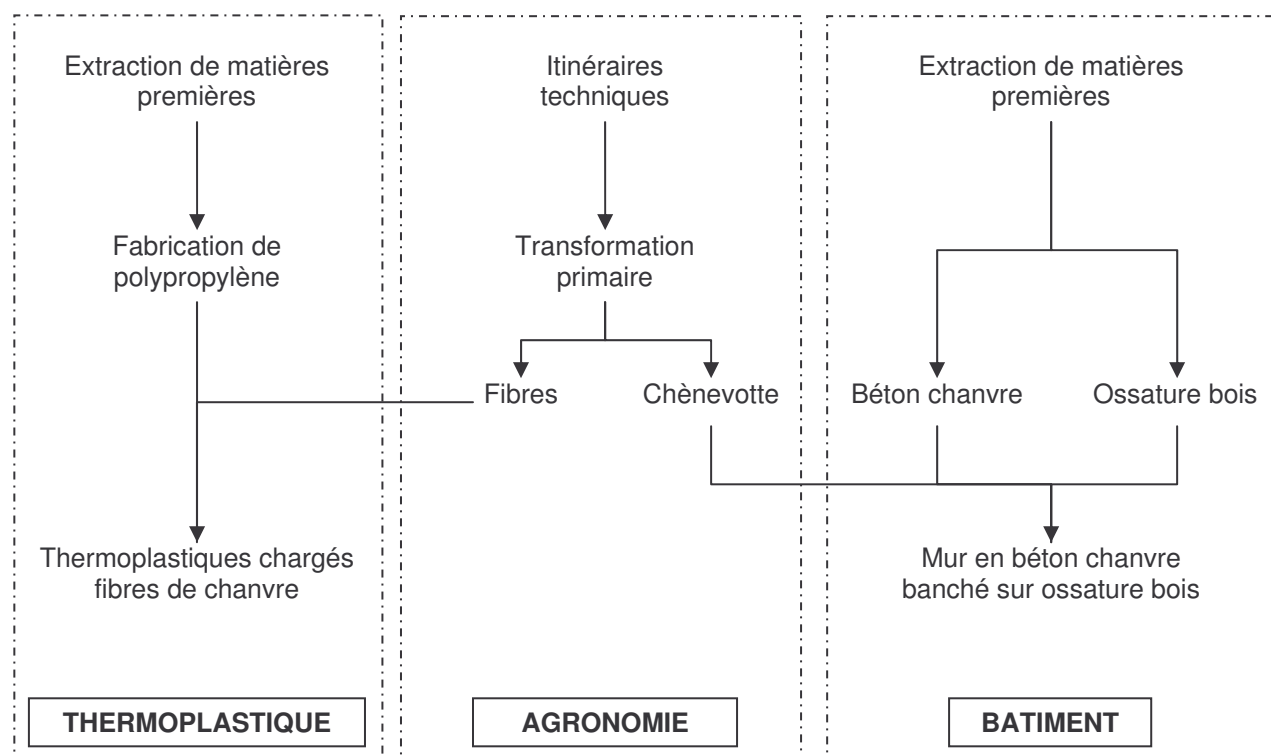
- **des instituts techniques et de recherche**

Monsieur **Bernard LUTEL** de la FNPC
Monsieur **Sylvestre BERTUCELLI** de la FNPC
Monsieur **Bernard BOYEUX** de Construire en Chanvre
Monsieur **Ghislain GOSSE** de l'INRA de Lille
Monsieur **Samuel QUINTON** de l'INRA de Lille
Monsieur **Cyril FLAMIN** de l'INRA de Lille
Mademoiselle **Marie-Pierre BOUTIN** de l'INRA de Lille

2.3. Champ de l'étude

La figure ci-dessous représente les procédés impliqués dans cette étude. Dans la suite du rapport, les parties agronomie, thermoplastique et bâtiment sont présentées successivement. Ces parties précisent les hypothèses faites sur les différents procédés. Elles présentent également les résultats des ACV pour les produits suivants : paille de chanvre, fibre, chènevotte, compound thermoplastique chargé fibres de chanvre et mur en béton chanvre banché sur ossature en bois.

Figure 1 : Processus étudiés dans l'ACV



Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA, AFT Plasturgie, BCB-Lhoist, Construire en Chanvre

2.3.1. Partie agronomie

2.3.1.1. Unité fonctionnelle

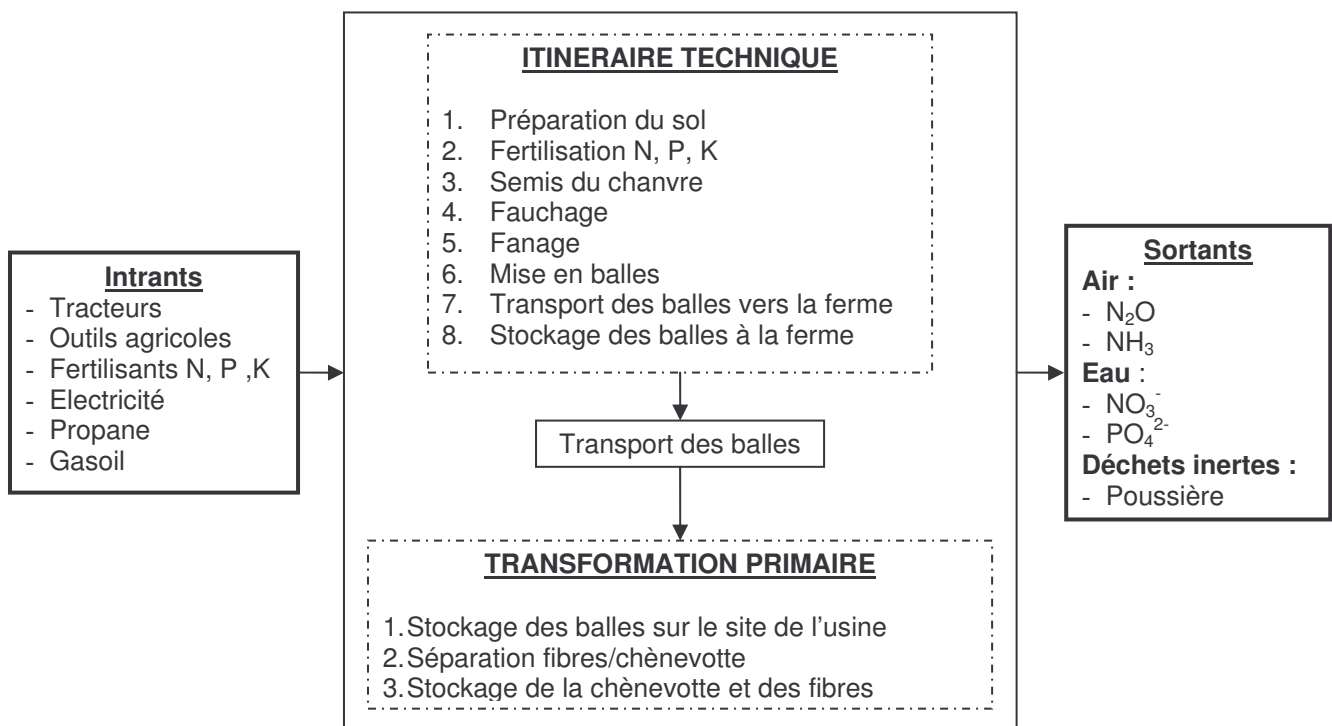
L'unité fonctionnelle considérée est le kilogramme de paille de chanvre, le kilogramme de fibres de chanvre et le kilogramme de chènevotte.

2.3.1.2. Frontières du système

2.3.1.2.1. Arbre du cycle de vie

Le cycle de vie de la fibre de chanvre et de la chènevotte est constitué d'une phase de production agricole nommée itinéraire technique qui produit de la paille de chanvre et d'une phase de transformation primaire qui transforme la paille en fibres et chènevotte. L'ensemble des étapes du cycle de vie a été représenté sur la figure 2.

Figure 2 : Étapes considérées dans l'étude de la production de chènevotte et de fibre



Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

2.3.1.2.2. Hypothèses retenues

▪ Itinéraire technique

- Les impacts environnementaux potentiels liés à la production de semences utilisées au cours de l'itinéraire technique n'ont pas été pris en compte dans l'étude. Des scénarii de production intégrant ce processus ont montré qu'il intervient peu sur les impacts environnementaux potentiels liés à la production de chanvre. En effet, un hectare de semences permettant d'implanter 24 hectares de chanvre, l'impact potentiel de cette production est considérablement dilué.
- La production de chènevis parfois associée à la production de paille n'a pas été étudiée, car elle ne modifie pas l'itinéraire technique permettant de produire de la paille de chanvre. Ainsi, cette production nécessite uniquement en plus un passage de moissonneuse batteuse qui n'est d'aucune utilité pour la récolte de paille.

- Les déchets liés à l'utilisation de fertilisants de synthèse (emballages, eaux de rinçage du matériel agricole...) n'ont pas été comptabilisés, car les données les concernant ne sont pas disponibles.

Transformation primaire

- Les impacts environnementaux potentiels liés à la fabrication des machines de transformation primaire et aux sites de stockage n'ont pas été pris en compte, car les données les concernant ne sont pas disponibles.
- La poussière issue du processus de séparation des fibres et de la chènevotte a été comptabilisée comme un déchet.
- Les impacts environnementaux potentiels liés au conditionnement de la fibre et de la chènevotte n'ont pas été pris en compte, car ils représentent moins de 2% de la masse des intrants. Ainsi, le conditionnement de la fibre nécessite 0,007 kg de fil métallique par kg de fibre produit. Le conditionnement de la chènevotte nécessite quant à lui 0,008 kg de plastique et 0,005 kg de bois par kg de chènevotte.

2.3.1.3. Règles retenues pour l'imputation

L'analyse de cycle de vie présente les impacts environnementaux potentiels dus à la production d'un kilogramme de paille de chanvre.

Les impacts potentiels sont ensuite répartis entre la fibre et la chènevotte soit selon une allocation massique, soit selon une allocation économique. Les coefficients d'allocation massique pour la fibre et la chènevotte sont calculés de la manière suivante :

$$Cm_C = Mc / (Mc + Mf) \text{ et } Cm_F = Mf / (Mc + Mf)$$

Mc : masse de chènevotte produite par tonne de paille de chanvre (kg/t). Mc vaut environ 480 kg/t.

Mf : masse de fibre produite par tonne de paille de chanvre (kg/t). Mf vaut environ 350 kg/t.

Cm_C : coefficient d'allocation massique de la chènevotte. La valeur retenue dans l'étude a été arrondie à 60% par le comité de pilotage.

Cm_F : coefficient d'allocation massique de la fibre. La valeur retenue dans l'étude a été arrondie à 40% par le comité de pilotage.

Les coefficients d'allocation économique pour la fibre et la chènevotte tiennent compte des coûts et des masses des différents produits et sont calculés de la manière suivante :

$$Ce_C = (\alpha \times Mc) / (\alpha \times Mc + \beta \times Mf) \text{ et } Ce_F = (\beta \times Mf) / (\alpha \times Mc + \beta \times Mf)$$

α : part de la valeur d'une tonne de paille liée à la chènevotte. α vaut 25% selon le comité de pilotage.

β : part de la valeur d'une tonne de paille liée à la fibre. β vaut 75% selon le comité de pilotage.

Mc : masse de chènevotte produite par tonne de paille de chanvre (kg/t). Mc vaut environ 480 kg/t.

Mf : masse de fibre produite par tonne de paille de chanvre (kg/t). Mf vaut environ 350 kg/t.

Ce_C : coefficient d'allocation économique de la chènevotte. La valeur retenue dans l'étude a été arrondie à 32%.

Ce_F : coefficient d'allocation économique de la fibre. La valeur retenue dans l'étude a été arrondie à 68%.

Les impacts potentiels sont enfin exprimés par kilogramme de fibre et par kilogramme de chènevotte.

2.3.2. Partie thermoplastique

2.3.2.1. Description du produit : le compound thermoplastique renforcé

Les thermoplastiques sont des matériaux synthétiques dérivés de polymères organiques (ex : le polypropylène, les polyamides 6, 6-6, 12, le polyéther-éther-cétone) qui peuvent être réversiblement ramollis par la chaleur puis durcis par refroidissement. Ces matrices plastiques peuvent être mélangées à des fibres pour produire des matériaux composites (compounds). Chargés en fibres, ces matériaux deviennent plus résistants et sont appelés thermoplastiques renforcés. Ils sont utilisés pour la fabrication de pièces par moulage et par compression, notamment dans l'industrie automobile.

Aujourd'hui, la majorité des thermoplastiques sont renforcés par de la fibre de verre. Ils peuvent cependant être chargés en fibres de chanvre et conserver des propriétés mécaniques équivalentes (Mougin, 2005). Les thermoplastiques obtenus étant économiquement intéressants et moins denses que ceux contenant de la fibre de verre, ils permettent de réduire le poids des véhicules et donc leur consommation en carburant. Par ailleurs, les thermoplastiques chargés en fibres de chanvre sont recyclables contrairement à ceux chargés en fibres de verre.

Séduites par ces caractéristiques, des entreprises comme Audi, BMW, Ford, Seat et VW ont décidé de fabriquer plusieurs pièces de leurs modèles (garnitures de portes, garnitures latérales, plaques et protection latérales, coffres) à partir de thermoplastiques chargés en fibres de chanvre.

Le compound étudié est un mélange de polypropylène et de fibres de chanvre. Le rapport massique entre ces deux composés est de 70% pour le polypropylène et 30% pour la fibre de chanvre.

2.3.2.2. Unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle considérée est le kilogramme de compound thermoplastique chargé fibres de chanvre.

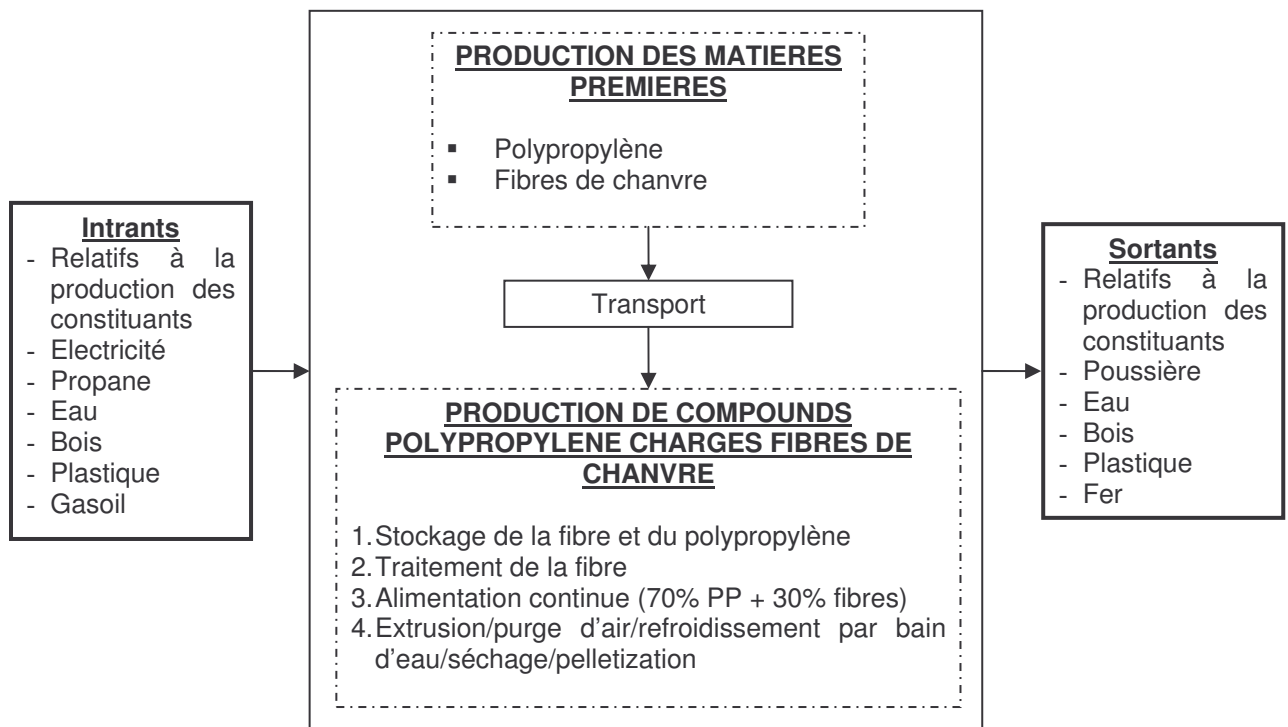
2.3.2.3. Frontières du système

2.3.2.3.1. *Arbre du cycle de vie*

L'arbre de cycle de vie d'un compound thermoplastique chargé en fibre de chanvre est composé d'une phase de production des matières premières et d'une phase de compoundage.

L'ensemble des étapes du cycle de vie est représenté sur la figure suivante :

Figure 3 : Arbre de cycle de vie d'un compound thermoplastique chargé fibres de chanvre



Source : AFT Plasturgie

2.3.2.3.2. Hypothèses retenues

- Les impacts environnementaux potentiels liés au stockage des matières premières, à la fabrication des machines et à l'émission de poussières lors du procédé ne sont pas pris en compte, car les données les concernant ne sont pas disponibles.
- Conformément à la norme NF P01-010, les impacts environnementaux potentiels liés à la production et au transport des emballages des matières premières n'ont pas été pris en compte, car ils représentent moins de 2% de la masse totale des intrants (respectivement 0,01% pour le bois, $1,25 \times 10^{-4}\%$ pour le polyéthylène, $6,3 \times 10^{-5}\%$ pour le polypropylène et $1,88 \times 10^{-5}\%$ pour le fer). Par contre, les impacts environnementaux potentiels liés au transport des emballages des matières premières en centre de tri ont été étudiés.

2.3.3. Partie bâtiment

2.3.3.1. Description du produit : le mur béton chanvre banché sur ossature bois

L'objet de l'étude est le mur en béton chanvre banché sur ossature bois. En effet, mélangée à un liant à base de chaux aériennes et de liant hydraulique prêt à l'emploi commercialisé sous le nom de Tradical 70®, la chènevotte permet de confectionner des bétons qui, n'étant pas porteurs, sont ensuite projetés mécaniquement sur une ossature de bois nécessaire à maintenir la structure de l'édifice. Cette projection de béton se fait sur un grand panneau de coffrage placé derrière l'ossature bois, jusqu'à atteindre une épaisseur suffisante à recouvrir la structure.

Le mur en béton chanvre sur ossature bois résultant présente des caractéristiques techniques spécifiques et performantes telles qu'un pouvoir isolant élevé, une bonne correction acoustique et une perméabilité à la vapeur d'eau.

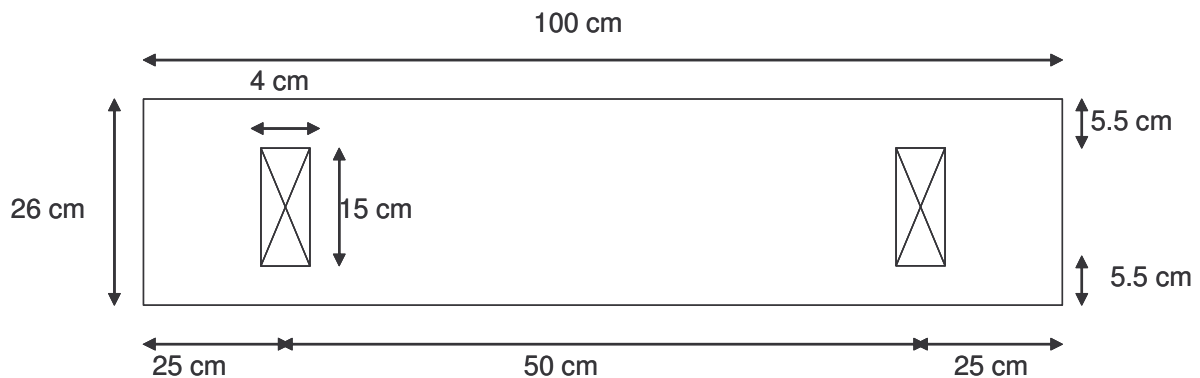
L'étude qui suit vise à étudier l'impact potentiel sur l'environnement de ce mur.

2.3.3.2. Unité fonctionnelle, durée de vie et flux de référence

L'unité fonctionnelle (UF) du système étudié est d'assurer la fonction de mur porteur sur 1 m² de paroi avec une résistance thermique de 2,36 m².K/W pendant une annuité.

Une coupe transversale de l'UF (1 m² de mur en béton chanvre banché sur deux poutres porteuses en bois) est représentée en vue de dessus sur la figure suivante.

Figure 4 : Coupe transversale de l'unité fonctionnelle



Source : BCB-Lhoist, Construire en Chanvre

La durée de vie typique (DVT) est de 100 ans. Le béton chanvre est un matériau de construction récent, ainsi les bâtiments en béton chanvre les plus anciens ont une vingtaine d'années maximum. Au dire d'experts, sa durée de vie peut néanmoins être comparée à celle de matériaux type béton cellulaire ou brique en terre cuite. La DVT retenue pour le béton chanvre est donc la même que celle affichée dans les fiches de déclarations environnementales et sanitaires de ces matériaux à savoir 100 ans.

Le flux de référence représente la masse nécessaire de matériaux pour assurer la fonction définie dans l'unité fonctionnelle. Il est calculé à partir des quantités de matériaux nécessaires pour construire 1 m² de mur tel que défini dans l'UF, divisées par la DVT.

Tableau 1 : Flux de référence

Constituant	Quantité nécessaire (kg/m ² de mur)	DVT (an)	Flux de référence (kg/UF)
Tradical 70®	54,5	100	0,545
Chènevotte	24,8	100	0,248
Eau	37,2	100	0,372
Bois	5,5	100	0,055

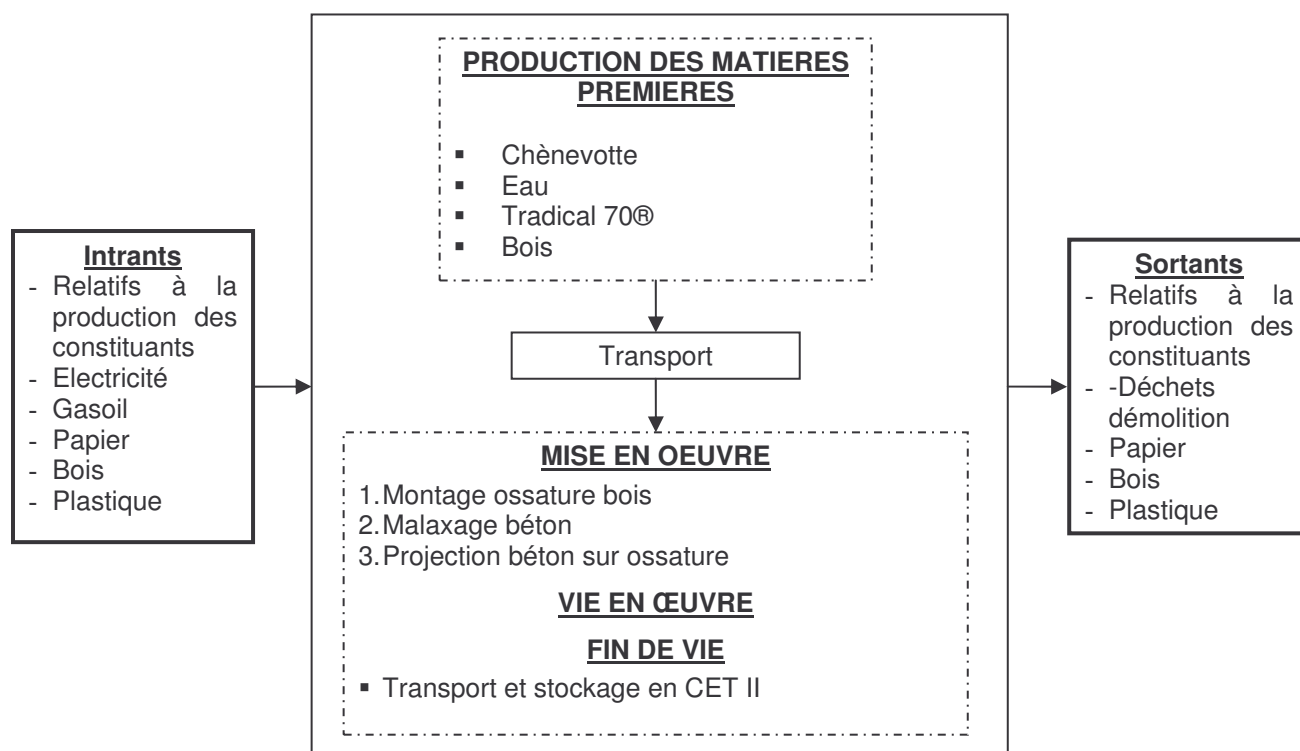
Source : BCB-Lhoist, Construire en Chanvre

2.3.3.3. Frontières du système

2.3.3.3.1. Arbre de cycle de vie

L'arbre du cycle de vie du mur en béton chanvre est constitué de 5 phases majeures : la production des matières premières, la mise en œuvre du mur sur chantier, la vie en œuvre, la fin de vie du mur avec, par défaut, stockage en centre d'enfouissement technique des déchets de construction, et la phase de transport, fragmentée sur l'ensemble du cycle de vie. L'arbre de cycle de vie simplifié représentant les étapes considérées dans l'étude du mur en béton chanvre banché sur ossature bois est représenté sur la figure ci-dessous.

Figure 5 : Arbre de cycle de vie simplifié du mur en béton chanvre banché sur ossature bois



Source : BCB-Lhoist, Construire en Chanvre

2.3.3.3.2. Hypothèses retenues

- La DVT retenue pour le béton chanvre est la même que celle affichée dans les fiches de déclarations environnementales et sanitaires des matériaux type béton cellulaire ou brique en terre cuite à savoir 100 ans.
- Certains intrants sont négligés sachant qu'ils rentrent dans les conditions de la règle de coupure énoncée dans la norme NF P01-010 (quantités inférieures à 2% de la totalité des intrants et inventaire de cycle de vie (ICV) non disponible). Il s'agit de :
 - L'adjuvant entrant dans la composition du Tradical 70® (0,16% des intrants totaux).
 - Les banches ainsi que les vis et le film polyane nécessaire à la mise en œuvre du mur (0,37% de la totalité des intrants).
 - La masse des emballages et des palettes utilisées étant faible (0,72%), leur production et transport vers le site d'utilisation sont négligés. Par contre leur transport vers le centre de tri pour traitement est pris en compte.
- Les consommations électriques nécessaires au montage de l'ossature bois sont négligées, car non disponibles et estimées très faibles (visseuses et perceuses à main).
- Les étapes de rupture de charge et manutention ne sont pas prises en compte car les données ne sont pas disponibles.
- Les impacts environnementaux potentiels liés à la fabrication des machines ne sont pas pris en compte car considérés comme négligeables étant donnée la durée de vie.
- En l'absence de filière de valorisation bien définie, la fin de vie par défaut pour l'ossature bois comme pour le béton chanvre est un stockage en centre d'enfouissement technique de classe II (CET II) pour déchets non dangereux (en effet, la matrice contenant 31,2% d'éléments organiques (chènevotte) ; le béton chanvre ne peut pas être stocké en CET III réservé aux déchets de nature minérale). De même, la réutilisation ou le recyclage des matériaux n'a pas été pris en compte.

ANALYSE DE L'INVENTAIRE

3. Analyse de l'inventaire

L'analyse de l'inventaire a pour objectif de calculer les quantités de substances (CO₂, NH₃...) émises et consommées au cours de l'ensemble du procédé.

3.1. Constitution de l'analyse de l'inventaire

3.1.1. Méthodologie employée

Constituer l'analyse de l'inventaire nécessite d'une part de définir un scénario de référence pour le procédé étudié et d'autre part d'en recueillir les données concernant la nature et les quantités des intrants et des sortants mis en jeu au cours des différentes étapes. En effet, pour la production d'un même bien, il peut exister des procédés similaires mais dont la nature ou les quantités d'intrants ou de sortants mis en jeu sont sensiblement différentes. C'est en particulier le cas pour les productions agricoles qui dépendent notamment du sol, facteur variable d'un endroit à un autre. Ainsi, suivant les types de sols, la qualité et les quantités de fertilisants azotés utilisés pour une culture avec un objectif de rendement donné peuvent varier.

Dans cette étude, la construction d'un scénario de référence et le recueil des données ont été réalisés pour chaque partie en réunissant un groupe de travail composé d'experts du domaine.

3.1.2. Passage du scénario de référence à l'analyse de l'inventaire

A partir du scénario de référence construit et de références bibliographiques, le calcul des quantités de substances émises et consommées au cours du procédé est effectué.

3.1.2.1. Partie agronomie

Le calcul des quantités de substances émises ou consommées lors de la fabrication de fibre et de chènevotte se fait en trois étapes :

- **Au niveau de l'itinéraire technique**

Pour chaque étape de l'itinéraire technique, les quantités de substances émises ou consommées sont calculées grâce, d'une part au scénario de référence établi au préalable et d'autre part aux données fournies par l'étude Biofit (Calzoni *et al*, 2000). A ce niveau du calcul, les résultats sont exprimés en g/ha. Ils sont ensuite ramenés au kilogramme de paille de chanvre produit, en divisant les résultats par le rendement moyen considéré dans le scénario de référence. Les résultats de chacune des étapes sont ensuite additionnés selon le type de substance.

Tableau 2 : Exemple : Cas du CO₂ émis lors du fauchage de la paille de chanvre

	LCDA	PDM Industrie	Eurochanvre
Temps de travail (h/ha)	0,7	1	6
Surface (%)	67,3	20,4	12,3

Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

Le temps de travail moyen est donc égal à $0,7 \times 0,63 + 1 \times 0,204 + 6 \times 0,123 = 1,4$ h/ha

La quantité de CO₂ émise est calculée de la manière suivante :

$$Q_{CO_2} = (T_t \times T_c) / R_{dt}$$

T_t : temps de travail (h/ha). Pour le fauchage, T_t est égal à 1,4 h/ha.

T_c : quantité de CO₂ émise par heure de travail (g/h). Pour le fauchage, une heure de travail correspond à une heure de tracteur de 80 CV. Une heure de tracteur 80 CV émet 21 209 g de CO₂ (Calzoni *et al*, 2000).

R_{dt} : quantité de paille de chanvre produite par hectare (t/ha). Il vaut 7 750 kg/ha.

Q_{CO₂} : quantité de CO₂ émise par kilogramme de paille de chanvre produite (g/kg).

Q_{CO₂} vaut 3,831 g/kg pour le fauchage.

▪ Au niveau de la transformation primaire

Aux quantités de substances calculées pour la production agricole sont ajoutées celles impliquées dans la transformation primaire par l'utilisation du gasoil, du propane et de l'électricité. Les données sur ces trois ressources énergétiques proviennent d'une étude suisse (Frischknecht *et al*, 1996). Les résultats sont alors exprimés pour un kilogramme de paille de chanvre produit et transformé en fibres et en chènevotte.

▪ Pour un kilogramme de fibres et un kilogramme de chènevotte

Les résultats de l'analyse de l'inventaire de l'itinéraire technique et de la transformation primaire sont ensuite ramenés au kilogramme de fibres et au kilogramme de chènevotte suivant le type d'allocation retenue.

Pour l'allocation massique, les quantités de substances mises en jeu sont calculées de la façon suivante :

$$Q_{S_C} = (C_{m_C} \times Q_{S_P}) / M_c \text{ et } Q_{S_F} = (C_{m_F} \times Q_{S_P}) / M_f$$

Q_{S_C} : quantité de substance considérée par kilogramme de chènevotte produite (g/kg)

Q_{S_F} : quantité de substance considérée par kilogramme de fibres produite (g/kg)

Q_{S_P} : quantité de substance considérée par kilogramme de paille transformée (g/kg)

C_{m_C} : coefficient d'allocation massique de la chènevotte. La valeur retenue dans l'étude a été arrondie à 60% par le comité de pilotage.

C_{m_F} : coefficient d'allocation massique de la fibre. La valeur retenue dans l'étude a été arrondie à 40% par le comité de pilotage.

M_c : masse de chènevotte produite par tonne de paille de chanvre (kg/t). M_c vaut environ 480 kg/t.

M_f : masse de fibre produite par tonne de paille de chanvre (kg/t). M_f vaut environ 350 kg/t.

Pour l'allocation économique, les quantités de substances émises sont calculées de la façon suivante :

$$Q_{S_C} = (C_{e_C} \times Q_{S_P}) / M_c \text{ et } Q_{S_F} = (C_{e_F} \times Q_{S_P}) / M_f$$

Q_{S_C} : quantité de matière considérée par kilogramme de chènevotte produite (g/kg)

Q_{S_F} : quantité de matière considérée par kilogramme de fibres produite (g/kg)

Q_{S_P} : quantité de matière considérée par kilogramme de paille transformée (g/kg)

C_{e_C} : coefficient d'allocation économique de la chènevotte. La valeur retenue dans l'étude a été arrondie à 32%.

C_{e_F} : coefficient d'allocation économique de la fibre. La valeur retenue dans l'étude a été arrondie à 68%.

Mc : masse de chènevotte produite par tonne de paille de chanvre (kg/t). Mc vaut environ 480 kg/t.

Mf : masse de fibre produite par tonne de paille de chanvre (kg/t). Mf vaut environ 350 kg/t.

3.1.2.2.Partie thermoplastique

Les quantités de substances émises au cours de la fabrication d'un kilogramme de compound thermoplastique chargé fibres de chanvre sont évaluées en ajoutant aux substances émises au cours de la production de fibres de chanvre, celles émises au cours de la fabrication du polypropylène et celles impliquées dans la production du compound par l'utilisation du gasoil, du propane et de l'électricité. Les données concernant le polypropylène et les trois ressources énergétiques utilisées proviennent de deux études suisses (Frischknecht *et al*, 1996 ; Hischier, 2002).

3.1.2.3.Partie bâtiment

Comme pour la partie thermoplastique, les quantités de substances émises au cours du cycle de vie d'un mètre carré de mur en béton chanvre banché sur ossature bois sont calculées à partir des analyses de l'inventaire de la production de chènevotte, des principaux constituants du béton et du bois auxquels s'ajoutent les substances émises lors des phases de transport, de mise en œuvre, de vie en œuvre et de la fin de vie du mur. Les données concernant les constituants et les ressources énergétiques utilisées proviennent de deux études suisses (Frischknecht *et al*, 1996 ; Kellenberger *et al*, 2002).

3.1.2.4.Logiciels informatiques employés

Deux logiciels ont été utilisés pour réaliser cette ACV :

- **Le logiciel Biofit**

Fonctionnant sous Excel®, ce logiciel contient les données fournies par l'étude Biofit (Calzoni *et al*, 2000). Il a donc permis de réaliser l'analyse de l'inventaire de l'itinéraire technique.

- **Le logiciel Simapro®**

Simapro® intègre des bases de données, dont Ecoinvent®, qui contiennent des informations sur des matériaux et des procédés très divers. Il contient en particulier les résultats des études suisses sur les ressources énergétiques, les matériaux de construction et le polypropylène (Frischknecht *et al*, 1996 ; Kellenberger *et al*, 2002 ; Hischier, 2002).

Une fois les résultats fournis par le logiciel Biofit® intégrés au logiciel Simapro®, les analyses de l'inventaire du mur en béton chanvre sur ossature bois et du compound thermoplastique chargé fibres de chanvre ont été effectuées avec ce dernier.

3.1.3. Résultats obtenus

Près de 530 substances sont répertoriées dans les analyses d'inventaires des produits étudiés dans cette ACV. Compte tenu de ce nombre important de substances comptabilisées, les résultats des analyses de l'inventaire ne figurent pas dans ce rapport. Dans l'analyse de l'inventaire, les résultats présentés concernent donc uniquement la construction des scénarios de référence utilisés pour chaque partie du projet.

3.2. Partie agronomie

3.2.1. Constitution d'un groupe de travail

Afin de réunir les données nécessaires à l'ACV et de discuter des hypothèses à retenir, un groupe de travail a été créé. Il est constitué :

- **de membres du comité de pilotage**

Madame **Gislaine LEGENDRE** du MAP/DPEI
Monsieur **André RAVACHOL** de Plasticana
Monsieur **Samuel QUINTON** de l'INRA de Lille

- **d'experts de l'agronomie du chanvre**

Monsieur **Olivier BEHEREC** de la FNPC
Monsieur **Daniel MAILLARD** de la Chanvrière de l'Aube (LCDA)
Monsieur **Jean-Luc DELANOE** de PDM Industrie
Monsieur **Yves GROSJEAN** de Eurochanvre

- **d'experts en ACV sur les produits agricoles**

Monsieur **Hayo VAN DER WERF** de l'INRA de Rennes
Madame **Nathalie GAGNAIRE** de l'INRA de Grignon

3.2.2. Construction d'un scénario de référence

Un questionnaire a été remis aux experts de la FNPC, de la LCDA, de PDM industrie et d'Eurochanvre (voir en annexes p.63). A partir des données fournies par ces questionnaires, un scénario de référence a été élaboré.

3.2.2.1. L'itinéraire technique

3.2.2.1.1. Généralités

Un itinéraire technique moyen a été élaboré à partir des quatre itinéraires techniques recueillis auprès du groupe de travail. Les itinéraires techniques de la FNPC et de PDM industrie ont été regroupés, car ils correspondent aux pratiques de l'Ouest de la France.

Les données moyennes sur le temps de travail, le volume de stockage nécessaire et le rendement, ont été pondérées selon la surface exploitée par les producteurs. Un exemple de calcul est présenté ci-dessous.

Tableau 3 : Exemple de calcul, cas du temps moyen de préparation du sol

	LCDA	PDM industrie	Eurochanvre
Travail du sol (h/ha)	0,96	2,5	4
Surface (ha)	4 750	1 438	867
Surface (%)	67,3	20,4	12,3

Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

Temps de travail du sol moyen (h/ha)= $0,673 \times 0,96 + 0,204 \times 2,5 + 0,123 \times 4 = 1,65$ h/ha

L'ensemble des données moyennes a été regroupé dans le tableau 4.

Tableau 4 : Itinéraire technique moyen retenu dans le scénario de référence

Opération culturale		Stockage		Rendement	
Travail du sol (h/ha)	1,65	Stockage (m ³ /ha)	49,14	Rendement paille (t/ha)	7,75
Fertilisation (h/ha)	0,21				
Semis (h/ha)	0,66				
Récolte (h/ha)	3,89				
Transport vers la ferme (h/ha)	1,45				

Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

3.2.2.1.2. La fertilisation

▪ Dose d'intrants

Pour l'azote, le calcul de la dose est fonction des besoins physiologiques de la plante. Ces besoins sont compris entre 13 et 15 kg/ha pour une tonne de matière sèche produite (source : FNPC). Pour le rendement moyen considéré, les besoins physiologiques sont donc compris entre 100 et 116 kg/ha. La valeur de 105 kg/ha a été admise comme proche de la réalité par le comité de pilotage. A cette valeur physiologique, il faut soustraire la quantité d'azote restituée à la culture suivante par les résidus de culture. En effet, environ deux tonnes de feuilles sont restituées aux sols. En moyenne, les feuilles contiennent 3% d'azote, 0,3% de phosphore et 3% de potassium (source : FNPC). L'azote étant lessivable, la partie lessivée doit être déduite du bilan. Selon une étude réalisée par Ecobilan en 2002, 60% de cet azote est valorisable pour la culture suivante. La dose d'azote considérée dans cette ACV est donc égale à $105 - (0,03 \times 0,6 \times 2000) = 69$ kg/ha.

Cette dose correspond bien aux pratiques décrites par les industriels. Ainsi, les agriculteurs travaillant pour Eurochanvre et pour PDM industrie apportent respectivement 80 et 60 kg/ha d'azote. Ceux travaillant pour LCDA fertilisent plus leur culture, car ils récoltent également le chènevis : leur apport d'azote est de 120 kg/ha. Si on déduit de cet apport le chènevis récolté (rendement : 1t/ha ; contenu en azote=3,5%) la dose d'azote utilisée pour produire de la paille est égale à $120 - 1000 \times 0,035 = 85$ kg/ha, soit une valeur proche de celle considérée dans l'ACV.

Une évaluation de la sensibilité de l'ACV à la dose en azote sera réalisée par la suite en considérant une dose 20% supérieure et une dose 20% inférieure à celle retenue, soit respectivement 82,8 kg/ha et 55,2 kg/ha et en considérant que le rendement reste inchangé.

Pour les autres fertilisants, les apports considérés ont été calculés à partir des données collectées auprès des transformateurs comme pour le temps de travail, le volume de stockage et le rendement tout en tenant compte des restitutions d'éléments minéraux dues aux résidus de culture. Le potassium et le phosphore n'étant pas lessivables, l'ensemble des restitutions apportées par les résidus de culture a été pris en compte. Les doses de fertilisants considérées dans l'ACV ont été regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Quantités d'intrants apportées lors de l'itinéraire technique

Intrants	Apports	Apports-Restitutions	Doses considérées dans l'ACV
Azote (kg/ha)	105	36	69
Phosphore (kg/ha)	55	6	49
Potassium (kg/ha)	81	60	21

Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

- **Émissions vers l'eau et l'air**

- Les émissions de nitrates et de phosphates vers l'eau liées à la fertilisation ont été quantifiées de la manière suivante :
 - $\text{NO}_3^- = 30 \text{ kg/ha}$ (Source: FNPC). La quantité de nitrate lessivée retenue dans l'étude est une constante, indépendante de la dose d'azote apportée au sol. En effet, il existe aujourd'hui trop peu d'informations disponibles sur le chanvre permettant de modéliser plus précisément le lessivage des nitrates pour cette culture en fonction de la dose d'azote et des conditions pédo-climatiques.
 - $\text{PO}_4^{2-} = 1,34\% \times (\text{dose de phosphore apportée})$ (Calzoni *et al*, 2000), soit 0,745 kg/ha.
- Les émissions vers l'air de protoxyde d'azote et d'ammoniaque liées à la fertilisation ont été quantifiées de la manière suivante :
 - $\text{N}_2\text{O} = 1,25\% \times (\text{dose d'azote apportée})$ (Brentrup *et al*, 2001) soit 0,863 kg/ha.
 - $\text{NH}_3 = a \times (\text{dose d'azote apportée à la culture})$ (Brentrup *et al*, 2001) soit 4,16 kg/ha. La quantité d'ammoniaque émise dans l'air varie donc selon la dose d'azote et un coefficient a qui représente la nature des produits apportés au sol. Ainsi, une solution d'urée émet plus d'ammoniaque vers l'atmosphère que l'ammonitrate. Les valeurs du coefficient a ont été explicitées dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Valeur du coefficient a suivant le type de fertilisant utilisé

Types de fertilisants azotés	Valeur de a
Solution urée+nitrate d'ammonium	8%
Ammoniaque	2%

Source : Brentrup *et al*, 2001

3.2.2.1.3. La prise en compte du carbone

- **Stockage du carbone dans le sol**

Selon une étude en cours de finalisation réalisée par l'INRA et Arvalis et citée dans l'ACV Biocarburant effectuée par Ecobilan (ADEME, DIREM, 2002), le sol pourrait stocker entre 100 et 300 kg/ha/an de carbone suivant les techniques de simplification du travail du sol et leur durée de mise en œuvre. Compte tenu des incertitudes sur l'évolution des pratiques culturales, le stockage du carbone dans le sol n'a pas été pris en compte dans le scénario de référence.

- **Stockage du carbone dans le produit**

Les produits agricoles sont formés à partir du CO_2 atmosphérique grâce à la photosynthèse. Lors de la dégradation de ces produits, le CO_2 est restitué à l'atmosphère. Dans le cadre de la partie agronomie, le prélèvement atmosphérique de CO_2 a donc été comptabilisé.

La quantité de CO₂ nécessaire pour constituer de la matière sèche de chanvre se calcule de la manière suivante :

$$Q_{CO_2} = (Q_{MS} \times P_{CMS}) \times (MM_{CO_2} / MM_C)$$

Q_{CO₂} : masse de CO₂ nécessaire pour constituer une masse **Q_{MS}** de matière sèche.

Q_{MS} : masse de matière sèche considérée (g).

P_{CMS} : Proportion de carbone dans la matière sèche de chanvre. Selon l'ADEME (1998), la matière sèche de chanvre est composée de carbone à 45,9%.

MM_{CO₂} : masse molaire du CO₂. Elle vaut 44 g.mol⁻¹.

MM_C : masse molaire du carbone. Elle vaut 12 g.mol⁻¹.

Selon la formule précédente, il faut donc environ 1,7 g de CO₂ pour constituer 1 g de matière sèche. Cette quantité de CO₂ prélevée par la plante doit donc être retirée du bilan carbone de la filière chanvre.

3.2.2.2. La transformation primaire

Pour la transformation primaire, comme pour beaucoup d'étapes de l'itinéraire technique, une valeur moyenne pondérée a été calculée à partir des données collectées auprès de la LCDA, PDM industrie et Eurochanvre. Pour cette partie, la pondération s'est faite non pas sur la surface exploitée, mais sur la quantité de paille de chanvre transformée dans l'année.

Les quantités de paille transformées ont été regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Quantités de paille de chanvre transformées en un an par les industriels

	LCDA	PDM industrie	Eurochanvre
Paille de chanvre (t)	38 000	11 500	5 200
Paille de chanvre (%)	69,5	21	9,5

Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

▪ La séparation fibre/chènevotte

La séparation fibre/chènevotte se fait dans des installations électriques. Du gasoil et du propane sont également utilisés pour transporter la paille de chanvre, la fibre de chanvre et la chènevotte sur le site de transformation primaire.

▪ Le transport de la paille de chanvre et de la poussière

Selon la norme NF P01-010, l'impact potentiel environnemental du transport s'évalue par la quantité de gasoil consommée au cours du trajet. Cette quantité est calculée selon la formule suivante :

$$Q_D = M_D \times [0,38 \times km \times (1/3 \times Cr/24 + 2/3 + 0,3 \times 2/3) \times (Q/Cr)]$$

Q_D : quantité de gasoil consommé (kg)

km : distance de transport du produit (km)

Cr : charge réelle dans le camion (t)

Q : quantité de produit transporté (t)

M_D : masse volumique du gasoil (kg/L). En conditions normales, elle vaut 0,846 kg/L.

Les distances de transport de ces produits ont été calculées à l'aide des données fournies par les industriels en les pondérant selon le tonnage annuel transformé. Pour la poussière, le seul transport étudié s'effectue entre l'usine de transformation primaire et le lieu d'épandage de la poussière. Les autres destinations de la poussière n'ont pas été retenues, car, dans cette étude, la poussière est considérée comme un déchet.

Les distances et charges réelles transportées par camion retenues sont donc pour :

- **La paille de chanvre de** 100 km et de 17t par camion de 24t.
- **La poussière de** 11,7 km et de 17t par camion de 24t.

L'ensemble des intrants et sortants mis en jeu au cours de la transformation primaire a été regroupé dans le tableau 8 :

Tableau 8 : Quantités d'intrants et de sortants pour transformer 1 kg de paille de chanvre

Intrants		Sortants	
Gasoil transformation primaire (g/kg)	0,76	Poussière (kg/kg)	0,19
Gasoil transport (g/kg)	3,32	Fibre (kg/kg)	0,35
Électricité (kJ/kg)	28,44	Chènevotte (kg/kg)	0,48
Propane/butane (g/kg)	0,30		

Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

3.3. Partie thermoplastique

Les données utilisées dans l'ACV proviennent de l'usine d'AFT Plasturgie installée à Fontaine-les-Dijon.

3.3.1. Constitution d'un groupe de travail

Comme pour la partie agronomie, les informations nécessaires à la réalisation de l'ACV, en particulier pour les phases de transport et de compoundage, ont été collectées en constituant un groupe de travail. Sa composition est la suivante :

Monsieur **Gérard MOUGIN** de AFT Plasturgie
Monsieur **Cyril FLAMIN** de l'INRA de Lille

3.3.2. Construction d'un scénario de référence

3.3.2.1. Produits nécessaires à la production du compound

Un kilogramme de compound est constitué de 300 g de fibres de chanvre et 700 g de polypropylène. Sa production génère directement 9 g de déchet.

Les données concernant la production de fibres de chanvre proviennent de la partie agronomie. Les principaux résultats obtenus pour la fibre sont utilisés en tenant compte de l'allocation massique et de l'allocation économique. Concernant la production de polypropylène, les données sont issues d'une étude suisse (Hischier, 2002).

3.3.2.2. Les phases de transport

Comme pour la partie agronomie, l'impact potentiel environnemental du transport de la fibre de chanvre, du polypropylène et des déchets a été évalué par la quantité de gasoil consommée au cours du trajet, quantité calculée à partir de la formule fournie par la norme NF P01-010.

Pour l'approvisionnement en polypropylène, provenant à 50% de l'usine DOW située à 200 km du site d'AFT Plasturgie et à 50% de l'usine BASELL située à 500 km, la distance considérée dans l'étude est égale à la distance moyenne entre le site d'AFT Plasturgie et les deux sites de production de polypropylène, soit 350 km. La charge réelle des camions est de 24 tonnes.

Pour l'approvisionnement en fibre de chanvre, provenant pour un tiers de la Chanvrière de l'Aube, situé à 140 km de AFT Plasturgie et pour deux tiers de Eurochanvre, situé à 50 km, la distance considérée est égale à la distance moyenne entre le site d'AFT Plasturgie et les deux sites de production de fibre pondérée par les quantités utilisées, soit 80 km. La charge réelle des camions est de 24 tonnes.

La valorisation des déchets se fait dans un centre de tri situé à 10 km du site d'AFT Plasturgie. La charge réelle des camions est de 24 tonnes.

Les quantités de carburant utilisées pour le transport des produits sont rassemblées dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Quantités de gasoil utilisées pour transporter les produits nécessaires à la fabrication d'1 kg de compound.

Transport	Quantité transportée (kg/kg)	Quantité de gasoil utilisée (g/kg)
Fibre de chanvre	0,3	0,38
Polypropylène	0,7	3,85
Déchets	9.10^{-3}	0,001

SOURCE : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

3.3.2.3. Le mélange polypropylène-fibres de chanvre

Le mélange entre le polypropylène et la fibre de chanvre utilise d'une part du propane pour la manutention des différents produits mis en œuvre et utilise d'autre part de l'électricité pour les étapes de traitement de la fibre et d'extrusion et pelletisation du compound.

Les quantités d'intrants mis en œuvre au cours de cette étape ont été regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 10 : Quantités d'intrants nécessaires à la fabrication d'1 kg de compound.

Etapes du process	Type d'intrants	Quantité utilisée (/kg)
Manutention	Propane (kg)	1.10^{-4}
Traitement de la fibre	Electricité (MJ)	$2,1.10^{-3}$
Alimentation de la ligne d'extrusion/pelletization	Electricité (MJ)	$5,4.10^{-1}$
Extrusion/pelletization	Electricité (MJ)	2,8

Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

3.4. Partie bâtiment

3.4.1. Constitution d'un groupe de travail

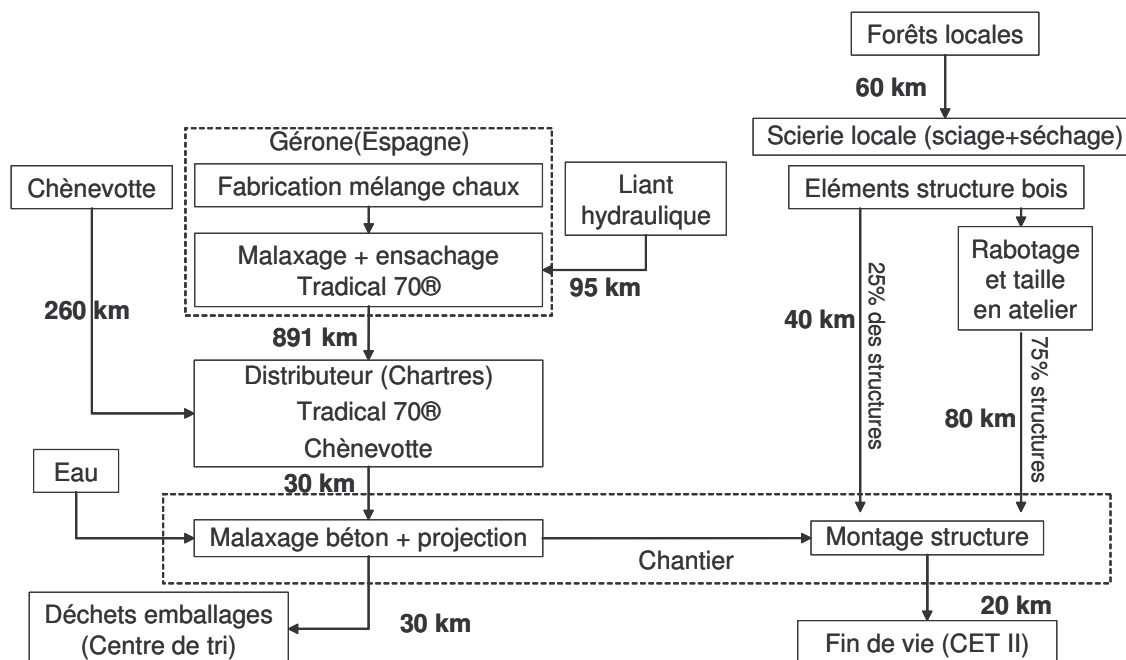
Afin de réunir les données nécessaires à l'ACV et de discuter des hypothèses à retenir, un groupe de travail a été créé. Il est constitué de membres du comité de pilotage de l'étude ACV chanvre et d'experts de la construction en chanvre :

Monsieur **Bernard BOYEUX** de Construire en Chanvre
Monsieur **Daniel DAVILLER** de BCB-Lhoist
Mademoiselle **Marie-Pierre BOUTIN** de l'INRA de Lille

3.4.2. Construction d'un scénario de référence

A partir de données recueillies auprès des experts du groupe travail, d'experts extérieurs au groupe et dans la bibliographie, un scénario de référence sur l'organisation de la filière a pu être établi (figure 6).

Figure 6 : Scénario de référence



Source : BCB-Lhoist, Construire en chanvre

3.4.2.1. Le transport

La phase de transport intervient à tous les niveaux de la filière. A chaque fois, l'impact potentiel environnemental du transport est calculé par la quantité de gasoil consommée au cours du trajet (calculée selon la norme NF P01-010).

3.4.2.2. La production des matières premières et leur transport vers le chantier

Le Tradical 70® est fabriqué à Gérone en Espagne. Il est constitué d'un mélange de chaux aériennes produites sur place et de liant hydraulique fabriqué sur un autre site distant de 95 km.

Une fois conditionné, le Tradical 70® est convoyé par camion chez les distributeurs répartis sur plusieurs bassins de distribution dont les plus importants sont respectivement la Bretagne, l'Alsace et l'Isère. Afin de définir une distance moyenne de transport, le groupe de

travail a défini le barycentre de distribution en fonction des volumes transportés ; il est situé à Chartres à 891 km de Gêrone.

Tableau 11 : Intrants liés à la production de Tradical 70® et à son transport vers le distributeur

	Quantité/m ² de mur	Quantité/UF
Liant hydraulique et mélange de chaux (kg)	54,5	$5,4 \cdot 10^{-1}$
Gasol transport du liant hydraulique (kg)	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$
Electricité malaxage/ensachage (KWh)	1,8	$1,8 \cdot 10^{-2}$
Gasol transport vers distributeur (kg)	$7,7 \cdot 10^{-1}$	$7,7 \cdot 10^{-3}$

Source : BCB-Lhoist, Kellenberger *et al* (2003)

La chènevotte utilisée dans la filière béton chanvre est commercialisée sous le nom de Chanvribat®. Elle est fabriquée et conditionnée par la Chanvrière de l'Aube située à Bar sur Aube, puis acheminée par camion vers les distributeurs, soit 260 km de trajet vers Chartres.

Tableau 12 : Intrants liés à la production et au transport de la chènevotte vers le distributeur

	Quantité/m ² de mur	Quantité/UF
Chènevotte (kg)	24,8	$2,5 \cdot 10^{-1}$
Gasol transport vers distributeur (kg)	$1,7 \cdot 10^{-1}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$

Source : BCB-Lhoist, Construire en Chanvre

Le transport depuis le distributeur jusqu'au chantier se fait par camion. Les circuits de distribution étant variés, la norme NF P 01-010 fixe par défaut un scénario de livraison directe avec une distance de 30 km entre le centre de distribution et le chantier.

Tableau 13 : Intrants liés au transport de la chènevotte et du Tradical 70® vers le chantier

	Quantité/m ² de mur	Quantité/UF
Gasol transport vers chantier (kg)	$8,9 \cdot 10^{-2}$	$8,9 \cdot 10^{-4}$

Source : BCB-Lhoist, Construire en Chanvre

Dans un souci de développement local qui va souvent de pair avec l'utilisation de matériaux alternatifs tel que le béton chanvre, le bois formant l'ossature provient de forêts de résineux proches des chantiers. Il est séché à environ 12% d'humidité (densité : 460 kg/m³). Aucun traitement chimique n'est nécessaire car la structure en sapin ou pin est noyée dans la masse de béton chanvre qui la protège. La distance entre les parcelles et la scierie ainsi que celle entre la scierie, l'atelier de rabotage et le chantier ont été estimées par Claude Eichwald, architecte expert de la construction bois et président de l'association « Construire en chanvre ». D'après cet expert, les éléments de 25 % des ossatures sont fabriqués en scierie et directement acheminés vers le chantier. Les 75 % restants font un passage en atelier de rabotage et taille avant d'être acheminés vers le chantier.

Par ailleurs, le bois stocke du carbone par photosynthèse comme la chènevotte. Cette quantité a été calculée à l'aide de la formule citée dans l'analyse de l'inventaire de la partie agronomie en considérant un pourcentage de carbone 49,4% dans la matière sèche du bois (Werner *et al*, 2003). 9,9 kg eq CO₂/m² de mur sont ainsi stockés.

Tableau 14 : Intrants liés à la fabrication de l'ossature bois et son transport vers le chantier

	Quantité/m ² de mur	Quantité/UF
Bois de coupe (kg)	5,8	$5,8 \cdot 10^{-2}$
Gasoil transport vers scierie (kg)	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-5}$
Gasoil transport vers chantier (kg)	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-5}$
Electricité-Sciage (KWh)	$5,4 \cdot 10^{-1}$	$5,4 \cdot 10^{-3}$
Electricité-Séchage (KWh)	3,9	$3,9 \cdot 10^{-2}$
Electricité-Rabotage (KWh)	$1,8 \cdot 10^{-1}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$

Source : BCB-Lhoist, Werner *et al* (2003), Construire en chanvre, CTBA

L'eau nécessaire à la fabrication du béton provient du réseau. La quantité nécessaire est de 37,2 kg/m² de mur soit $3,72 \cdot 10^{-1}$ kg/UF.

3.4.2.3.Mise en œuvre

L'ossature bois est une structure manuable qui se monte à l'aide de visseuses et perceuses à main.

Le mélange chènevotte-Tradical 70® est réalisé à sec dans un malaxeur sur chantier puis injecté dans une lance de projection, l'addition de l'eau ne se faisant qu'en bout de lance pour éviter tout phénomène de prise dans le tuyau.

Le béton chanvre est ainsi puissamment projeté par un opérateur sur une grande banche de coffrage placée derrière l'ossature bois, jusqu'à atteindre une épaisseur suffisante à recouvrir la structure porteuse.

Le côté projeté du mur est ensuite légèrement lissé, puis la banche retirée pour faciliter le séchage.

Tableau 15 : Intrants liés à la mise en oeuvre du mur

	Quantité/m ² de mur	Quantité/UF
Electricité -Malaxage-Projection (KWh)	1,5	$1,5 \cdot 10^{-2}$

Source : BCB-Lhoist, Construire en Chanvre

Les déchets générés sur chantier font l'objet d'un tri sélectif et sont répartis dans trois bennes. La première benne reçoit les sacs de Tradical 70® vides constitués de papier kraft doublé d'un film de polyéthylène (PE). La seconde reçoit les sacs de chènevotte vides et les housses et films de palettisation (déchets 100% PE). La troisième reçoit les palettes en fin de vie, les palettes en bon état étant, quant à elles, réutilisées (9 rotations en moyenne - source CERIB, 2003). En fin de chantier, les 3 bennes sont transportées vers un centre de tri estimé distant de 30 km.

Le coût environnemental des déchets d'emballage n'est pas pris en compte, car ils sortent des limites du système étudié. En effet, valorisés ou recyclés, ils rentrent comme matière première dans un autre système. La méthode des stocks est donc utilisée et seul le transport pour convoier la quantité de déchets dégagee par UF au centre de tri est pris en compte.

La quantité de déchets PE est de 0,27 kg/m² de mur ($2,7 \cdot 10^{-3}$ kg/UF), la quantité de sacs de Tradical 70® vides est de 0,41 kg/m² de mur ($4,06 \cdot 10^{-3}$ kg/UF) et celle de palettes en fin de vie est de 0,21 kg/m² de mur ($2,1 \cdot 10^{-3}$ kg/UF).

Tableau 16 : Sortants liés à la mise en oeuvre du mur

	Quantité/m ² de mur	Quantité/UF
Déchets d'emballage total (kg)	$8,9.10^{-1}$	$8,9.10^{-3}$
Gasoil – transport déchets d'emballage et palettes vers centre de tri (kg)	$4,3.10^{-4}$	$4,3.10^{-6}$

Source : BCB-Lhoist, Construire en Chanvre, ADEME

3.4.2.4. Vie en œuvre

Durant la vie en œuvre, la chaux éteinte contenue dans le béton chanvre va absorber du CO₂ atmosphérique lors du processus de recarbonatation de la chaux. En effet, la chaux éteinte est issue de l'hydratation de la chaux vive, elle-même issue de la décarbonatation du calcaire sous l'effet de la chaleur (cuisson à 900 °C) :

- **Décarbonatation :**

$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO}$ (chaux vive) + CO₂ (émis et pris en compte dans l'étude dans les sortants lors de la production de la chaux)

- **Hydratation :**

$\text{CaO} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ (chaux éteinte) + H₂O

- **Recarbonatation :**

$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

La proportion de CO₂ ainsi absorbée est estimée par les experts de la chaux de groupe de travail (BCB-Lhoist) à 249 kg / tonne de Tradical 70® soit 13,6 kg/m² (0,13 kg CO₂ fixé/UF). La vitesse de recarbonatation est d'autant plus rapide que le phénomène n'est pas ralenti par la présence d'un enduit.

Les émissions éventuelles de substances durant la vie en œuvre du béton chanvre ne sont pas connues.

3.4.2.5. Fin de vie

Les données concernant les émissions liées à la dégradation du béton chanvre et de l'ossature bois ne sont pas disponibles. En effet, aucun test de dégradation du béton chanvre n'ayant été effectué à ce jour, le taux de minéralisation de la chènevotte, la nature et les quantités des émissions atmosphériques et des lixiviats ne sont pas connus. Ces données ne sont pas non plus disponibles pour le bois brut utilisé dans cette étude ; adapter des données issues d'autres études comme l'ACV de la poutre en bois lamellé-collé (bois traité et collé) introduirait trop d'incertitude dans les résultats. Ainsi, comme le suggère la norme NF P 01-010, la fin de vie se limitera dans cette étude à la prise en compte des émissions liées au transport des déchets de fin de vie (gravats) jusqu'au CET II le plus proche.

La quantité de déchets de démolition générée est de 98 kg/m² de mur, la densité du béton stabilisée étant de 380 kg/m³. La distance de transport est estimée à 20 km, rayon moyen calculé en divisant la surface du territoire français par le nombre de CET II en France (source : ADEME).

Tableau 17 : Sortants liés à la fin de vie

	Quantité/m ² de mur	Quantité/UF
Déchets de démolition (kg)	98	0,98
Gasoil-Transport déchets en CET II (kg)	$3,1.10^{-2}$	$3,1.10^{-4}$

Source : BCB-Lhoist, Construire en Chanvre

ÉVALUATION DE L'IMPACT

4. Évaluation de l'impact

L'objectif de cette partie est de quantifier les impacts environnementaux potentiels causés par le procédé étudié. Cette quantification se base sur le calcul des quantités de substances émises et consommées effectué au cours de l'analyse de l'inventaire.

4.1. *Choix des impacts considérés dans l'étude*

Dans le cadre de cette étude, l'un des produits à analyser est utilisé en tant que matériaux de construction, les impacts considérés dans l'étude ont donc été choisis selon les recommandations formulées dans la norme régissant la qualité environnementale et sanitaires des produits de construction (NF P01-010). Deux méthodes totalisant neuf impacts environnementaux potentiels ont été retenues :

- **La méthode proposée en 2001 par l'université CML de Leiden (Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden)**

Cette méthode quantifie :

- L'épuisement des ressources. Cet indicateur exprimé en équivalent antimoine (abrégié en kg Sb eq.) estime la quantité de ressources consommée.
- Acidification atmosphérique. Cet indicateur exprime les quantités d'équivalent dioxyde de soufre (notées kg SO₂ eq.) rejetées dans l'atmosphère.
- Effet de serre à 100 ans. Cet indicateur exprime les quantités d'équivalent dioxyde de carbone, gaz à effet de serre de référence (notées kg CO₂ eq.) rejetées dans l'atmosphère.
- Destruction de la couche d'ozone. Cet indicateur exprime les quantités d'équivalent CFC, gaz responsables de la destruction de la couche d'ozone (notées kg CFC-11 eq.) rejetées dans l'atmosphère. Dans le référentiel CML, le protoxyde d'azote (N₂O), gaz provenant des fertilisants azotés et ayant un effet indirect sur la destruction de la couche d'ozone n'est pas exprimé en CFC-11 eq. La destruction de la couche d'ozone causée par ce gaz n'a donc pas été comptabilisée dans l'ACV.
- Formation d'ozone photochimique. Cet indicateur exprime les quantités d'équivalent éthylène, (notées kg C₂H₄ eq.) rejetées dans l'atmosphère.
- Consommation d'énergie non renouvelable. Cet indicateur exprime la quantité d'énergie non renouvelable (en MJ) consommée.
- Production de déchets. Cet indicateur exprime les quantités de déchets (kg) rejetées.

- **La méthode des volumes critiques basée sur l'arrêté du 2 février 1998**

Cette méthode quantifie la pollution de l'air (en m³) et la pollution de l'eau (en m³). Le principe consiste au volume fictif d'air ou d'eau par lequel il faudrait diluer chaque flux de l'inventaire pour le rendre conforme au seuil défini dans l'arrêté. Les volumes fictifs calculés pour chacune des substances considérées dans l'analyse de l'inventaire sont ensuite additionnés. Contrairement aux indicateurs de la méthode CML, ceux de la méthode des volumes critiques portent sur un milieu et englobent donc plusieurs types d'impacts.

L'arrêté du 2 février 1998 ne tient pas compte des produits phytosanitaires couramment utilisés en agriculture. L'intérêt environnemental de la culture de chanvre (culture qui ne nécessite aucun traitement) pour la pollution de l'air et la pollution de l'eau par rapport à d'autres ne peut donc pas être mis en évidence avec cette méthode.

4.2. *Passage de l'analyse de l'inventaire à l'évaluation de l'impact*

Pour chaque substance répertoriée dans l'analyse de l'inventaire, il existe un facteur d'équivalence pour une masse donnée de substances dans un impact environnemental potentiel donné. Ces facteurs sont nommés facteurs de caractérisation. Des exemples de facteurs de caractérisation sont fournis dans le tableau suivant :

Tableau 18 : Exemples de facteurs de caractérisation

Impacts	Uranium (/kg)	CH₄ (/kg)	CO (/kg)	NO₃⁻ (/kg)
Epuisement des ressources (kg Sb eq)	0,00287	0	0	0
Acidification atmosphérique (kg SO ₂ eq)	0	0	0	0
Effet de serre (kg CO ₂ eq)	0	21	0	0
Couche d'ozone (kg CFC-11 eq)	0	0	0	0
Ozone photochimique (kg C ₂ H ₄ eq)	0	0,006	0	0
Energie non renouvelable (MJ)	560 000	0	0	0
Pollution de l'air (m ³)	0	20 000	10 000	0
Pollution de l'eau (m ³)	0	0	0	33,3

Source : Simapro®

Les valeurs calculées dans l'analyse de l'inventaire pour chaque substance sont converties en impacts grâce aux facteurs de caractérisation. La somme de ces valeurs est ensuite effectuée pour chacun des impacts potentiels considérés dans l'ACV.

4.3. Partie agronomie

Les impacts environnementaux potentiels causés par la production de chanvre sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 19 : Impacts environnementaux potentiels liés à la production de chanvre

Impacts	Paille de chanvre (/kg)	Fibre (/kg)		Chènevotte (/kg)	
		Massique	Economique	Massique	Economique
Epuisement des ressources (kg Sb eq)	$8,9 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
Acidification atmosphérique (kg SO ₂ eq)	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Effet de serre à 100 ans (kg CO ₂ eq) <i>dont stockage carbone (kg CO₂ eq)</i>	-1,5 -1,7	-1,7 -1,9	-2,9 -3,3	-1,9 -2,1	-1 -1,1
Couche d'ozone (kg CFC-11 eq)	$2,3 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$4,4 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$
Ozone photochimique (kg C ₂ H ₄ eq)	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Energie non renouvelable (MJ)	1,7	1,9	3,3	2,1	1,1
Production de déchets (kg)	0,2	0,2	0,4	0,2	0,1
Pollution de l'air (m ³)	21,7	24,9	42,2	27,2	14,5
Pollution de l'eau (m ³)	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1

Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

Ces résultats montrent un impact potentiel favorable vis-à-vis de l'effet de serre. La prise en compte du stockage de carbone dans la fibre et la chènevotte par la photosynthèse explique ce résultat positif au niveau de la partie agronomie (la durée du stockage de carbone dépend du type de produit final, de son utilisation incluant le recyclage potentiel et de sa fin de vie). Pour les autres catégories d'impacts, les résultats sont défavorables.

Le tableau met également en évidence des différences majeures entre les deux types d'allocations. Ainsi, l'allocation économique au contraire de l'allocation massique pénalise la fibre par rapport à la chènevotte pour l'ensemble des impacts à l'exception de l'effet de serre.

Les résultats détaillés étape par étape sont présentés en annexe p.59.

Partie Thermoplastique

Tableau 20 : Impacts environnementaux potentiels liés à la production d'1 kg de compound thermoplastique

Impacts	Production des matières premières			Transport de la fibre vers AFT	Transport du PP vers AFT	Traitement de la fibre	Extrusion et pelletisation	Total	
	Fibres		PP					Massique	Economique
	Massique	Economique							
Epuisement des ressources (kg Sb eq)	3,1.10 ⁻⁴	5,2.10 ⁻⁴	2,3.10 ⁻²	9,2.10 ⁻⁶	9,2.10 ⁻⁵	1,2.10 ⁻⁴	6,4.10 ⁻⁴	2,4.10 ⁻²	2,5.10 ⁻²
Acidification atmosphérique (kg SO ₂ eq)	5,6.10 ⁻⁴	9,5.10 ⁻⁴	1,4.10 ⁻²	1,8.10 ⁻⁶	1,8.10 ⁻⁵	1,3.10 ⁻⁴	6,7.10 ⁻⁴	1,5.10 ⁻²	1,6.10 ⁻²
Effet de serre à 100 ans dont stockage carbone (kg CO ₂ eq)	-0,5 -0,6	-0,9 -1,0	1,4 0	2,3.10 ⁻⁴ 0	2,3.10 ⁻³ 0	2,0.10 ⁻² 0	0,1 0	1,0 -0,6	0,7 -1
Destruction de la couche d'ozone (kg CFC-11 eq)	7,8.10 ⁻⁹	1,3.10 ⁻⁸	8,7.10 ⁻¹¹	2,0.10 ⁻⁹	2,0.10 ⁻⁸	3,4.10 ⁻⁹	1,8.10 ⁻⁷	2,4.10 ⁻⁷	2,5.10 ⁻⁷
Formation d'ozone photochimique (kg C ₂ H ₄ eq)	8.10 ⁻⁶	1,3.10 ⁻⁵	4,7.10 ⁻⁴	1,0.10 ⁻⁷	1,3.10 ⁻⁶	5,1.10 ⁻⁶	2,7.10 ⁻⁵	5,1.10 ⁻⁴	5,2.10 ⁻⁴
Energie non renouvelable (MJ)	0,6	1,0	53,8	1,9.10 ⁻²	0,2	2,0	10,5	67,1	67,5
Pollution de l'air (m ³)	7,5	12,7	20,9	4,4.10 ⁻²	0,4	1,3	6,7	36,8	42,1
Pollution de l'eau (m ³)	5.10 ⁻²	8,1.10 ⁻²	9,0.10 ⁻²	4,0.10 ⁻⁵	4,0.10 ⁻⁴	6,2.10 ⁻³	3,2.10 ⁻²	0,2	0,2
Production de déchets (kg)	6,6.10 ⁻²	0,1	0	0	1,2.10 ⁻¹⁸	2,1.10 ⁻³	2,2.10 ⁻²	9,0.10 ⁻²	0,1

Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

4.4. *Partie thermoplastique*

Les impacts environnementaux potentiels causés par la production d'un kilogramme de compound thermoplastique sont présentés dans le tableau 20. Le changement de scénario n'affectant que la fibre dans la partie "production de matières premières", elle est présentée séparément du polypropylène.

Les résultats mettent en évidence que le système considéré a un impact potentiel sur l'environnement globalement défavorable. Ils montrent également que les différences entre allocation économique et allocation massique sont faibles pour la majorité des impacts potentiels considérés à l'exception de l'effet de serre, de la pollution de l'air et de l'eau et de la production de déchets. Ce phénomène s'explique par le fait que la valeur de ces impacts est fortement influencée par la production de la fibre. En effet, sachant que suivant l'allocation l'impact de la production de fibre représente 40% (massique) ou 68% (économique) de l'impact potentiel de la production de paille, les différences observées varient donc du simple au double.

Partie Bâtiment

Tableau 21 : Impacts environnementaux potentiels sur 100 ans liés à la fabrication d'1m² de mur en béton chanvre banché sur ossature bois ⁽¹⁾.

Impacts	Production des matières premières			Mise en oeuvre	Vie en oeuvre	Fin de vie ⁽³⁾	Transport (total)	Total	
	Chènevotte		Autres mat. 1 ^{ères} (2)					Massique	Economique
	Massique	Economique							
Epuisement des ressources (kg Sb eq)	2,8.10 ⁻²	1,5.10 ⁻²	7,7.10 ⁻²	1,2.10 ⁻³	0	0	2,6.10 ⁻²	1,3.10 ⁻¹	1,2.10 ⁻¹
Acidification atmosphérique (kg SO ₂ eq)	5,1.10 ⁻²	2,7.10 ⁻²	4,8.10 ⁻²	1,3.10 ⁻³	0	0	5,1.10 ⁻³	1,0.10 ⁻¹	8,2.10 ⁻²
Effet de serre à 100 ans dont stockage carbone (kg CO ₂ eq)	-45,9 <i>Chènevotte</i> = -52,2	-24,5 <i>Chènevotte</i> = -27,9	23,1 <i>Bois</i> = -9,9	0,2 <i>0</i>	-13,6 <i>Chaux</i> = -13,6	0 <i>0</i>	6,7.10 ⁻¹ <i>0</i>	-35,5 <i>-75.7</i>	-14,1 <i>-51.4</i>
Destruction de la couche d'ozone (kg CFC-11 eq)	7,1.10 ⁻⁷	3,8.10 ⁻⁷	3,3.10 ⁻⁶	3,4.10 ⁻⁷	0	0	5,7.10 ⁻⁶	9,9.10 ⁻⁶	9,7.10 ⁻⁶
Formation d'ozone photochimique (kg C ₂ H ₄ eq)	7,1.10 ⁻⁴	3,8.10 ⁻⁴	4,2.10 ⁻³	5,0.10 ⁻⁵	0	0	3,8.10 ⁻⁴	5,4.10 ⁻³	5,0.10 ⁻³
Energie non renouvelable (MJ)	52,3	27,9	265,8	19,9	0	0	56,3	394,2	369,9
Pollution de l'air (m ³)	674	360	207,2	14,6	0	0	128,2	1024	709,9
Pollution de l'eau (m ³)	4,3	2,3	2,2	6,1.10 ⁻²	0	0	1,1.10 ⁻¹	6,7	4,7
Production de déchets (kg)	6	3,2	Pas de données	0,9	0	98	Pas de données	104,9	102,1

Source : BCB-Lhoist, Kellenberger *et al* (2003), Werner *et al* (2003), Construire en chanvre, CTBA, ADEME, INRA

⁽¹⁾ La lecture et l'interprétation de ces résultats doivent se faire en tenant compte des hypothèses de travail (voir 6.4 p.55).

⁽²⁾ Il s'agit du bois, de l'eau et du Tradical 70 ®

⁽³⁾ Le transport des gravats en fin de vie est comptabilisé dans la phase "transport total"

4.5. Partie bâtiment

Le tableau 21 présente, pour les scénarii massique et économique, les impacts environnementaux de chaque phase du cycle de vie d'1 m² de mur en béton chanvre sur ossature bois. Pour lire correctement le tableau, il faut savoir que :

- Pour être rapportés à l'unité fonctionnelle, tous ces résultats doivent être divisés par 100 (DVT).
- Le changement de scénario n'affectant que la chènevotte dans la partie "production de matières premières", elle est présentée séparément des autres matières (Tradical 70®, bois et eau).
- Pour l'impact « effet de serre à 100 ans », sont précisées les valeurs des prélèvements spécifiques des trois puits de carbone du mur en béton chanvre sur ossature bois à savoir, la chènevotte, le bois et la chaux.

Les résultats montrent un impact potentiel favorable vis-à-vis de l'effet de serre ; le mur stocke davantage de carbone que son cycle de vie n'en émet. Les résultats pour les autres catégories d'impacts sont défavorables.

Les résultats montrent également que les différences entre allocation économique et massique sont faibles pour la majorité des impacts potentiels considérés à l'exception de l'effet de serre et de la pollution de l'air et de l'eau. Ce phénomène s'explique par le fait que la valeur de ces impacts est fortement influencée par la production de la chènevotte. En effet, sachant que suivant l'allocation l'impact de la production de chènevotte représente 60% (massique) ou 32% (économique) de l'impact potentiel de la production de paille, les différences observées varient donc fortement.

INTERPRETATION DU CYCLE DE VIE

5. Interprétation du cycle de vie

Les résultats fournis par l'ACV sont complexes et nécessitent une interprétation. Cette interprétation se fait :

- en identifiant les étapes de la production qui ont un impact potentiel majeur sur l'environnement
- en faisant varier si nécessaire la valeur des paramètres sensibles du scénario de référence

5.1. Partie agronomie

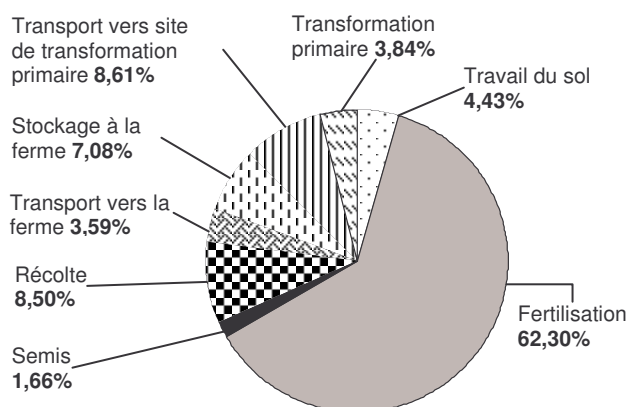
5.1.1. Identification des étapes significatives

Pour chacun des impacts potentiels, les proportions relatives présentées dans cette partie concernent une tonne de paille de chanvre produite et transformée. Elles restent identiques pour une tonne de fibre ou de chènevotte que l'allocation soit massique ou économique.

5.1.1.1. L'épuisement des ressources

Figure 7 : Epuisement des ressources/paille de chanvre

Epuisement des ressources (kg Sb eq/kg de paille)



Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

La figure ci-dessus montre que la fertilisation est l'étape qui contribue le plus à l'épuisement des ressources. Les fertilisants, en particulier azotés, nécessitent en effet l'utilisation de quantités importantes d'intrants énergétiques pour être produits.

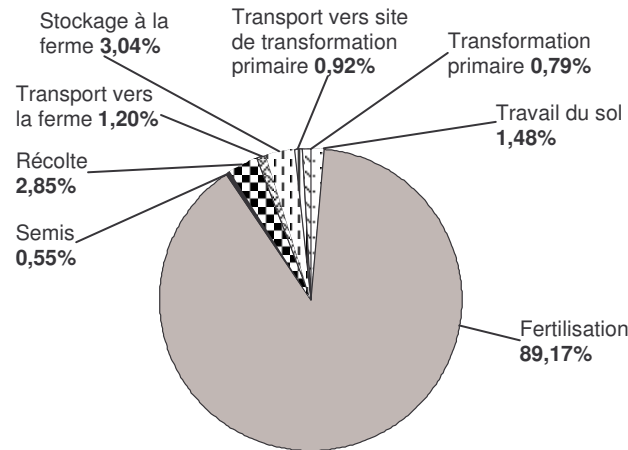
De plus, ces résultats mettent en évidence qu'avec plus de 11% du total, le transport est la deuxième cause d'épuisement des ressources suivi des différentes phases de l'itinéraire technique, en particulier la phase de récolte.

Enfin, les résultats montrent que la transformation primaire participe relativement peu à cet impact. En effet, l'électricité étant d'origine française, elle provient à près de 75% de l'énergie nucléaire. Or l'une des caractéristiques de ce type d'énergie est de fournir beaucoup d'électricité à partir d'une masse extrêmement faible de ressources énergétiques.

5.1.1.2.L'acidification atmosphérique

Figure 8 : Acidification atmosphérique/paille de chanvre

Acidification (en kg SO₂ eq/kg de paille)



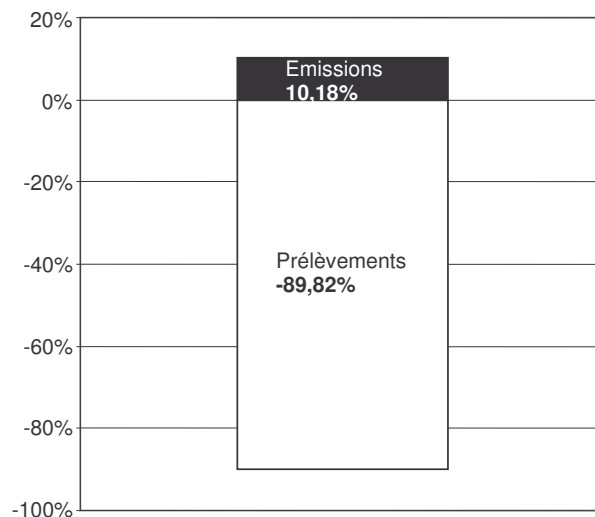
Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

La majorité de l'acidification atmosphérique est due à la fertilisation, en particulier azotée. En effet, les émissions d'ammoniaque provenant des fertilisants contribuent directement à cet impact. Les autres étapes contribuent à cet impact de manière indirecte, la production des différents intrants mis en jeu émettant des substances acidifiantes.

5.1.1.3.Effet de serre

Figure 9 : Rapport émissions/prélèvements de gaz à effet de serre/paille de chanvre

Proportion entre émissions et prélèvements de gaz à effet de serre



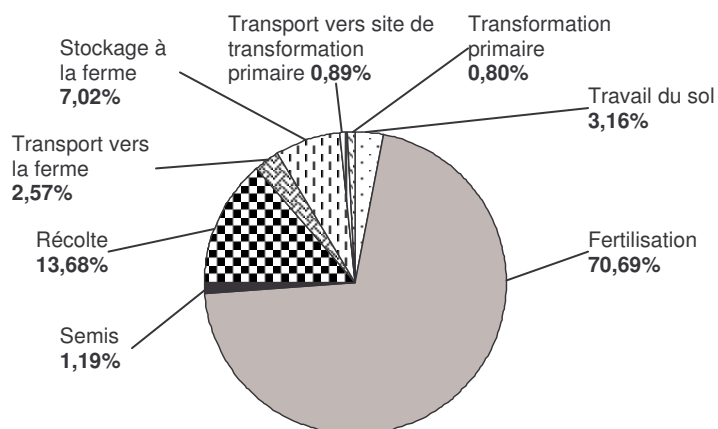
Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

La figure 9 montre que les prélèvements expliquent presque la totalité de la valeur de l'impact potentiel effet de serre. Ce prélèvement correspond au CO₂ prélevé par les plantes au cours de la photosynthèse.

La figure suivante permet de comprendre le rôle des différentes étapes de production considérées dans l'ACV sur les émissions de gaz à effet de serre.

Figure 10 : Emissions de gaz à effet de serre à 100 ans/paille de chanvre

Emissions de gaz à effet de serre à 100 ans (en kg CO₂ eq/kg de paille)



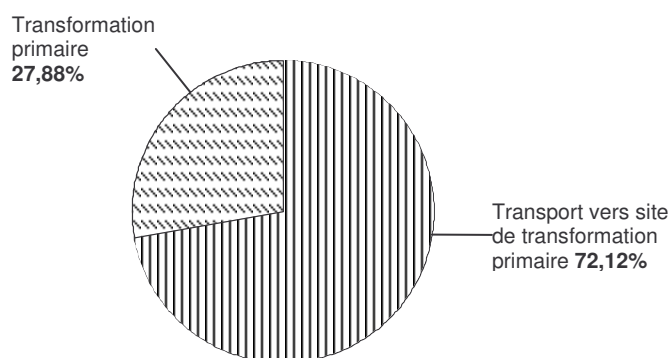
Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

Comme pour l'acidification atmosphérique et l'épuisement des ressources, les émissions de gaz à effet de serre résultent principalement de l'utilisation des fertilisants azotés. En effet, ceux-ci émettent directement dans l'atmosphère du protoxyde d'azote, gaz ayant un pouvoir à effet de serre 310 fois supérieur au CO₂. Ces fertilisants y contribuent également indirectement, puisque la production d'azote dégage 6,5 kg de CO₂ par kilogramme de produit.

5.1.1.4. Destruction de la couche d'ozone

Figure 11 : Destruction de la couche d'ozone/paille de chanvre

Destruction de la couche d'ozone (en kg CFC-11 eq/kg de paille)



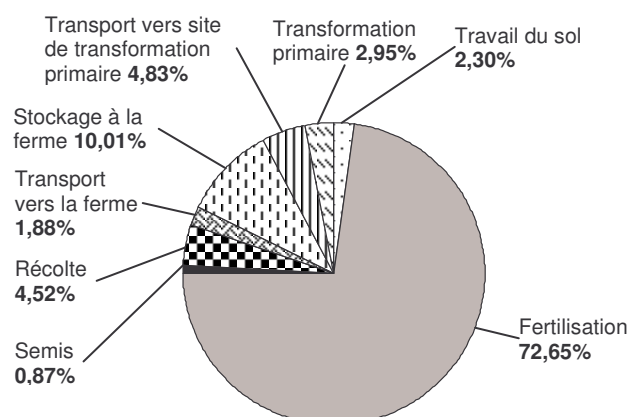
Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

Seules les phases de transformation primaire et de transport vers le site ont été comptabilisées dans la destruction de la couche d'ozone. En effet, pour ces deux étapes, les données proviennent d'une étude qui comptabilise les CFC émis (Frischknecht *et al*, 1996) tandis que pour les autres étapes, les données proviennent de Biofit (Calzoni *et al*, 2000) qui ne tient pas compte de ces substances. Les quantités émises restent en valeur absolue très faibles.

5.1.1.5. Formation d'ozone photochimique

Figure 12 : Formation d'ozone photochimique/paille de chanvre

Formation d'ozone photochimique (kg C₂H₄/kg de paille)



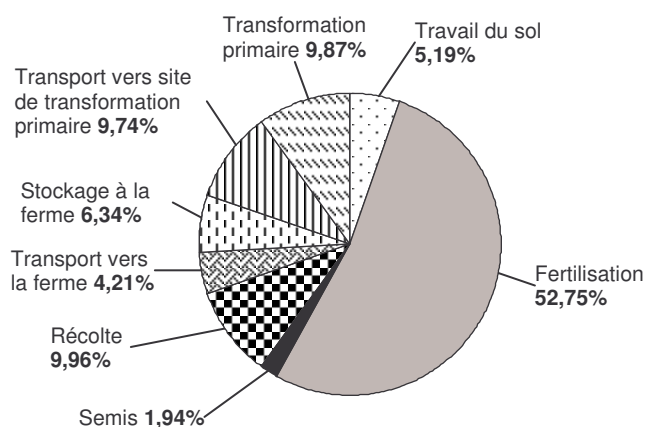
Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

La formation d'ozone photochimique est due à 70% à la fertilisation. Les valeurs absolues présentées précédemment restent faibles.

5.1.1.6. Énergie non renouvelable utilisée

Figure 13 : Énergie non renouvelable utilisée/paille de chanvre

Énergie non renouvelable (en MJ/kg de paille)



Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

Plus de la moitié de l'énergie consommée provient de la fertilisation. Ceci s'explique par les quantités importantes d'énergie nécessaire à la fabrication des fertilisants. Ainsi, 1 kg d'azote nécessite 74 MJ, 1kg de phosphore 16 MJ, et pour 1 kg de potasse 10 MJ. Les autres étapes consommatrices d'énergie sont le transport (13,9%), la récolte (9,9%) et la transformation primaire (9,9%).

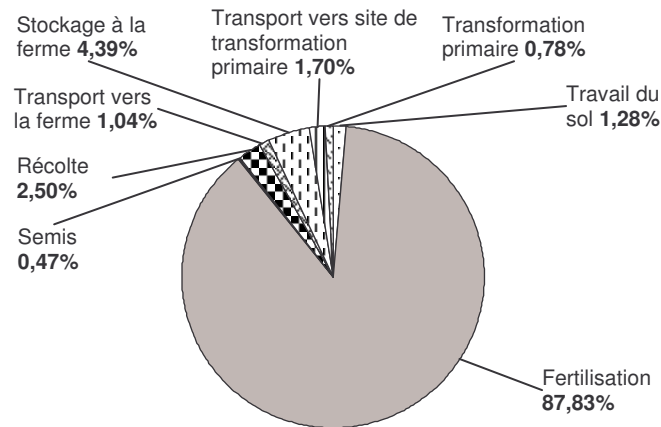
5.1.1.7. Production de déchets

Les seuls déchets comptabilisés dans l'ACV concernent la phase de transformation primaire, car aucune donnée n'est disponible sur les déchets produits au cours des autres étapes de la production.

5.1.1.8. Pollution de l'air

Figure 14 : Pollution de l'air/paille de chanvre

Pollution de l'air (en m³/kg de paille)



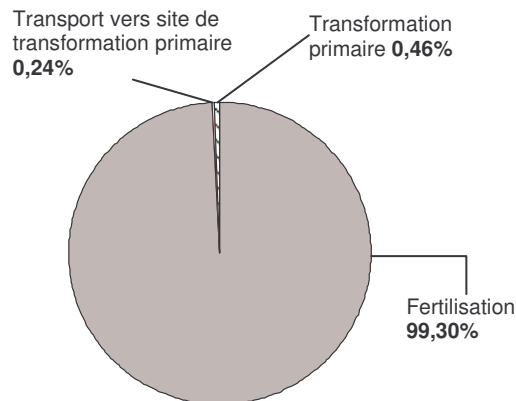
Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

Comme pour l'acidification atmosphérique, la majorité de la pollution de l'air est due à la fertilisation, en particulier à la fertilisation azotée. En effet, les émissions d'ammoniaque et de protoxyde d'azote provenant des fertilisants y contribuent directement. Les autres étapes contribuent également à la pollution de l'air mais de manière indirecte, la production des différents intrants mis en jeu émettant des substances polluantes pour l'air.

5.1.1.9. Pollution de l'eau

Figure 15 : Pollution de l'eau/paille de chanvre

Pollution de l'eau (m³/kg de paille)



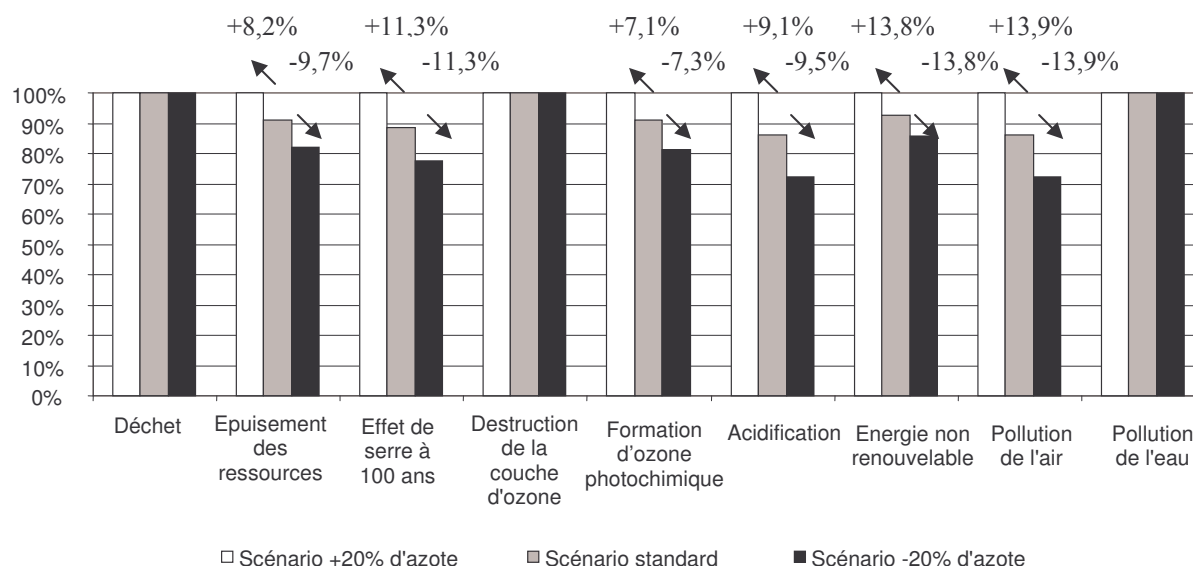
Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

La figure 15 montre que la majorité de la pollution de l'eau est due à la fertilisation. En effet, les émissions de nitrates et de phosphate provenant des fertilisants y contribuent directement. Les autres étapes contribuent à la pollution de l'eau de manière indirecte, la production des différents intrants mis en jeu émettant des substances polluantes pour l'eau.

5.1.2. Test de paramètres

La comparaison des différents scénarios présentée sur la figure 16 porte sur l'effet de serre uniquement sur les émissions.

Figure 16 : Comparaison de scénarios avec différents niveaux de fertilisants azotés



Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

La figure précédente met en évidence qu'une diminution des doses d'azote de 20% permet une diminution de l'ensemble des impacts potentiels de l'ordre de 10% à l'exception des impacts production de déchets, destruction de la couche d'ozone et pollution de l'eau.

En effet, la production de déchets et la destruction de la couche d'ozone sont des impacts potentiels indépendants de la fertilisation. De même, l'impact potentiel pollution de l'eau ne diminue pas, car la valeur de nitrates rejetés est une constante dans l'ACV.

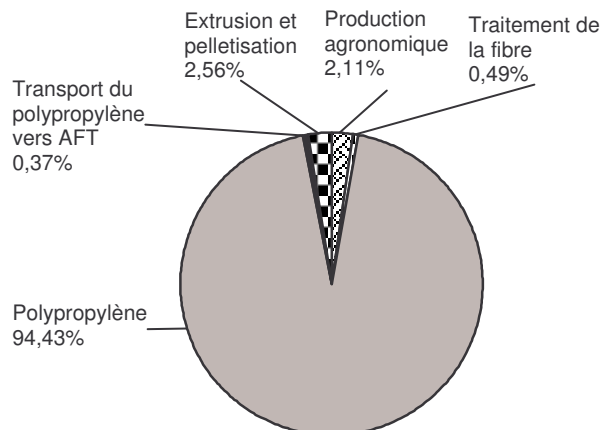
Ce test de paramètre permet donc de conclure sur l'importance de la fertilisation azotée dans le bilan environnemental de la production de fibres et de chènevotte.

5.2. Partie thermoplastique

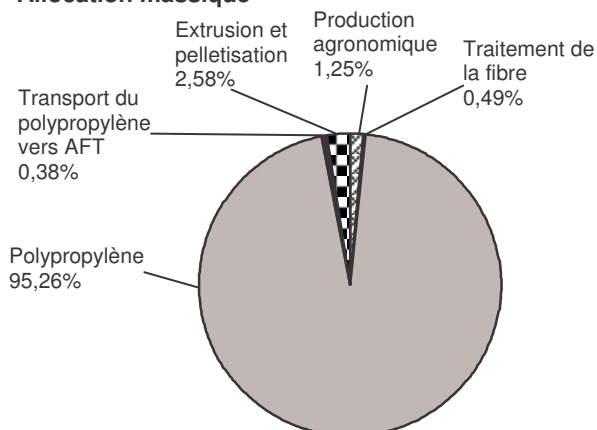
5.2.1. L'épuisement des ressources

Figure 17 : Epuisement des ressources/compound chanvre

Epuisement des ressources
(en kg Sb eq/kg de compound)
Allocation économique



Epuisement des ressources
(en kg Sb eq/kg de compound)
Allocation massique



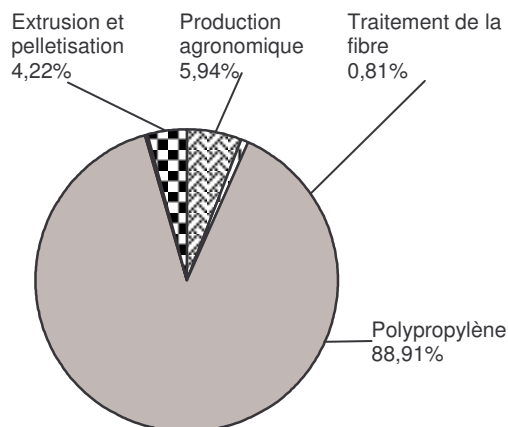
Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

95% de l'impact potentiel épuisement des ressources est expliqué par l'utilisation de polypropylène dans le compound. La production agricole et le process d'extrusion et de pelletisation du compound ne représentent que 5% de cet impact.

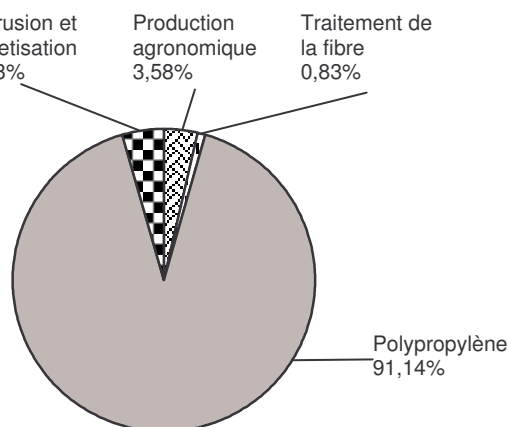
5.2.2. L'acidification atmosphérique

Figure 18 : Acidification atmosphérique/compound chanvre

Acidification (en kg SO₂ eq/kg de compound)
Allocation économique



Acidification (en kg SO₂ eq/kg de compound)
Allocation massique



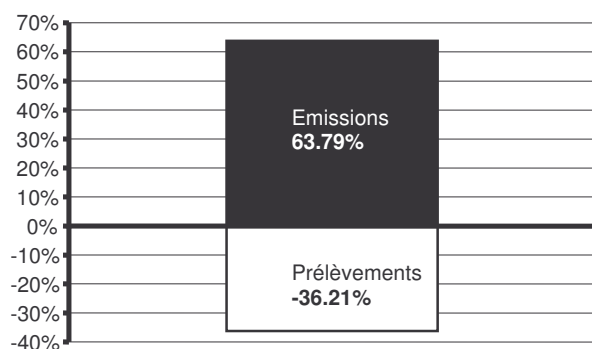
Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

Comme pour l'épuisement des ressources, le polypropylène est responsable de près de 90% de l'acidification atmosphérique potentiel due à la production de compound thermoplastique. Il joue un rôle notable pour cet impact à cause des émissions relativement importantes de dioxydes de soufre que sa fabrication entraîne. Ainsi, la fabrication d'un kilogramme de polypropylène rejette 12,9 g de dioxydes de soufre.

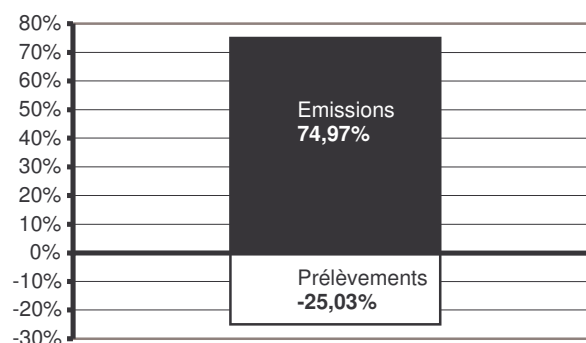
5.2.3. Effet de serre

Figure 19 : Rapport émissions/prélèvements de gaz à effet de serre/compound

Proportion entre prélèvements et émissions de gaz à effet de serre
Allocation économique



Proportion entre prélèvements et émissions de gaz à effet de serre
Allocation massique



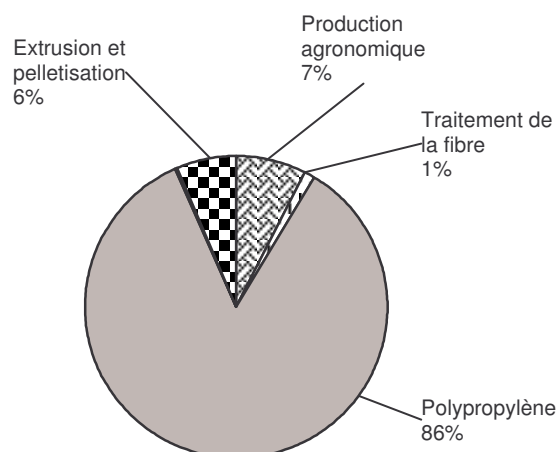
chanvre

Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

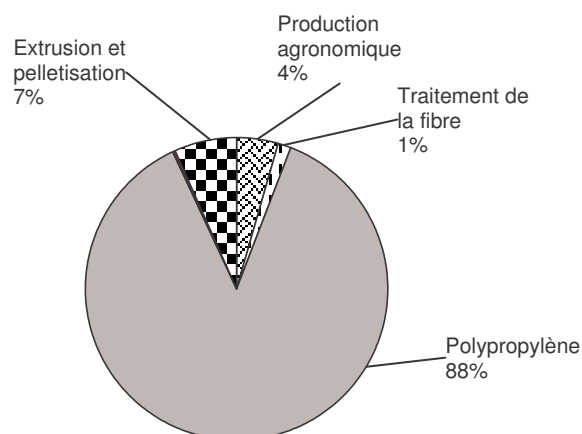
Les émissions de gaz à effet de serre représentent la majeure partie de l'impact potentiel effet de serre. Les prélèvements correspondent au CO₂ fixé par la photosynthèse du chanvre.

Figure 3 : Emissions de gaz à effet de serre à 100 ans/compound chanvre

Emissions de gaz à effet de serre à 100 ans
(en kg CO₂ eq/kg de compound)
Allocation économique



Emissions de gaz à effet de serre à 100 ans
(en kg CO₂ eq/kg de compound)
Allocation massique



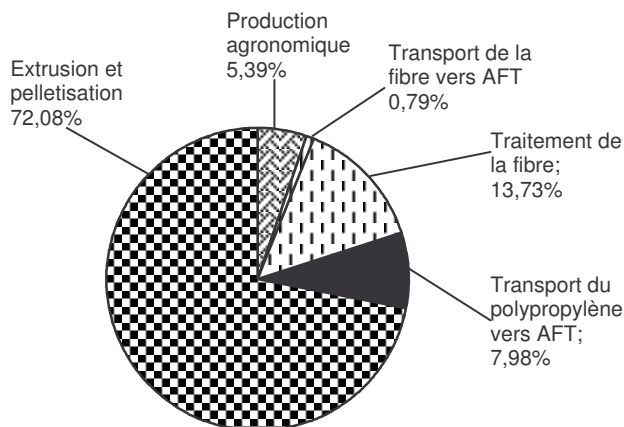
Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

L'effet de serre potentiel dû à la fabrication de compound thermoplastique provient à près de 85% de la fabrication du polypropylène. En effet pour fabriquer un kilogramme de polypropylène, 1,85 kilogramme de CO₂ est rejeté dans l'atmosphère.

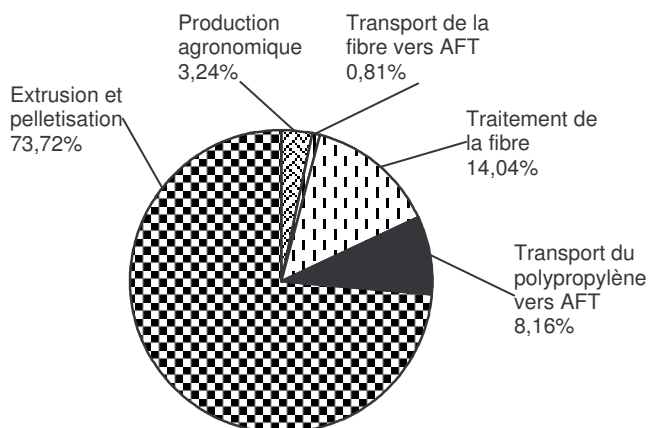
5.2.4. Destruction de la couche d'ozone

Figure 21 : Destruction de la couche d'ozone/compound chanvre

Destruction de la couche d'ozone
(en kg CFC-11 eq/kg de compound)
Allocation économique



Destruction de la couche d'ozone
(en kg CFC-11 eq/kg de compound)
Allocation massique



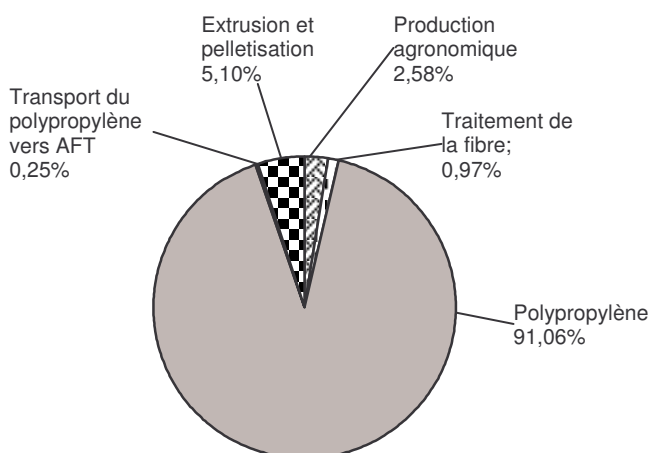
Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

L'émission de gaz destructeur de la couche d'ozone provient essentiellement de l'utilisation d'intrants énergétiques tels que l'électricité (65 µg/MJ) ou le gasoil (10 µg/kg). L'étape d'extrusion et de pelletisation étant celle qui consomme le plus de ces intrants, il est compréhensible qu'elle représente près de 75% de cet impact potentiel.

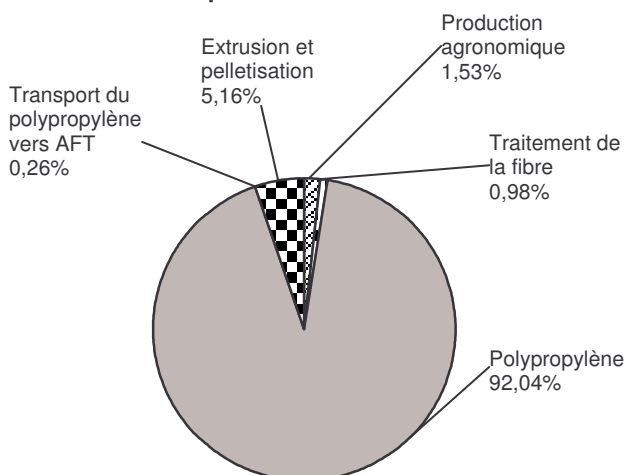
5.2.5. Formation d'ozone photochimique

Figure 22 : Formation d'ozone photochimique/compound chanvre

Formation d'ozone photochimique
(en kg C₂H₄ eq/kg de compound)
Allocation économique



Formation d'ozone photochimique
(en kg C₂H₄ eq/kg de compound)
Allocation massique



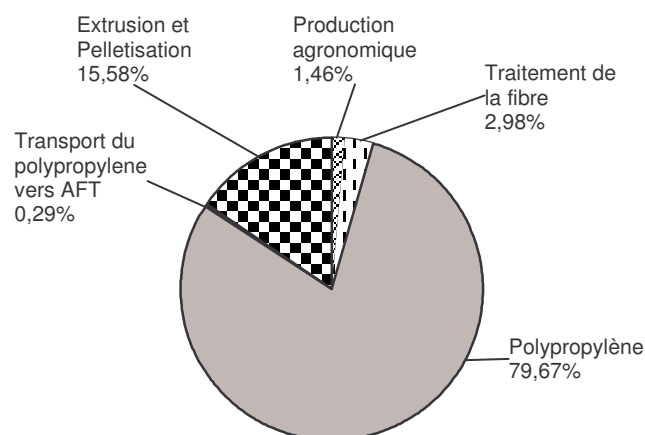
Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

Comme pour une majorité d'impact, l'utilisation de quantité importante de polypropylène explique 90% de la valeur donnée à l'impact potentiel.

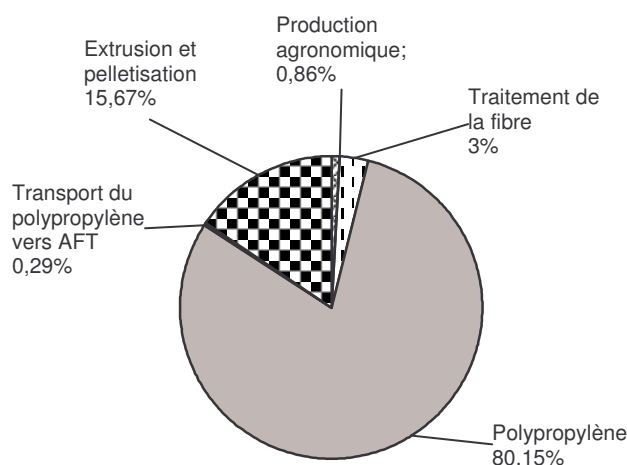
5.2.6. Energie non renouvelable utilisée

Figure 23 : Energie non renouvelable/compound chanvre

Energie non renouvelable (en MJ/kg de compound)
Allocation économique



Energie non renouvelable (en MJ/kg de compound)
Allocation massique



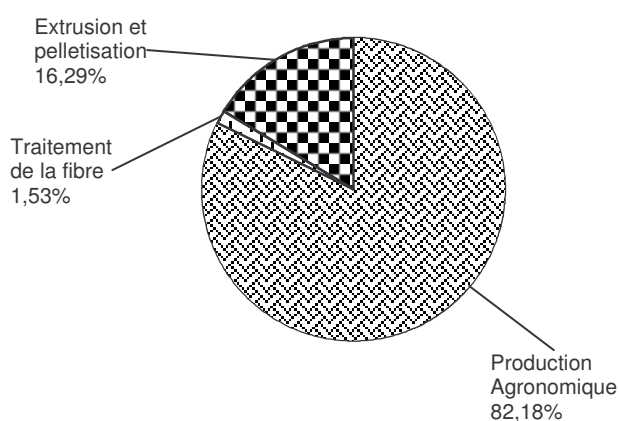
Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

L'utilisation de quantités importantes de polypropylène explique 80% de la valeur donnée à l'impact potentiel. En effet, la fabrication d'un kilogramme mobilise beaucoup de ressources fossiles, en particulier du gaz naturel (0,73 m³ L/kg), du charbon (63 g/kg) et de l'uranium (5 mg/kg).

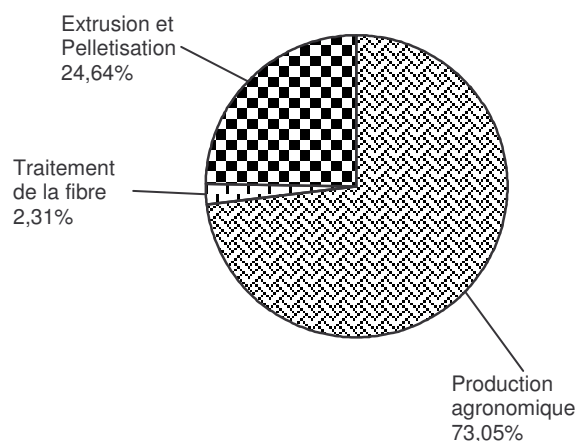
5.2.7. Production de déchets

Figure 24 : Production de déchets/compound chanvre

Déchet (en kg/kg de compound)
Allocation économique



Déchet (en kg/kg de compound)
Allocation massique



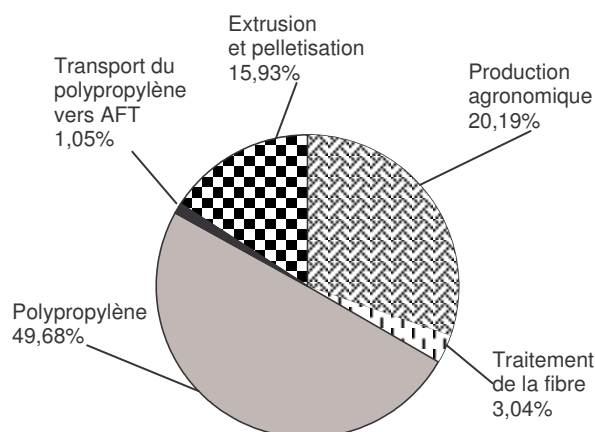
Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

La majeure partie de la production potentielle de déchets provient de l'étape de séparation de chènevette lors de la transformation primaire du chanvre. En effet, cette étape produit par kilogramme de fibre entre 200 et 350 g de poussière suivant le type d'allocation.

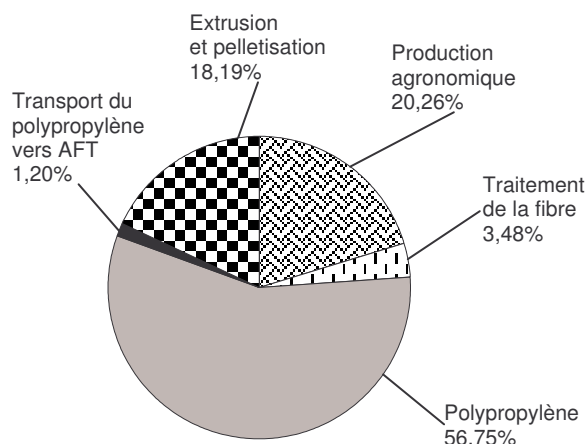
5.2.8. Pollution de l'air

Figure 25 : Pollution de l'air/compound chanvre

Pollution de l'air (en m³/kg de compound)
Allocation économique



Pollution de l'air (en m³/kg de compound)
Allocation massique



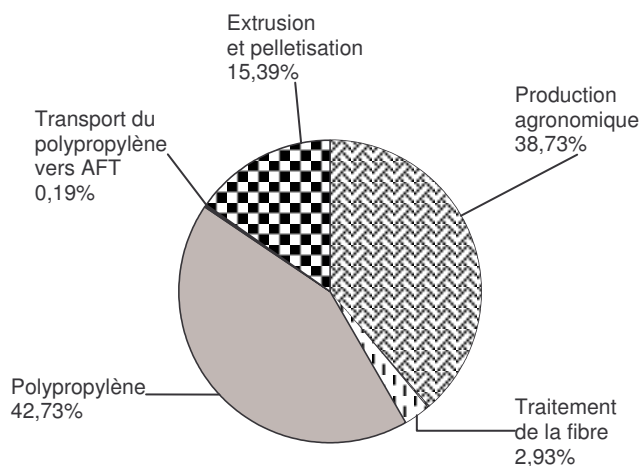
Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

La pollution potentielle de l'air s'explique d'après la figure ci-dessus pour 50% par la fabrication du polypropylène et pour 20% par la production agricole. Ces résultats s'expliquent pour la fabrication de polypropylène par la quantité importante de dioxyde de soufre émise. Pour la partie agricole, la pollution potentielle de l'air est causée par les émissions d'oxyde d'azote et d'ammoniaque.

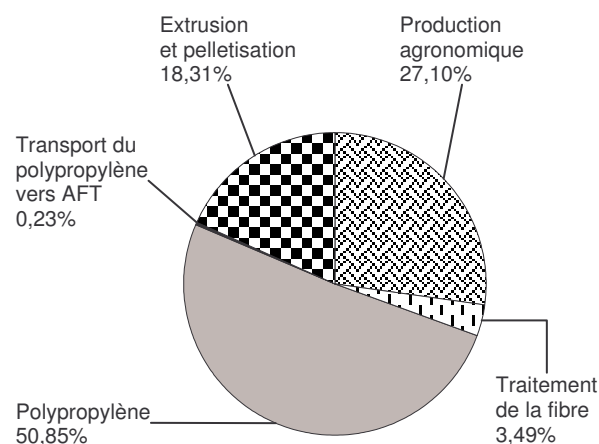
5.2.9. Pollution de l'eau

Figure 26 : Pollution de l'eau/compound chanvre

Pollution de l'eau (en m³/kg de compound)
Allocation économique



Pollution de l'eau (en m³/kg de compound)
Allocation massique



Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

La pollution potentielle de l'eau est due pour 40% à la fabrication du polypropylène et pour 40% à la partie agricole. Pour la partie agricole, la pollution de l'eau est due au rejet de nitrates et de phosphates causés par l'utilisation des fertilisants. Pour la fabrication du polypropylène, le nombre de substances rejetées dans l'eau est beaucoup important et donc plus délicat à expliquer. On peut cependant noter qu'en plus des nitrates et

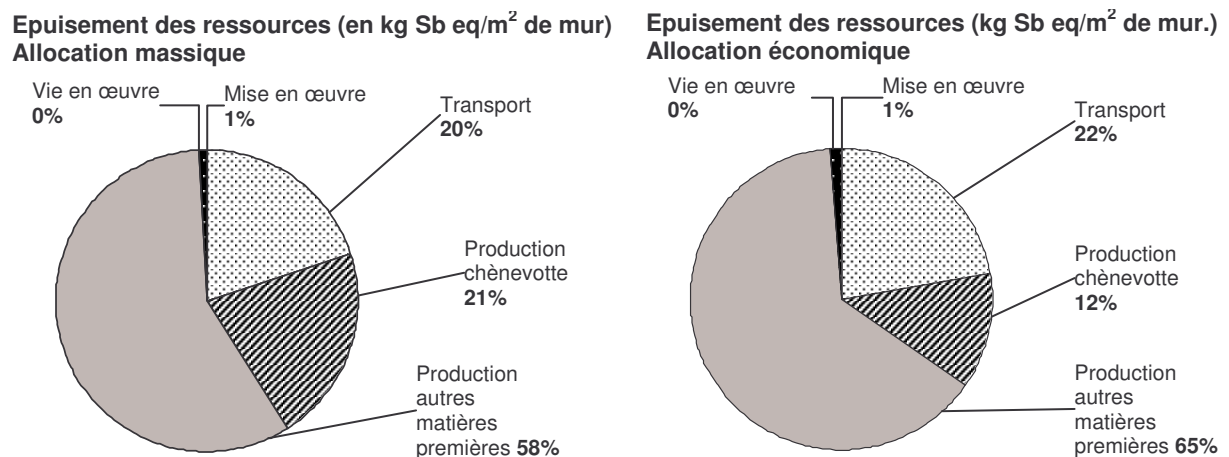
des phosphates, des substances toxiques telles que le mercure ou le chrome sont mentionnées dans l'analyse de l'inventaire de polypropylène.

5.3. Partie bâtiment

Les résultats des allocations massique et économique sont présentés pour chaque impact.

5.3.1. L'épuisement des ressources

Figure 27 : Epuisement des ressources/mur de chanvre

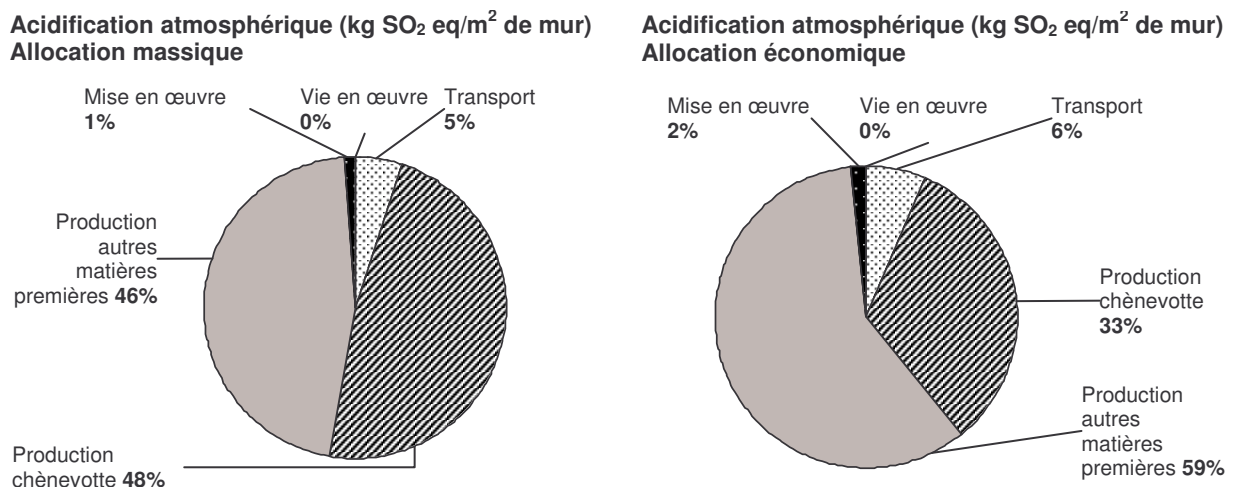


Source : BCB-Lhoist, Kellenberger *et al* (2003), Werner *et al* (2003), CTBA, Construire en chanvre, INRA

L'étape la plus significative est la production des matières premières, notamment celle du Tradical 70® majoritairement composé de minéraux calcaires. L'étape de fertilisation de la chènevotte est également consommatrice de ressources primaires (Cf. partie agricole) ; son impact diminue dans le cas de l'allocation économique puisque seulement 32% des impacts de la production de paille lui sont attribués (contre 60% dans le cas de l'allocation massique). Enfin, la phase de transport est consommatrice de pétrole, ressource non renouvelable.

5.3.2. L'acidification atmosphérique

Figure 28 : Acidification atmosphérique/mur de chanvre



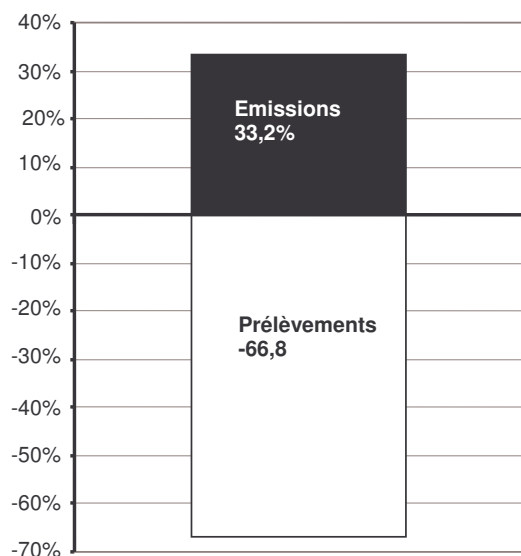
Source : BCB-Lhoist, Kellenberger *et al* (2003), Werner *et al* (2003), CTBA, Construire en chanvre, INRA

Dans les 2 cas d'allocations, l'étape la plus significative est la production des matières premières due pour moitié à la production de chènevotte (émissions d'ammoniaque lors de la fertilisation) et à la production de Tradical 70® consommatrice d'énergie (la production d'énergie est la deuxième cause d'émissions de polluants acides).

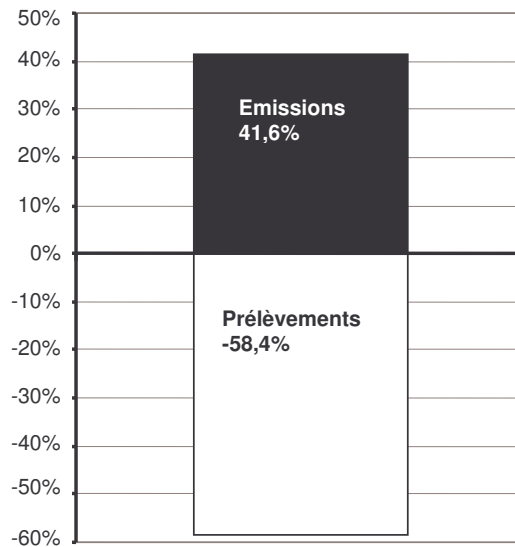
5.3.3. L'effet de serre à 100 ans

Figure 29 : Rapport émissions/prélèvement de gaz à effet de serre/mur de chanvre

Proportion entre prélèvements et émissions de gaz à effet de serre (kg CO₂ eq/m² de mur)
Allocation massique



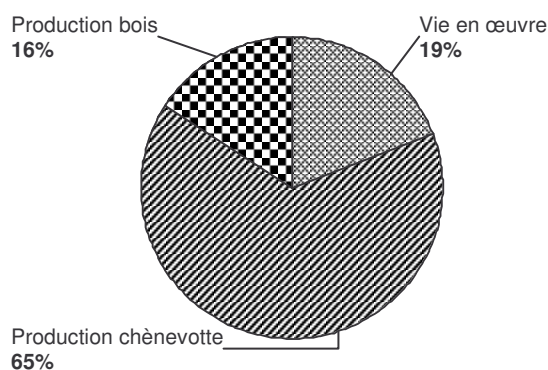
Proportion entre prélèvements et émissions de gaz à effet de serre (kg CO₂ eq/m² de mur)
Allocation économique



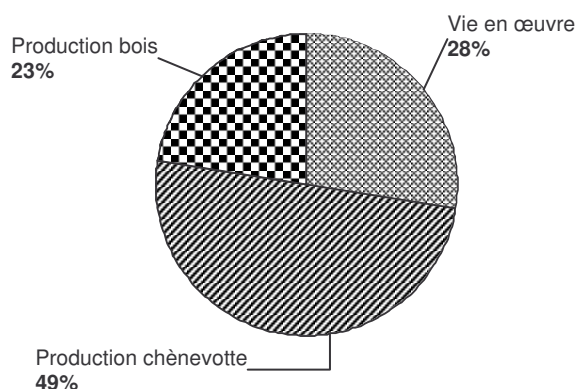
Les prélèvements de CO₂ atmosphérique sont plus importants que les émissions de CO₂. Dans le contexte des hypothèses de travail choisies, le bilan concernant les émissions de gaz à effet de serre est positif.

Figure 30 : Stockage de carbone/mur de chanvre

Stockage de gaz à effet de serre (kg CO₂ eq/m² de mur)
Allocation massique



Stockage de gaz à effet de serre (kg CO₂ eq/m² de mur)
Allocation économique



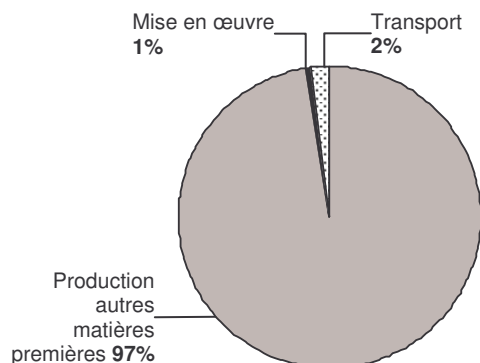
Source : BCB-Lhoist, Kellenberger *et al* (2003), Werner *et al* (2003), CTBA, Construire en chanvre, INRA

Les prélèvements sont assurés par la chènevotte et le bois qui stockent du carbone par photosynthèse et par la chaux contenue dans le béton chanvre fixe du CO₂ atmosphérique

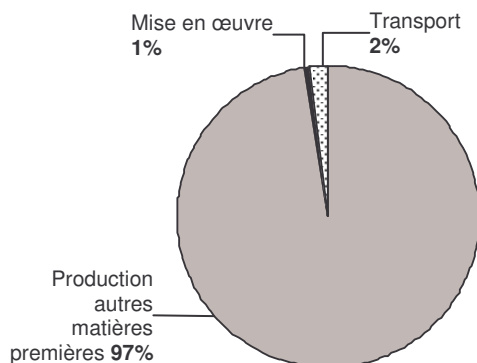
lors de l'étape de recarbonatation pour se transformer en calcaire. Le premier puits de carbone reste la chènevotte, utilisée en quantité cinq fois plus importante que le bois.

Figure 31 : Emissions de gaz à effet de serre à 100 ans/mur de chanvre

**Emissions de gaz à effet de serre
(kg CO₂ eq/m² de mur)
Allocation massique**



**Emissions de gaz à effet de serre
(kg CO₂ eq/m² de mur)
Allocation économique**



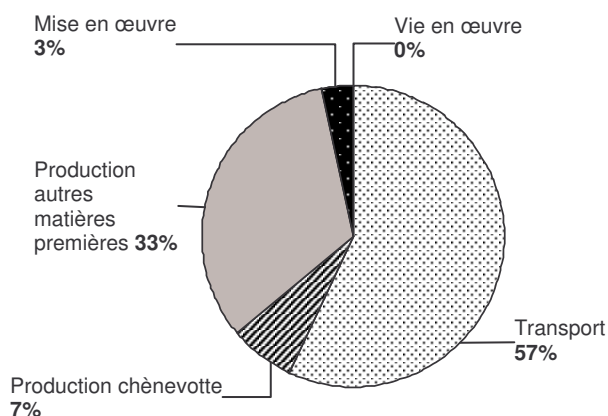
Source : BCB-Lhoist, Kellenberger *et al* (2003), Werner *et al* (2003), CTBA, Construire en chanvre, INRA

Les émissions de CO₂ sont dues essentiellement à la production de Tradical 70®.

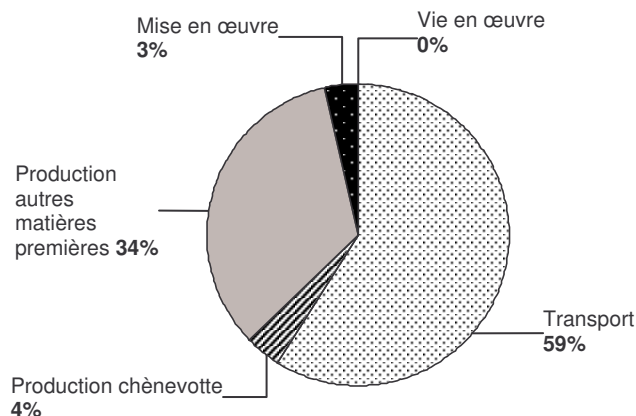
5.3.4. La destruction de la couche d'ozone

Figure 32 : Destruction de la couche d'ozone/mur de chanvre

**Destruction de la couche d'ozone
(kg CFC-11 eq/m² de mur)
Allocation massique**



**Destruction de la couche d'ozone
(en kg CFC-11 eq/m² de mur)
Allocation économique**



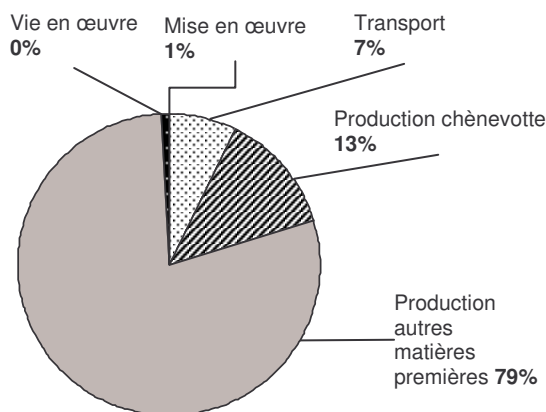
Source : BCB-Lhoist, Kellenberger *et al* (2003), Werner *et al* (2003), CTBA, Construire en chanvre, INRA

La phase de transport est la phase la plus émettrice de substances contribuant à la destruction de la couche d'ozone (halocarbures), suivie par la production de matières premières et notamment du Tradical 70®.

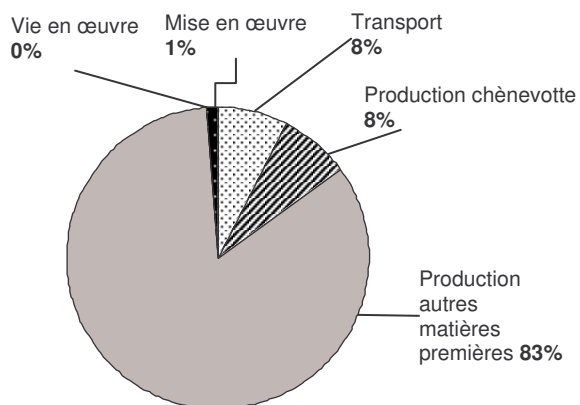
5.3.5. La formation d'ozone photochimique

Figure 33 : Formation d'ozone photochimique/mur de chanvre

Formation d'ozone photochimique
(kg C₂H₄ eq/m² de mur)
Allocation massique



Formation d'ozone photochimique
(kg C₂H₄ eq/m² de mur)
Allocation économique



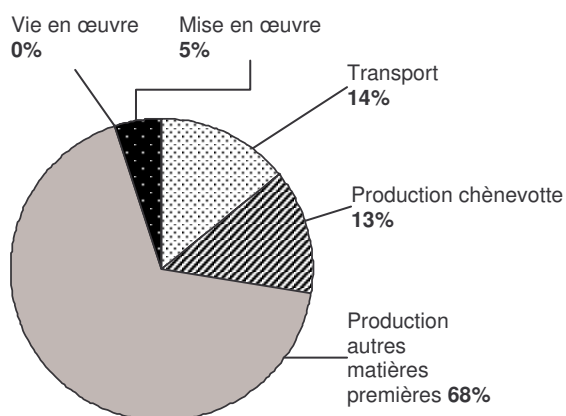
Source : BCB-Lhoist, Kellenberger *et al* (2003), Werner *et al* (2003), CTBA, Construire en chanvre, INRA

La production de matières premières et plus spécifiquement celle du Tradical 70® est la phase la plus émettrice de précurseurs, type NO_x et COV, contribuant à la formation d'ozone photochimique (80%).

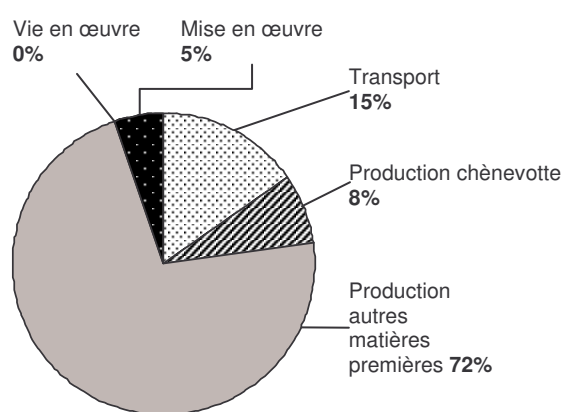
5.3.6. La consommation d'énergie non renouvelable

Figure 34 : Energie non renouvelable/mur de chanvre

Energie non renouvelable (en MJ/m² de mur)
Allocation massique



Energie non renouvelable (en MJ/m² de mur)
Allocation économique

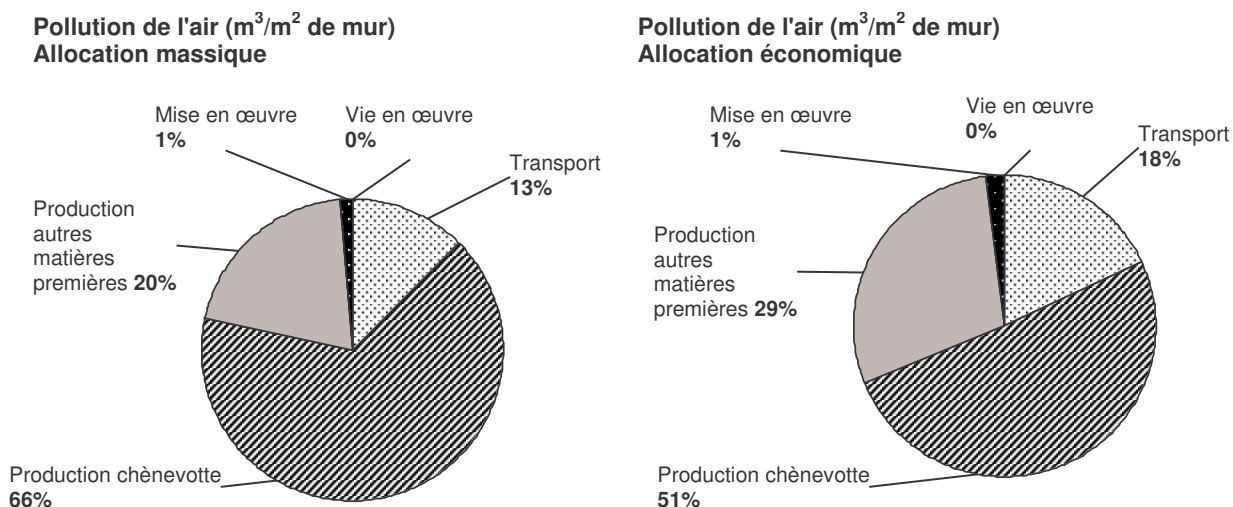


Source : BCB-Lhoist, Kellenberger *et al* (2003), Werner *et al* (2003), CTBA, Construire en chanvre, INRA

La production des matières premières et notamment du Tradical 70® est très consommatrice d'énergie non renouvelable (52% de la contribution totale), car les calcaires dont sont issus chaux et liant hydraulique sont cuits à plus de 900°C.

5.3.7. La pollution de l'air

Figure 35 : Pollution de l'air/mur de chanvre

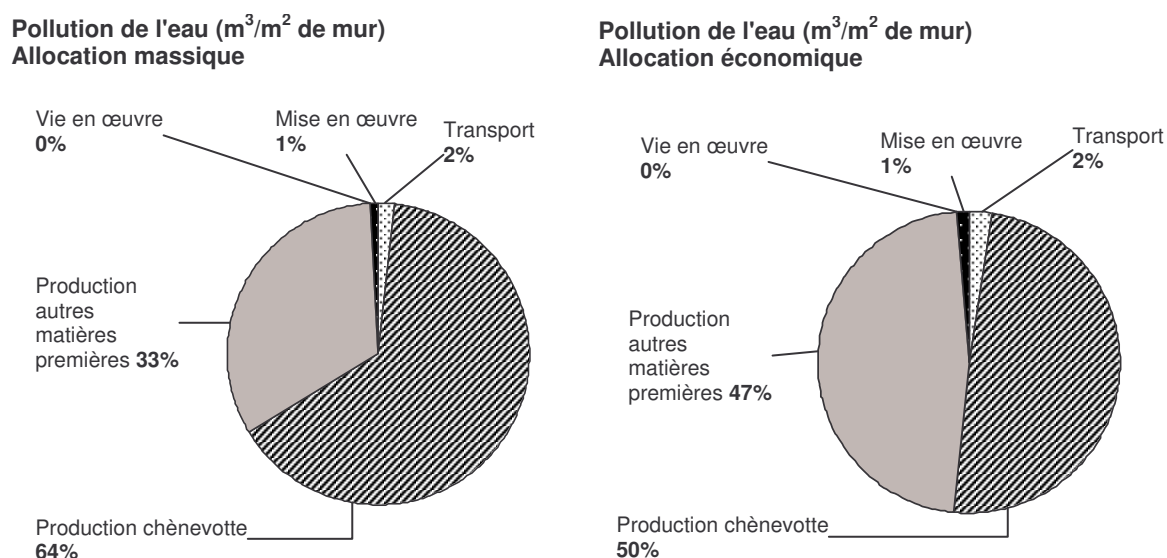


Source : BCB-Lhoist, Kellenberger *et al* (2003), Werner *et al* (2003), CTBA, Construire en chanvre, INRA

La pollution de l'air est majoritairement due à la production de chènevotte (fertilisation azotée) suivie par la production des autres matières premières (Tradical 70®).

5.3.8. La pollution de l'eau

Figure 36 : Pollution de l'eau/mur de chanvre



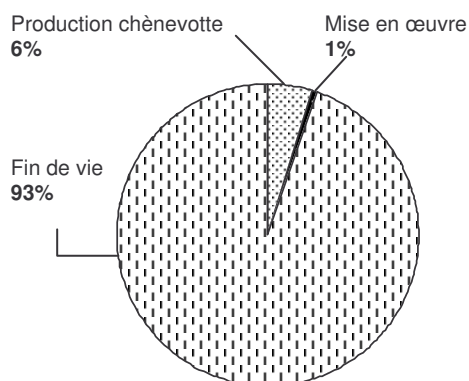
Source : BCB-Lhoist, Kellenberger *et al* (2003), Werner *et al* (2003), CTBA, Construire en chanvre, INRA

La pollution de l'eau est massivement due à la production de toutes les matières premières et plus spécifiquement à celle de la chènevotte (émissions de nitrates et de phosphates).

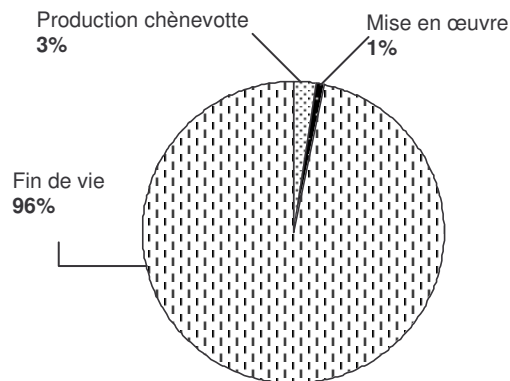
5.3.9. Production de déchets

Figure 37 : Production de déchets/mur de chanvre

Production de déchets (kg/m² de mur)
Allocation massique



Production de déchets (kg/m² de mur)
Allocation économique



Source : BCB-Lhoist, Kellenberger *et al* (2003), Werner *et al* (2003), CTBA, Construire en chanvre, INRA

Les quantités de déchets générés lors de la production du mélange de chaux, du liant hydraulique et de l'ossature bois n'étant pas répertoriées, seuls sont représentés les déchets liés à la production de chènevotte, les déchets d'emballages et ceux liés à la fin de vie.

Les gravats (98 kg/m² de mur) représentent la presque totalité des déchets.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

6. Conclusions et perspectives

6.1. *Partie agronomique*

D'après les résultats de cette étude, les impacts environnementaux potentiels de la culture de chanvre sont dus à :

- **la fertilisation azotée.** C'est l'étape déterminante dans le bilan environnemental de la fibre et de la chènevotte. Elle intervient principalement pour trois impacts : l'émissions de gaz à effet de serre, la consommation de ressources énergétiques non renouvelables et la pollution de l'eau par l'émission de nitrates.
- **le transport.** Les distances parcourues pour transporter la paille de chanvre sont de 100 km en moyenne, ce qui explique le coût énergétique et l'importance des émissions de gaz à effet de serre pour cette étape. Il faut cependant noter que l'impact potentiel de cette étape reste plus faible que la fertilisation azotée.

Il faut également noter que la production importante de poussière, déchet très peu valorisé aujourd'hui accroît l'impact environnemental potentiel de la fibre et de la chènevotte. En effet, l'impact potentiel de la production de paille est réparti selon une allocation massique ou économique entre deux produits au lieu de trois.

Améliorer le bilan environnemental de la paille de chanvre se fera donc principalement en travaillant d'une part sur la gestion de la fertilisation azotée afin que celle-ci soit la plus faible possible et d'autre part sur la création de variétés qui valorisent mieux l'azote, c'est-à-dire qui ont un rendement identique pour une dose d'azote plus faible. Dans une moindre mesure, la réduction des distances de transport de la paille de chanvre permettrait d'améliorer également le bilan. De plus, développer des débouchés pour la poussière lui donnerait un statut de co-produit et diminuerait l'impact environnemental potentiel de la fibre et de la chènevotte.

Au-delà des résultats de l'ACV, le chanvre reste une culture qui nécessite assez peu d'intrants. En effet, il n'a besoin ni d'irrigation, ni de produits phytosanitaires et seulement 70 unités d'azote sont nécessaires pour assurer un rendement de 8 t/ha de matière sèche.

6.2. *Partie thermoplastique*

L'étude effectuée sur un compound thermoplastique composé en masse de 70% de polypropylène et de 30% de fibres de chanvre montre principalement que :

- **l'impact environnemental potentiel lié à sa production provient principalement du polypropylène** (épuisement des ressources, acidification atmosphérique, émissions de gaz à effet de serre, formation d'ozone photochimique, consommation d'énergie non renouvelable). En effet, la production de polypropylène émet 1,85 kg eq CO₂/kg de polypropylène produit et nécessite de nombreuses ressources fossiles telles que le gaz naturel (0,73 m³/kg), le charbon (63 g/kg) et l'uranium (5 mg/kg).
- **le chanvre** contribue aux impacts potentiels défavorables de façon marginale (épuisement des ressources, acidification atmosphérique, émissions de gaz à effet de serre, destruction de la couche d'ozone, formation d'ozone photochimique, consommation d'énergie non renouvelable), de façon minoritaire (pollution de l'air et de l'eau) ou de façon majoritaire (production de déchets). La substitution d'une partie du polypropylène par des fibres végétales diminue l'impact défavorable de ce dernier sur l'effet de serre.

Dans le cadre d'une démarche d'écoconception, l'utilisation de matériaux à base de carbone renouvelable et ayant les mêmes propriétés techniques que le polypropylène améliorerait encore le bilan environnemental du compound chargé fibres de chanvre.

Au-delà des résultats de l'ACV, d'autres caractéristiques paraissent favorables ; le compound chargé fibres de chanvre étant moins dense que le compound chargé fibres de verre, il permet de réduire le poids des véhicules et donc leur consommation en carburant, diminuant de manière indirecte les émissions de gaz à effet de serre. De plus, les thermoplastiques chargés fibres de chanvre étant recyclables, leur réutilisation permet une économie de matière, notamment en polypropylène, et par conséquent là encore, un effet indirect de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

6.3. *Partie Bâtiment*

Dans le cadre des hypothèses de travail choisies, l'étude effectuée sur le mur de béton chanvre banché sur ossature bois montre que :

- **l'impact sur l'effet de serre est favorable** ; le mur de béton chanvre constitue un puits de carbone intéressant au moins pour une durée de 100 ans, car il stocke, dans ses trois puits de carbone que sont la chènevotte, le bois et le Tradical® (chaux), plus de CO₂ que son cycle de vie n'en émet. A terme, le CO₂ stocké dans les fractions organiques sera restitué à l'atmosphère.
- la **fabrication du Tradical 70®** est le poste qui contribue le plus à l'émission de gaz à effet de serre, à la formation d'ozone photochimique, à la consommation d'énergie non renouvelable et à l'épuisement des ressources.
- **le chanvre** contribue aux impacts potentiels défavorables de façon marginale (destruction de la couche d'ozone, émissions de gaz à effet de serre, énergie non renouvelable, production de déchets), de façon minoritaire (épuisement des ressources) ou de façon majoritaire (pollution de l'air et de l'eau).
- **le transport** est le premier poste destructeur de la couche d'ozone. Il est également en seconde position concernant l'impact sur la consommation d'énergie non renouvelable et l'effet de serre.

Si les marges de manœuvre concernant l'amélioration de la production du liant sont liées au développement industriel, une amélioration du bilan environnemental du mur en béton de chanvre banché sur ossature bois est rapidement possible via l'optimisation de la phase de transport. En effet, les distances parcourues aujourd'hui sont très importantes (ex : 891 km entre l'usine de production du Tradical 70® et le distributeur) ; les raccourcir en développant la filière permettrait de diminuer l'impact global potentiel du produit.

Le bilan pourrait être amélioré également sur la phase de fin de vie en développant les filières de recyclage ou de valorisation qui assureraient une restitution du carbone stocké sous forme de CO₂ et non pas de CH₄ (méthane) comme cela peut être le cas en CET II. Ainsi, la partie bois pourrait être réutilisée ou valorisée énergétiquement alors que la partie béton de chanvre pourrait être utilisée en aire de compostage (Courgey, 2003), en remblais ou en amendement agricole.

Au-delà des résultats de l'ACV, la principale amélioration pourrait venir d'évolutions technologiques comme par exemple le développement de la production à grande échelle de blocs de béton chanvre. Ces nouveaux blocs fabriqués industriellement permettraient à la fois d'utiliser moins de liant tout en conservant le principal puits de carbone, la chènevotte, et donc de diminuer l'impact potentiel sur l'environnement. Cette évolution est actuellement à l'étude dans le cadre du projet EUREKA HLB « Hemp Lime Blocks ».

6.4. *Récapitulatif des hypothèses majeures de l'ACV*

Les résultats du travail effectué dépendent fortement des hypothèses choisies. Pour une utilisation ultérieure de ces résultats, il convient de tenir compte de celles-ci. Elles sont regroupées dans les paragraphes suivants.

6.4.1. Hypothèses initiales

6.4.1.1. Partie agronomie

- Les impacts environnementaux potentiels liés à la production de semences utilisées au cours de l'itinéraire technique n'ont pas été pris en compte dans l'étude.
- La production de chènevis parfois associée à la production de paille n'a pas été étudiée.
- La poussière issue du processus de séparation des fibres et de la chènevotte a été comptabilisée comme un déchet.
- La répartition des impacts environnementaux potentiels de la paille de chanvre entre fibres et chènevotte s'est faite selon une allocation massique (60% chènevotte, 40% fibres) et une allocation économique (68% fibres et 32% chènevotte).
- La règle de coupure des 98% citée dans la norme NF P01-010 a été adoptée.

6.4.1.2. Partie thermoplastique

- La règle de coupure des 98% citée dans la norme NF P01-010 a été adoptée.

6.4.1.3. Partie bâtiment

- La DVT est de 100 ans.
- La règle de coupure des 98% citée dans la norme NF P01-010 a été adoptée.
- Les consommations électriques nécessaires au montage de l'ossature bois sont négligées, car non disponibles et estimées très faibles (visseuses et perceuses à main).
- Les étapes de rupture de charge et manutention ne sont pas prises en compte car les données ne sont pas disponibles.
- La fin de vie pour l'ossature bois comme pour le béton chanvre est un stockage en centre d'enfouissement technique de classe II (CET II).

6.4.2. Hypothèses retenues lors des scénarios de référence

Les hypothèses réalisées lors de la construction des scénarios de référence ont été regroupées dans les tableaux suivants.

6.4.2.1. Partie agronomie

- La valeur des intrants et des distances de transport imputée à la production de paille de chanvre est égale à la moyenne des valeurs fournies par la FNPC, la LCDA, Eurochanvre et PDM Industrie, pondérée selon la surface cultivée et la quantité de paille transformée.
- La valeur des sortants imputée à la production de paille est égale :
 - **pour les nitrates.** La quantité de nitrate lessivée retenue dans l'étude est une constante, indépendante de la dose d'azote apportée au sol.
 - **pour les phosphates.** La dose est calculée selon la formule de Calzoni *et al*, 2000.
 - **pour le protoxyde d'azote.** La dose est calculée selon la formule de Brentrup *et al*, 2001.
 - **pour l'ammoniaque.** La dose est calculée selon la formule de Brentrup *et al*, 2001.
- Le stockage du carbone dans le produit a été pris en compte dans cette étude.

6.4.2.2. Partie thermoplastique

- La valeur des distances de transport imputée à la production de compounds thermoplastiques est égale à la distance moyenne entre le site de production de compounds et les différents fournisseurs de matières premières, pondérée par les quantités utilisées.

6.4.2.3. Partie bâtiment

- Le centre de distribution du Tradical 70® et de la chènevotte correspond au barycentre des différents points de distribution. Les distances de transport des sites de production de ces deux produits vers ce barycentre ont donc été estimées.
- Les distances de transport du bois ont été estimées au dire d'experts.
- La phase de fin de vie se limite à la prise en compte de la masse de déchets de démolition et des émissions liés à leur transport vers le CET II le plus proche.

Bibliographie

ADEME, DIREM 1998. Etude Agrice-Chanvre. 1998. 6 pages.

ADEME, DIREM, ECOBILAN PRICEWATERHOUSECOOPERS. 2002. Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburant. 2002. 132 pages.

ARRETE DU 2 FEVRIER 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation (JO du 3 mars 1998).

BRENTROP, F., KUSTERS J., KUHLMANN, H., LAMMEL, J. 2001. Application of the Life Cycle Assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilisers. European Journal of Agronomy, 2001, vol 3, N°14, pp 221-233.

BLAGA A. (page consultée le 2 janvier 2005). CBD-154-F. Les matières plastiques, [En ligne]. Adresse URL : [http:// www.irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd154f.html](http://www.irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd154f.html).

CALZONI, J., CASPERSEN, N., DERCAS, N., GAILLARD G., GOSSE, G. HANEGRAAF, M., HEINZER L., JUNGK, N., KOOL A., KORSUIZE, G., LECHNER, M., LEVIEL B., NEUMAYR, R., NIELSEN, A.M., NIELSEN, P.H., NIKOLAOU, A., PANOUTSOU, C., PANVINI, A., PATYK, A., RATHBAUER, J., REINHARDT, G.A., RIVA, G., SMEDILE, E., STETTLER, C., PEDERSON WEIDEMA, B., WORGETTER, M., VAN ZEIJTS, H. 2000. Bioenergy for Europe: which ones fit best? A comparative analysis for the community. 2000. 178 pages.

COURGEY S. – Béton de chanvre – La maison écologique, n°13 – Février/mars 2003

FRISCHKNECHT, R., BOLLENS, U., BOSSHART, S., CIOT, M., CISERI, L., DOKA, G., DONES, R., GANTNER, U., HISCHIER, R., MARTIN, A. 1996. Ökoinventare von Energiesystemen. Grundloggen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Auflage N°3, Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und Sektion Ganzheitliche Systemanalysen, Paul Scherrer Institut, Villigen, www.energieforschung.ch, Bundesamt für Energie (Hrsg.), Bern.

HISCHIER R. 2002. Life Cycle Inventories of Packagings and Graphical Papers. Eco-invent report n°11. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2003. 205 pages

KELLENBERGER D., ALTHAUS H-J., KÜNNIGER T., JUNGBLUTH N. - 2003 – Life Cycle Inventories of Building Products – Ecoinvent report No. 7 – Dübendorf, December 2003.

MOUGIN G. – 2005 - Le chanvre, un renfort pour matières plastiques – Plastiques et Elastomères Magazine, Avril 2005.

NF P01-010. Qualité environnementale des produits de construction-déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction.

SITE DE LA CHANVRIERE DE L'AUBE. (page consultée le 8 mai 2004). Adresse URL : <http://www.chanvre.com>.

SORGHAL asbl. « La culture du chanvre ».

WERNER F., ALTHAUS H-J., KÜNNIGER T., RICHTER K., JUNGBLUTH N. – 2003 - Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material - Ecoinvent report No. 9 – Dübendorf, December 2003.

ANNEXES

Annexes

QUESTIONNAIRE ACV	I
TABLEAUX D’EVALUATION DE L’IMPACT ETAPE PAR ETAPE	V

Questionnaire ACV

Itinéraire technique du chanvre

Préparation du sol

Labour

	Minimum	Maximum	Moyenne
Puissance du tracteur utilisé (KWh ou CV)			
Matériel agricole utilisé			
Temps de travail (h/ha)			

Reprise de printemps

	Minimum	Maximum	Moyenne
Puissance du tracteur utilisé (KWh ou CV)			
Matériel agricole utilisé			
Temps de travail (h/ha)			

Fertilisation N, P, K

	Minimum	Maximum	Moyenne
Intrants			
Puissance du tracteur utilisé (KWh ou CV)			
Matériel agricole utilisé			
Temps de travail (h/ha)			
N	Dose (kg/ha)		
	Fertilisant (urée ou ammonitrate)		
Dose de P (kg/ha)			
Dose de K (kg/ha)			
Sortants			
Air Ammoniaque (NH ₃) (g/ha)			
Air Oxyde nitreux (N ₂ O) (g/ha)			
Eau Nitrate (NO ₃ ⁻) (g/ha)			
Eau Phosphate (PO ₄ ³⁻) (g/ha)			

Semis

	Minimum	Maximum	Moyenne
Puissance du tracteur utilisé (KWh ou CV)			
Matériel agricole utilisé			
Temps de travail (h/ha)			
Quantité de semences utilisées (kg/ha)			

Récolte : cas des cultures non battues

Fauchage

	Minimum	Maximum	Moyenne
Puissance du tracteur utilisé (KWh ou CV)			
Matériel agricole utilisé			
Temps de travail (h/ha)			

Fanage

	Minimum	Maximum	Moyenne
Puissance du tracteur utilisé (KWh ou CV)			
Matériel agricole utilisé			
Temps de travail (h/ha)			

Mise en balle

	Minimum	Maximum	Moyenne
Mise en balle			
Puissance du tracteur utilisé (KWh ou CV)			
Matériel agricole utilisé			
Temps de travail (h/ha)			
Pressage			
Puissance du tracteur utilisé (KWh ou CV)			
Matériel agricole utilisé			
Temps de travail (h/ha)			

Transport vers la ferme

	Minimum	Maximum	Moyenne
Puissance du tracteur utilisé (KWh ou CV)			
Matériel agricole utilisé			
Temps de travail (h/ha)			
Capacité de transport	potentielle (t)		
	réelle (t)		

Stockage à la ferme

		Minimum	Maximum	Moyenne
Balle de chanvre	Masse de balles de chanvre potentiellement stockable (t)			

Produit obtenu

		Minimum	Maximum	Moyenne
Balle de chanvre	Rendement potentiel (t/ha)			
	Résidus de culture (t/ha)			

Transformation primaire du chanvre

Caractéristiques des produits obtenus et utilisés

		Minimum	Maximum	Moyenne
Balle de chanvre	Diamètre (cm)			
	Largeur (cm)			
	Masse (kg)			
	Prix (euro/t)			
Chènevotte	Quantité produite par tonne de balle de chanvre (kg/t)			
	Quantité produite par an (t)			
	Densité (t/m ³)			
	Prix (euro/t)			
Balle de fibres	Quantité produite par tonne de balle de chanvre (kg/t)			
	Quantité produite par an (t)			
	Diamètre (cm)			
	Largeur (cm)			
	Masse (kg)			
	Prix (euro/t)			
Poussière	Quantité produite par tonne de balle de chanvre (kg/t)			
	Quantité produite par an (t)			
	Densité (t/m ³)			
	Prix (euro/t)			

Transport

			Minimum	Maximum	Moyenne
Balle de chanvre	Capacité du camion	potentielle (t)			
		réelle (t)			
	Distance parcourue (km)				
Chènevotte	Capacité du camion	potentielle (t)			
		réelle (t)			
	Distance parcourue (km)				
Balle de fibres	Capacité du camion	potentielle (t)			
		réelle (t)			
	Distance parcourue (km)				
Poussière	Capacité du camion	potentielle (t)			
		réelle (t)			
	Distance parcourue (km)				

Stockage

		Minimum	Maximum	Moyenne
Balle de chanvre	Masse de balles de chanvre potentiellement stockable (t)			
Balle de fibres	Masse de balles de fibre potentiellement stockable (t)			
Chènevotte	Masse de chènevotte potentiellement stockable (t)			
Poussière	Masse de poussière potentiellement stockable (t)			

Process

		Minimum	Maximum	Moyenne
Chanvre	Quantité de chanvre transformé par an (nombre de balles/an)			
Electricité	Quantité d'électricité utilisée (KWh/an)			
Gazole	Quantité de gazole utilisé (L/an)			
Gaz	Type de gaz			
	Quantité de gaz utilisé (L/an)			
Déchets	Quantité de déchets extraits des balles de chanvre (kg/an)			
Autres				

Tableaux d'évaluation de l'impact étapes par étapes

Tableau 22 : Impacts environnementaux potentiels liés à la production de paille de chanvre

Impacts	Travail du sol	Fertilisation	Semis	Récolte	Transport ferme	Stockage à la ferme	Transport transfo primaire	Transfo. primaire	Total
Epuisement des ressources (kg Sb eq)	$4,0.10^{-5}$	$5,6.10^{-4}$	$2,0.10^{-5}$	$8,0.10^{-5}$	$3,2.10^{-5}$	$6,4.10^{-5}$	$7,7.10^{-5}$	$3,4.10^{-5}$	$9,0.10^{-4}$
Acidification atmosphérique (kg SO ₂ eq)	$2,4.10^{-5}$	$1,4.10^{-3}$	$1,0.10^{-5}$	$5,0.10^{-5}$	$1,9.10^{-5}$	$4,9.10^{-5}$	$1,5.10^{-5}$	$1,3.10^{-5}$	$1,6.10^{-3}$
Effet de serre à 100 ans <i>dont stockage paille (kg CO₂ eq)</i>	$6,9.10^{-3}$ <i>0</i>	0,2 <i>0</i>	$2,6.10^{-3}$ <i>0</i>	-1,7 <i>-1,7</i>	$5,6.10^{-3}$ <i>0</i>	$1,5.10^{-2}$ <i>0</i>	$1,9.10^{-3}$ <i>0</i>	$1,7.10^{-3}$ <i>0</i>	-1,5 <i>-1,7</i>
Couche d'ozone (kg CFC-11 eq)	0	0	0	0	0	0	$1,6.10^{-8}$	$6,4.10^{-9}$	$2,0.10^{-8}$
Ozone photochimique (kg C ₂ H ₄ eq)	$5,3.10^{-7}$	$1,7.10^{-5}$	$1,9.10^{-7}$	$1,0.10^{-6}$	$4,0.10^{-7}$	$2,3.10^{-6}$	$1,1.10^{-6}$	$6,8.10^{-7}$	$2,0.10^{-5}$
Energie non renouvelable (MJ)	$8,8.10^{-2}$	0,9	$3,3.10^{-2}$	$1,7.10^{-1}$	$7,1.10^{-2}$	0,1	0,2	$7,0.10^{-2}$	1,7
Production de déchets (kg)	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2
Pollution de l'air (m ³)	0,3	19,1	0,1	0,5	0,2	1	0,4	0,2	21,7
Pollution de l'eau (m ³)	0	0,1	0	0	0	0	$3,3.10^{-4}$	$6,4.10^{-4}$	0,1

Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

Tableau 23 : Impacts environnementaux potentiels liés à la production de fibres de chanvre

Impacts	Travail du sol	Fertilisation	Semis	Récolte	Transport vers la ferme	Stockage à la ferme	Transport transfo primaire	Transfo. primaire	Total
Allocation massive									
Epaissement des ressources (kg Sb eq)	4,6.10 ⁻⁵	6,4.10 ⁻⁴	2,0.10 ⁻⁵	9,0.10 ⁻⁵	3,7.10 ⁻⁵	7,3.10 ⁻⁵	8,8.10 ⁻⁵	3,9.10 ⁻⁵	1,0.10 ⁻³
Acidification atmosphérique (kg SO ₂ eq)	2,7.10 ⁻⁵	1,7.10 ⁻³	1,0.10 ⁻⁵	5,0.10 ⁻⁵	2,2.10 ⁻⁵	5,7.10 ⁻⁵	1,7.10 ⁻⁵	1,5.10 ⁻⁵	1,9.10 ⁻³
Effet de serre à 100 ans (kg CO ₂ eq) <i>dont stockage fibre (kg CO₂ eq)</i>	7,9.10 ⁻³ 0	0,2 0	3,0.10 ⁻³ 0	-1,9 -1,9	6,4.10 ⁻³ 0	1,8.10 ⁻² 0	2,2.10 ⁻³ 0	2,0.10 ⁻³ 0	-1,7 -1,9
Couche d'ozone (kg CFC-11 eq)	0	0	0	0	0	0	1,9.10 ⁻⁸	7,3.10 ⁻⁹	3,0.10 ⁻⁸
Ozone photochimique (kg C ₂ H ₄ eq)	6,0.10 ⁻⁷	1,9.10 ⁻⁵	2,0.10 ⁻⁷	1,0.10 ⁻⁶	4,9.10 ⁻⁷	2,6.10 ⁻⁶	1,3.10 ⁻⁶	7,7.10 ⁻⁷	3,0.10 ⁻⁵
Energie non renouvelable (MJ)	0,1	1,0	3,8.10 ⁻²	0,2	8,1.10 ⁻²	0,1	0,2	0,2	1,9
Production de déchets (kg)	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2
Pollution de l'air (m ³)	0,3	21,8	0,1	0,6	0,3	1,1	0,4	0,2	24,9
Pollution de l'eau (m ³)	0	0,2	0	0	0	0	3,8.10 ⁻⁴	7,3.10 ⁻⁴	0,2
Allocation économique									
Epaissement des ressources (kg Sb eq)	7,7.10 ⁻⁵	1,1.10 ⁻³	3,0.10 ⁻⁵	1,5.10 ⁻⁴	6,3.10 ⁻⁵	1,2.10 ⁻⁴	1,5.10 ⁻⁴	6,7.10 ⁻⁵	1,7.10 ⁻³
Acidification atmosphérique (kg SO ₂ eq)	4,6.10 ⁻⁵	2,8.10 ⁻³	2,0.10 ⁻⁵	9,0.10 ⁻⁵	3,8.10 ⁻⁵	9,6.10 ⁻⁵	2,9.10 ⁻⁵	2,5.10 ⁻⁵	3,2.10 ⁻³
Effet de serre à 100 ans (kg CO ₂ eq) <i>dont stockage fibre (kg CO₂ eq)</i>	1,3.10 ⁻² 0	0,3 0	5,0.10 ⁻³ 0	-3,2 -3,3	3,0.10 ⁻² 0	1,1.10 ⁻² 0	3,8.10 ⁻³ 0	3,4.10 ⁻³ 0	-2,9 -3,3
Couche d'ozone (kg CFC-11 eq)	0	0	0	0	0	0	3,2.10 ⁻⁸	1,2.10 ⁻⁸	4,0.10 ⁻⁸
Ozone photochimique (kg C ₂ H ₄ eq)	1,0.10 ⁻⁶	3,2.10 ⁻⁵	4,0.10 ⁻⁷	2,0.10 ⁻⁶	8,4.10 ⁻⁷	4,5.10 ⁻⁶	2,1.10 ⁻⁶	1,3.10 ⁻⁶	4,0.10 ⁻⁵
Energie non renouvelable (MJ)	0,2	1,7	6,4.10 ⁻²	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3	3,3
Production de déchets (kg)	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,4
Pollution de l'air (m ³)	0,5	37,1	0,2	1,0	0,4	1,9	0,7	0,3	42,2
Pollution de l'eau (m ³)	0	0,3	0	0	0	0	6,5.10 ⁻⁴	1,2.10 ⁻³	0,3

Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

Tableau 24 : Impacts environnementaux potentiels liés à la production de chènevotte

Impacts	Travail du sol	Fertilisation	Semis	Récolte	Transport vers la ferme	Stockage à la ferme	Transport transfo primaire	Transfo. primaire	Total
Allocation massique									
Epuisement des ressources (kg Sb eq)	5,0.10 ⁻⁵	7,0.10 ⁻⁴	2,0.10 ⁻⁵	1,0.10 ⁻⁴	4,0.10 ⁻⁵	7,9.10 ⁻⁵	9,7.10 ⁻⁵	4,3.10 ⁻⁵	1,1.10 ⁻³
Acidification atmosphérique (kg SO ₂ eq)	3,0.10 ⁻⁵	1,8.10 ⁻³	1,0.10 ⁻⁵	6,0.10 ⁻⁵	2,4.10 ⁻⁵	6,2.10 ⁻⁵	1,9.10 ⁻⁵	1,6.10 ⁻⁵	2,0.10 ⁻³
Effet de serre à 100 ans (kg CO ₂ eq) <i>dont stockage fibre (kg CO₂ eq)</i>	8,7.10 ⁻³ 0	0,2 0	3,2.10 ⁻³ 0	-2,1 -2,1	7,0.10 ⁻³ 0	1,9.10 ⁻² 0	2,4.10 ⁻³ 0	2,2.10 ⁻³ 0	-1,9 -2,1
Couche d'ozone (kg CFC-11 eq)	0	0	0	0	0	0	2,1.10 ⁻⁸	8,0.10 ⁻⁹	3,0.10 ⁻⁸
Ozone photochimique (kg C ₂ H ₄ eq)	7,0.10 ⁻⁷	2,1.10 ⁻⁵	2,0.10 ⁻⁷	1,0.10 ⁻⁶	5,4.10 ⁻⁷	2,9.10 ⁻⁶	1,4.10 ⁻⁶	8,5.10 ⁻⁷	3,0.10 ⁻⁵
Energie non renouvelable (MJ)	0,1	1,1	4,1.10 ⁻²	0,2	8,9.10 ⁻²	0,1	0,2	0,2	2,1
Production de déchets (kg)	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2
Pollution de l'air (m ³)	0,3	23,9	0,1	0,7	0,3	1,2	0,5	0,2	27,2
Pollution de l'eau (m ³)	0	0,2	0	0	0	0	4,2.10 ⁻⁴	8,0.10 ⁻⁴	0,2
Allocation économique									
Epuisement des ressources (kg Sb eq)	2,7.10 ⁻⁵	3,7.10 ⁻⁴	1,0.10 ⁻⁵	5,0.10 ⁻⁵	2,1.10 ⁻⁵	4,2.10 ⁻⁵	5,2.10 ⁻⁵	2,3.10 ⁻⁵	6,0.10 ⁻⁴
Acidification atmosphérique (kg SO ₂ eq)	1,6.10 ⁻⁵	9,7.10 ⁻⁴	6,0.10 ⁻⁶	3,0.10 ⁻⁵	1,3.10 ⁻⁵	3,3.10 ⁻⁵	1,0.10 ⁻⁵	8,6.10 ⁻⁶	1,1.10 ⁻³
Effet de serre (kg CO ₂ eq) <i>dont stockage fibre (kg CO₂ eq)</i>	4,6.10 ⁻³ 0	0,1 0	1,7.10 ⁻³ 0	-1,1 -1,1	3,8.10 ⁻³ 0	1,0.10 ⁻² 0	1,3.10 ⁻³ 0	1,2.10 ⁻³ 0	-1,0 -1,1
Couche d'ozone (kg CFC-11 eq)	0	0	0	0	0	0	1,1.10 ⁻⁸	4,3.10 ⁻⁹	1,0.10 ⁻⁸
Ozone photochimique (kg C ₂ H ₄ eq)	4,0.10 ⁻⁷	1,1.10 ⁻⁵	1,0.10 ⁻⁷	7,0.10 ⁻⁷	2,9.10 ⁻⁷	1,5.10 ⁻⁶	7,0.10 ⁻⁷	4,5.10 ⁻⁷	1,0.10 ⁻⁵
Energie non renouvelable (MJ)	5,8.10 ⁻²	0,6	2,2.10 ⁻²	0,1	4,7.10 ⁻²	7,2.10 ⁻²	0,1	4,6.10 ⁻²	1,1
Production de déchets (kg)	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1
Pollution de l'air (m ³)	0,2	12,7	6,9.10 ⁻²	0,4	0,2	0,6	0,2	0,1	14,5
Pollution de l'eau (m ³)	0	9,2.10 ⁻²	0	0	0	0	2,2.10 ⁻⁴	4,2.10 ⁻⁴	0,1

Source : FNPC, LCDA, PDM Industrie, Eurochanvre, INRA

Synthèse réalisée par Ecobilan des rapports de revue rédigés par :

- *Henri Lecouls, expert en ACV,*
- *Dr. Nemecek, expert en ACV et en agriculture, de l'Agroscope FAL Reckenholz,*
- *Jacques Verhulst, expert ACV et en plasturgie,*
- *Xavier Lascaux, expert en ACV et dans le domaine du béton,*
- *Philippe Osset et Estelle Vial, experts en ACV.*

Le référentiel par rapport auquel l'étude a été comparée est l'ensemble des normes ISO 14040, 14041, 14042 et 14043 en vigueur. Les questions du panel de revue visaient à rendre le rapport le plus proche possible des attentes de ces normes.

Processus de revue

Le panel de revue a disposé des éléments nécessaires pour réaliser son travail. Les commentaires ont été remis fin janvier 2006, regroupés en quelques 90 remarques détaillées.

Le rapport dit « final » de juin 2006, duquel ont été retirées les comparaisons, n'a pris en compte aucun autre commentaire de la revue critique, alors qu'aucune réponse n'a été apportée à ces commentaires. Ce mode de travail est très rarement observé lors des revues critiques, et n'est pas recommandable, surtout lorsqu'on se réfère à la série de normes ISO 14040.

Le panel regrette donc que son travail n'ait pas servi à améliorer l'étude, le fait de supprimer les comparaisons n'étant pas suffisant pour rendre le rapport en accord avec les attentes du panel de revue.

En conséquence, le panel recommande de joindre au rapport final le présent document (comme prévu par la norme ISO 14040), ainsi que les questions détaillées, afin que le lecteur du rapport puisse être averti de l'ensemble des points qui peuvent être améliorés dans le rapport – puisqu'ils ne l'ont pas été.

Commentaires synthétiques

Les commentaires suivants tiennent compte d'un retrait effectif des pages de comparaison du rapport et de ses annexes.

L'ensemble des membres de la revue critique considère d'abord que la partie agronomique de l'étude a été réalisée de manière rigoureuse. En effet, la partie agronomique est particulièrement soignée avec une très bonne représentativité des données sur la culture et la transformation primaire du chanvre en France. Les analyses de sensibilité réalisées telles que les types d'allocation et les doses d'azote utilisées sont très bien choisies. La partie agronomique peut constituer à elle seule un excellent rapport d'ACV sur la production de chènevotte et de fibres.

Les parties consacrées aux compounds thermoplastiques et au mur béton chanvre banché sur ossature bois seraient également de bonne qualité si les commentaires que ces chapitres ont suscités dans la revue critique avaient été plus complètement pris en compte : les unités fonctionnelles retenues n'indiquent ni les propriétés ni les performances des matériaux. En ce qui concerne le mur béton chanvre banché, les pertes à la mise en œuvre ne sont pas étudiées, ni la maintenance pendant les 100 ans de durée de vie indiquée.

La suggestion du panel de revue critique serait de publier un rapport relatif à l'écoprofil du mur en béton chanvre et de réaliser une fiche de déclaration environnementale et sanitaire au format NF P01-010 sur ce mur.

Pour l'ensemble de l'étude, certains éléments indispensables à un rapport d'ACV devraient être rajoutés : un tableau récapitulant l'ensemble des sources secondaires utilisées (notamment pour vérifier l'homogénéité des données utilisées ce qui n'a pas pu être fait jusqu'à présent) ainsi que les données d'inventaire et les calculs d'impact réalisés pour chacun des scénarios de référence au minimum.

Les données sur le polypropylène utilisées sont les données les plus récentes publiées par Ecoinvent mais reprennent des données assez anciennes de PlasticsEurope (anciennement APME). Ces données ont été mises à jour depuis et il serait préférable de les utiliser.

Enfin, le choix des indicateurs d'impact devrait être justifié à des fins de transparence. Un indicateur devrait être ajouté : l'eutrophisation, et un indicateur supprimé : la destruction de la couche d'ozone.

Commentaires détaillés

Voir pages suivantes.

Commentaires généraux

Rubrique	Résumé	Détail des commentaires	Nature du commentaire
Champ et objectifs de l'étude			
Organisation du rapport	Refonte du rapport en trois rapports distincts	Tous les chapitres de l'étude sont subdivisés en trois parties : agronomie, thermoplastique, bâtiment. Cette présentation rend la lecture difficile parcequ'on perd vite le suivi d'un produit. Il vaudrait mieux traiter chaque produit séparément et complètement avant de passer à un autre : les lecteurs plasturgistes ne s'intéressent pas forcément au mur, et réciproquement. Par ailleurs la partie agronomie, qui est particulièrement bien étudiée et dont les usages ne sont pas forcément limités au compound et au mur, devrait être mise plus en évidence. On pourrait même proposer trois études distinctes.	2
Public concerné/ applications envisagées	Mentionner le public concerné	Dans l'objectif de l'étude, la norme recommande d'indiquer « le public concerné, c'est-à-dire les personnes auxquelles il est envisagé de communiquer les résultats de l'étude » (ISO 14040, 5.1.1). Ce point est à préciser dans l'étude.	1
Analyse de l'inventaire de cycle de vie			
Données	Représentativité	Un pourcentage de la représentativité des données concernant la culture et la transformation primaire pourrait être ajouté afin de montrer la très bonne représentativité des données collectées	3
Source de la documentation publiée	Faire un tableau récapitulatif des modules employés avec leur source.	Provenance des données: production de la chaux, production du PP, production du bois, production des liants hydrauliques, production de l'électricité, origine de l'électricité,	1
Source de la documentation publiée	idem	La description des inventaires utilisés n'est pas suffisamment détaillée et transparente. Un jugement de la qualité des données n'est donc pas possible sans réserve. La Fig. 2 cite les intrants tracteurs, outils agricoles et fertilisants, dont je ne peux pas trouver de référence. Proviennent-ils de ecoinvent ? Ou de BioFit ? Ou encore ? Il y a quelques indications dans le rapport, mais ce n'est pas de façon systématique.	1
Source de la documentation	idem	) Les inventaires utilisés pour le calcul ne sont pas clairement documentés. Frischknecht et al. (1996) est mentionné aux pages 15 et 16, ce qui correspond à la vieille base de données ESU96. Le rapport mentionne également Kellenberger et al. (2002) et Hirschier (2002), ce qui correspond à la nouvelle base de données ecoinvent 1.x. L'année de ces deux rapports devrait être 2003 (à corriger dans le rapport et la Bibliographie). Si les auteurs disposaient déjà de la base de données ecoinvent 1.01 (ou bien 1.1) à travers SimaPro, pourquoi le rapport fait référence à Frischknecht et al. (1996) ? Est-ce que c'est en effet Frischknecht et al. (2003) ? Action : vérifier et corriger les citations.	2
Source de la documentation publiée	idem	Le Chap. 3.2.2.1.1 explique bien comment les heures de tracteur ont été calculées. Par contre il manque la description comment l'utilisation des ressources et les émissions ont été calculées à partir d'une heure de tracteur. Le rapport donne uniquement la valeur de 21.2 kg CO ₂ / heure de tracteur, mais il y a bien d'autres émissions (CO, HC, NO _x , etc.), ainsi que la consommation du diesel, l'usage des machines, etc.	2
Critères de coupure pour l'omission d'entrants et de sortants	Indiquer et justifier la règle de coupure utilisée	La règle de coupure respectée n'est pas explicitement donnée: il y a une allusion aux 2% de la norme NF P01E mais il n'est pas dit si ce pourcentage est respecté en cumulé	2
Evaluation de l'impact du cycle de vie			
Choix des indicateurs, justification	Supprimer l'impact sur la couche d'ozone (ou ajouter systématiquement de fortes limitations) au vu de l'hétérogénéité des données utilisées, ajouter l'impact d'eutrophisation et éventuellement des impacts d'écotoxicité, mettre des limitations sur l'indicateur de production de déchets (hétérogénéité des données)	Le choix des catégories d'impact doit être justifié selon la norme ISO14042, 5.3.2. La simple référence à la norme NF P01-010 est insuffisante, vue qu'elle a été définie pour des produits de construction. Cette norme n'est donc pas applicable aux produits d'une origine agricole. Il faut faire un raisonnement pour l'inclusion et l'exclusion de certaines catégories. La méthode CML01 quantifie 18 catégories, donc bien plus que ce qui est cité dans le rapport. Un choix a donc été fait qui doit être justifié.	1

Commentaires généraux

Rubrique	Résumé	Détail des commentaires	Nature du commentaire
Choix des indicateurs, justification	idem	Pour l'étude de la production agricole, l'inclusion de la catégorie eutrophisation est indispensable. Les raisons sont les suivantes : - o L'eutrophisation est une catégorie qui fait partie du standard d'un bilan écologique agricole. On la trouve dans quasiment toutes les applications agricoles des dernières années. - o Les émissions de NH₃, N₂O, NO₃ et PO₄ sont calculées. Elles contribuent d'une façon dominante à l'eutrophisation. - o L'eutrophisation est typiquement dominée par la phase agricole. On peut faire l'hypothèse que les produits sur base de chanvre sont moins favorables pour cette catégorie que les produits standards. La non-considération de cette catégorie représente donc un défaut majeur de l'étude. Les conclusions tirées ne sont donc pas possibles sans réserve. - o Le rapport montre l'importance de la fertilisation. Les auteurs ont aussi décidé de faire une analyse de sensibilité pour la dose d'azote (Fig. 16). La conséquence logique est donc d'inclure l'eutrophisation. - o La méthode du volume critique ne peut pas remplacer l'eutrophisation, car elle considère un mélange de différents impacts, comme écrit dans le rapport.	1
Choix des indicateurs, justification	idem	Le fait que l'arrêté du 2 fév. 98 ne tienne pas compte des produits phytosanitaires empêche de mettre en évidence un atout environnemental de la culture de chanvre. Cet inconvénient peut être contourné en créant une catégorie d'impact spécifique, par exemple « toxicité phytosanitaires » exprimée en m³ d'air par UF, qui serait la somme des produits de la masse de chaque substance appliquée, en mg par UF, multipliée par l'inverse de la Valeur Limite d'Exposition, en m³ d'air par mg. Cette catégorie d'impact spécifique n'a pas d'intérêt pour l'étude actuelle, mais elle peut en avoir si les producteurs de chanvre craignent d'être mis en concurrence avec des cultures qui consomment des phytosanitaires.	3
	idem	Suite à la remarque de Monsieur Lecouls sur les phytosanitaires, l'utilisation des indicateurs CML sur l'écotoxicité et la toxicité pourraient être ici judicieuse étant donné que ces indicateurs ont été précisément développés pour tenir compte des produits phytosanitaires. La culture du chanvre aurait alors un faible score pour ces indicateurs d'impact.	3
Choix des indicateurs, justification	idem	Le choix des catégories d'impact de la NF P01-010 est un bon choix. Il faut cependant expliquer, dès la page 28, pourquoi la consommation d'eau est exclue de ce choix, car l'irrigation de certaines cultures est une question préoccupante. En fait, la culture du chanvre semble n'avoir pas besoin d'irrigation, mais pourquoi attendre la page 56 pour présenter cet avantage du chanvre ? Sept catégories sont présentées comme relevant de la méthode CML. En fait, dans la norme NF P01-010 on a simplifié la méthode CML, afin de faciliter son application dans le cadre de la norme. Il faut donc préciser si les facteurs de caractérisation sont ceux de la norme ou ceux de CML (par exemple pour la formation d'ozone photochimique) De plus, certaines catégories d'impact sont des flux d'inventaire non modifiés, par exemple la production de déchets.	2
Choix des indicateurs, justification	idem	Cet impact est attribué à des émissions de CFC (page 37), substances dont l'usage est interdit en Europe de puis longtemps. Il n'est pas normal que des émissions de CFC figurent encore dans la base de données Frischknecht 1996. Alors qu'elles ne figurent pas – à juste titre – dans une autre base (Calzoni 2000). Ce biais enlève toute crédibilité aux interprétations qui sont faites de cette catégorie d'impact. Par exemple, la phrase « le transport est le premier poste destructeur de la couche d'ozone » (page 58) est de nature à induire en erreur parce qu'elle ne correspond à aucune réalité. Proposition : il serait plus conforme à la réalité d'attribuer une valeur nulle à cet impact en expliquant que les émissions de CFC sont nulles au cours des opérations décrites et dans les régions considérées.	2
Choix des indicateurs, justification	idem	Page 30. Le choix des indicateurs inclut la production de déchets. Or, les données Ecoinvent ne contiennent pas les déchets en kg mais en m³. La conversion a-t-elle été faite ?	2
Choix des indicateurs, justification	Indicateur d'énergie totale ajouté à l'énergie non renouvelable	Evaluation de l'impact, §41. L'indicateur de consommation d'énergie primaire totale pourrait venir compléter l'indicateur d'énergie non renouvelable, en particulier dans une perspective du développement des énergies renouvelables et pour être conforme à la norme NF P01-010, comme cela est écrit en entête du §41 du Rapport Chanvre	3
Forme/détail			
		p. 19 : PO ₄ ²⁻ → PO ₄ ³⁻	3
		« Ammoniaque ou Ammoniac »: NH ₃ est cité plusieurs fois comme « ammoniaque » au lieu « d'ammoniac ». Ammoniaque est par contre correcte pour l'engrais azoté.	3
		p. 20 : les unités dans l'équation pour la consommation du diesel sont incorrectes. On devrait avoir « kg » et non « kg/l * km * t », comme dans le rapport.	3
		Comme dans le titre, les termes comportant l'expression « cycle de vie » : « arbre du cycle de vie », « interprétation du cycle de vie » ne doivent pas être utilisés quand il s'agit de l'étape de production seule, c'est-à-dire pour la production de fibre et de chènevotte, et pour la production de compound.	3

Rubrique	Résumé	Détail des commentaires	Nature du commentaire
Champ et objectifs de l'étude			
Unité fonctionnelle		Pas d'unité fonctionnelle mais un flux de référence (erreur de vocabulaire), page 7	2
Omissions d'étapes du cycle de vie		Page 7. Il est dit "des scénarii de production intégrant ce processus ont montré qu'il intervient peu sur les impacts environnementaux". Ces scénarii ont ils été étudiés dans la présente étude ou s'agit-il d'autres études de l'INRA (source?)	3
Omissions d'étapes du cycle de vie		Transformation primaire / utilisation des machines et sites de stockage (p. 8) : l'argument de ne pas considérer l'infrastructure parce que les données ne sont pas disponibles est peu pertinent. Ces données auraient pu être au moins estimées. Dans la base de données ecoinvent – utilisée dans l'étude – existent des modules pour estimer les impacts. On peut cependant faire l'hypothèse que l'infrastructure n'a pas une grande influence sur les résultats et qu'elle pourrait être négligée. On pourra modifier l'argumentation p.ex. en faisant une estimation grossière.	3
Analyse de l'inventaire de cycle de vie			
Données		Quelle est l'électricité utilisée pour la transformation primaire?	3
Données		Quantité de nitrates lessivée (30 kg/an). Est-ce NO3 ou N? Si c'est N cela fait une faible quantité.	2
Données		Calcul des émissions directes: ok pour les 4 émissions citées, compte tenu des buts de l'étude. On se demande, si on ne devrait pas inclure les apports de métaux lourds qui sont aussi cités dans Calzoni et al. (2000). On attend au moins des arguments pour ne pas inclure les métaux lourds.	2
Données		Ajouter dans le glossaire la définition de « l'unité d'azote » (§61, dernière ligne).	3
Données		Dans le fichier Excel, il est dit que 50% des poussières sont valorisées alors que p 8 du rapport il est dit que la poussière était comptabilisée comme déchet	3
Données		p. 21, Tab. 8 : la somme des sortants est 1.02 (pour 1 kg de paille). La différence de 0.02 kg doit être expliquée.	3
Modes de calcul		Il y a un souci dans les inventaires fournis par l'INRA au niveau des unités pour le carbon dioxide, le carbon dioxide biogenic et le carbon dioxide fossil, notamment par rapport aux unités. La bonne valeur est, je suppose, la valeur "carbon dioxide".	2
Principes et règles d'affectation		Allocation économique (p. 8) : La formule semble être incorrecte. La formule devrait être : $Cec = (PrixC * Mc) / (PrixC * Mc + PrixF * Mf)$ et $Cef = (PrixF * Mf) / (PrixC * Mc + PrixF * Mf)$ ou $PrixC = \text{prix pour 1 kg de chènevotte}$ et $PrixF = \text{prix pour 1 kg de fibres}$. Le rapport mentionne alpha comme « part de la valeur d'une tonne de paille liée à la chène-votte ». Si c'est le cas, on peut mettre directement $Cec = \alpha$. Action : La formule dans le rapport et/ou le calcul doit être corrigé.	2
Principes et règles d'affectation		· Les formules d'allocation à la p.15 contiennent un erreur d'unités. Exemple : $Qsc = Cmc [\%/100] * Qsp [g/kg] / Mc [kg/t]$ à l'unité résultante pour Qsc est donc : $g/kg * t/kg = g/kg * 1000 = 1$ (ou g/g ou kg/kg), et non g/kg comme cité dans le rapport.	2
Evaluation de l'impact du cycle de vie			
Modes opératoires, calculs et résultats		Il est maladroit d'écrire que les résultats sont défavorables (voir page 30) si la production a un impact sur l'environnement (toute activité a un impact sur l'environnement).	3
Interprétation			
résultats (analyse par étape, contribution)		page 37, donner la répartition entre contribution du N2O et contribution du CO2. Les chiffres cités: "la production d'azote dégage 6.5 kg de CO2 par kg produit" ne permettent pas de reconstituer le chiffre.	3
résultats (analyse par étape, contribution)		p 39. Donner les principaux polluants participant à l'impact de pollution de l'air. Il est dit que l'ammoniaque et le N2O y participent mais dans quelle proportion.	3
résultats (analyse par étape, contribution)		Même remarque pour la pollution de l'eau	3

Rubrique	Résumé	Détail des commentaires	Nature du commentaire
Champ et objectifs de l'étude			
Objectif et champ de l'étude	En l'état, la comparaison avec le compound fibre de verre et le compound entièrement en polypropylène devrait être supprimée. En effet la comparaison n'est pas relative à une unité fonctionnelle précise et ne porte que sur une partie du cycle de vie. Il faudrait veiller également à mieux définir et justifier les performances de chaque matériau au regard de l'unité fonctionnelle choisie.	Le rapport indique que l'objectif de l'étude est (§2.1) « ...pour diversifier ses débouchés....pouvoir communiquer sur l'intérêt de ces produits pour l'environnement ». Une communication visant des « affirmations comparatives communiquées au public (ISO 14042 §9), ne peut s'appliquer qu'à une ACV et non à un Ecoprofil sur une phase donnée d'un cycle de vie. Il n'y a donc pas cohérence entre l'objectif de l'étude et sa réalisation.	1
Objectif et champ de l'étude	idem	Le rapport ACV chanvre indique « analyse de cycle de vie de compounds thermoplastiques.... » Le §332 du rapport décrit un scénario de référence qui ne comprend que la partie matières premières et production. La norme ISO 14040 §412 indique que l'ACV prend en considération l'ensemble du cycle de vie d'un produit, de l'extraction et de l'acquisition de la matière première, à l'utilisation et aux traitements en fin de vie et l'élimination finale des déchets, en passant par la production d'énergie et de matière et la fabrication. Le rapport répond à « un écoprofil de la production de compound thermoplastiques » mais non à une ACV.	1
Objectif et champ de l'étude	idem	Seule la phase de production est prise en compte. Ceci pose un problème notamment par rapport à la prise en compte du prélèvement de CO2 biomasse lors de la croissance de la plante.	1
Objectif et champ de l'étude	idem	Par ailleurs, la partie bâtiment (page 58, §63), indique que le CO2 stocké dans les fractions organiques sera restitué à l'atmosphère. Comme la durée de vie d'une pièce (automobile par exemple) n'est pas du même ordre que les constituants du bâtiment (100 ans annoncés), ce point doit être pris en compte dans la partie « thermoplastique » de l'étude. Il en est de même pour mettre en évidence l'intérêt d'une filière de recyclage ou de valorisation qui assurerait une restitution du carbone stocké sous forme de CO2 et non pas de CH4.	2
Objectif et champ de l'étude	idem	Le scénario n'inclut pas les procédés de traitement final des déchets	1
Objectif et champ de l'étude	idem	Cette comparaison porte sur la seule étape de production des trois produits comparés, alors qu'il est indiqué page 9 que « les thermoplastiques chargés en fibres de chanvre sont recyclables contrairement à ceux chargés en fibres de verre ». Ce qui implique une différence sur la quantité de déchets en fin de vie : déchets valorisés dans un cas contre déchets éliminés dans l'autre cas. Il faudrait donc au minimum prendre en compte l'étape de fin de vie.	1
Objectif et champ de l'étude	idem	Le rapport ACV Chanvre propose une utilisation des deux constituants du chanvre (fibres et chènevotte) dans deux secteurs d'utilisation différents : thermoplastiques et bâtiment. Il n'y a pas de justification de l'équilibre d'utilisation entre ces deux constituants permettant une utilisation à 100% de ces deux composants pour ces deux secteurs tel qu'il est supposé dans le rapport ACV Chanvre. Il est donc suggéré d'identifier de façon séparée l'étude sur l'Ecoprofil de la production de la chènevotte et des fibres de chanvre, de celle de l'Ecoprofil de la production de compound thermoplastique avec fibre de chanvre. Une telle présentation pourra permettre, en choisissant une pièce spécifique avec une unité fonctionnelle définie (ISO 14040 §414), de réaliser l'ACV correspondante, par exemple dans le domaine automobile	2

Compound

Rubrique	Résumé	Détail des commentaires	Nature du commentaire
Objectif et champ de l'étude	idem	on ne peut pas employer le terme « analyse du cycle de vie » pour le compound thermoplastique chargé fibres de chanvre parce que la production seule est étudiée. Propositions pour le titre de l'étude sur le compound : Soit « écoprofil de la production de compound thermoplastique chargé fibres de chanvre » par analogie avec les publications des producteurs européens de matières plastiques. Soit utiliser la terminologie de la NF P01-010 « tableau des flux d'inventaire de la production de compound thermoplastique chargé fibres de chanvre », à condition d'intégrer les données d'inventaire dans le rapport.	1
Objectif et champ de l'étude	idem	Par ailleurs, les hypothèses retenues ne répondent pas aux exigences de transparence et de justifications (ISO 14042 §10) : - les phases de transport des matières premières ne sont pas identiques pour les 3 compounds proposés, - les évaluations des impacts de la phase de production pour les 3 compounds ne sont pas documentées, - pour des produits utilisant les 3 compounds, l'équivalence de leurs propriétés initiales, de leur durée de vie et du traitement des déchets de fin de vie ne sont pas documentés . Aussi, des affirmations comparatives destinées au public ne peuvent être faites à partir du rapport ACV Chanvre présenté.	1
Unité fonctionnelle	idem	Afin de communiquer sur l'intérêt des compounds thermoplastiques avec chanvre, il est proposé une comparaison avec des produits analogues. Une ACV est une approche relative, structurée autour d'une unité fonctionnelle (ISO 14040 §414). Le choix de 1 m3 de compound comme unité de comparaison, ne répond pas à la définition d'une unité fonctionnelle car elle ne permet pas de définir la quantification des fonctions identifiées (ISO 14040 §522)	1
Unité fonctionnelle	idem	L'unité fonctionnelle n'est pas définie, seul un flux de référence en masse est défini ne permettant pas la comparaison. Il faut absolument définir l'unité fonctionnelle comme étant "assurer une propriété mécanique équivalente ..." puis définir les deux flux de références pour le compound classique et le compound chanvre (voir également ci-dessous)	1
Unité fonctionnelle	idem	Le champ d'une analyse de cycle de vie doit clairement spécifier les fonctions du système étudié. Une unité fonctionnelle est la mesure de la performance des sortants fonctionnels du système de produits » (ISO 14040, 5.1.2.1). L'unité fonctionnelle choisie dans la comparaison : « un mètre cube de compounds » n'est pas clairement associée à une performance ni à une fonction. Remarque : une unité fonctionnelle pertinente pourrait être une pièce technique automobile assurant une fonction bien spécifiée (par exemple une garniture latérale assurant la protection du véhicule) . La prise en compte de la seule étape de production et le choix d'une unité fonctionnelle insuffisamment spécifiée n'autorisent pas la comparaison avec d'autres matériaux.	1
Définition du flux de référence/Résultats de la mesure de la performance	idem	Chap. 2.3.2.2 donne 1 kg comme unité fonctionnelle pour les matières thermoplastiques. La comparaison est cependant faite par m3. Cette contradiction est inacceptable. Si les matières sont comparables par volume (stabilité, etc. ?), on devrait changer l'unité fonctionnelle. La comparaison par m3 pénalise clairement le compound avec fibres de verre par rapport à une comparaison par kg.	1
Définition du flux de référence/Résultats de la mesure de la performance	idem	Pas de résultats de mesure de la performance: page 9 il est dit qu'un compound peut être chargé en fibre de chanvre et conserver les mêmes qualités sans préciser lesquelles ni si l'équivalence se fera en volume. Page 46, il est précisé que la comparaison se fera en volume mais sans justification. Il faudrait au minimum citer les chiffres sur les propriétés mécaniques issues des publications/ ADT Plasturgie.	1

Rubrique	Résumé	Détail des commentaires	Nature du commentaire
Commanditaires de l'étude/ comité de pilotage	idem	Le rapport ACV Chanvre a été réalisé en collaboration avec des instituts techniques et de recherche et avec des industriels clairement identifiés présentant ainsi toute transparence quant à l'origine des informations. Cependant si le groupe de pilotage de la partie agronomie §321 regroupe de nombreux experts, il n'en est pas de même pour les groupes de pilotage du produit bâtiment (3 membres) et du produit plasturgie (2 membres). Pour ces 2 groupes, il n'y a pas d'expert ACV nommément désigné. Par ailleurs, il n'est pas indiqué comment le comité de pilotage a coordonné les travaux de ces 3 groupes pour permettre un équilibre cohérent entre le contenu des différentes parties du rapport ACV Chanvre.	2
Objectif et champ de l'étude	Il serait souhaitable d'avoir une description plus équilibrée des différents systèmes comparés	Le rapport donne le détail des impacts pour l'application du chanvre. Par contre, seulement le total des impacts est donné pour les « produits standards » (le polypropylène, le compound avec fibres de verre et le mur parpaings). Ce serait souhaitable de donner plus d'information sur les différentes phases de ces scénarios.	2
Objectif et champ de l'étude	idem	Pour faciliter sa lecture, la description du scénario de référence pour le compound thermoplastique pourrait être présenté au travers d'un diagramme de flux décrivant l'ensemble des phases du scénario (comme celui du §342 de la partie bâtiment).	3
Objectif et champ de l'étude	représentativité des transports	Scénario de référence de la phase de transport des constituants (3322). Le seul centre de production du compound, considéré dans le rapport, est celui de l'AFT Plasturgie. Dans l'objectif de développement de la filière chanvre, et pour accroître la représentativité des données, il pourrait être défini un scénario de transport à partir d'un bassin industriel de cette filière.	3
Analyse de l'inventaire de cycle de vie			
Données		D'après le tableau 20 page 31 la production de déchets à l'extrusion –pelletisation est de 22 g par kg de compound. D'après le texte page 22 cette production est de 9 g par kg. Où est l'erreur ? Remarque : en général, les déchets de l'extrusion (démarrages, pièces loupées ...) sont recyclés sur le site même et n'apparaissent pas dans les inventaires au titre de déchets envoyés hors du site.	3
Données		Les données Ecoinvent sur le polypropylène correspondent à des données de 1992, il existe des données publiées en 2005 par l'APME. Ces données n'étaient sans doute pas disponibles lors de l'étude mais il existe des données 2003. Il serait judicieux de mettre à jour les données surtout si une comparaison est faite. Si la comparaison est supprimée, il faudrait mettre un avertissement au minimum.	1
Fin de vie		L'ACV Chanvre explique les intérêts d'une substitution des fibres de verre par des fibres de chanvre pour le compound thermoplastique renforcé. Cependant, l'intérêt de la recyclabilité des thermoplastiques chargés fibres de chanvre devrait être plus explicité.	3
Analyse de sensibilité		Dans la partie de l'interprétation du cycle de vie (§5), entre la partie thermoplastique et la partie bâtiment, les impacts sont présentés selon les deux allocations économique et massique. Pour faciliter leur lecture, il est suggéré une même présentation : par exemple allocation économique à droite et allocation massique à gauche, et non pas une fois l'un, une fois l'autre.	3
Analyse de sensibilité		Dans la partie agricole, l'allocation est faite d'une manière conséquente par masse et par valeur économique, ce qui représente un point fort de l'étude. On attendrait donc que la même procédure soit suivie pour la comparaison finale aux Fig. 27 et 39. La raison d'étudier différents types d'allocation est que le résultat des comparaisons et par conséquent les conclusions peuvent être fortement influencées par les choix faits. La justification donnée n'est que peu pertinente (« car aucune allocation économique n'a été effectuée pour les compounds ... »). Dans le rapport, il n'y a aucune allocation pour les compounds, l'argument n'est donc pas valable. En plus, on pourrait appliquer différents types d'allocation dans différents cas de la même étude. Dans la comparaison des compounds thermoplastiques (Fig. 27), le choix d'une allocation massique favorise le compound avec fibres de chanvre. Action recommandée : inclure les résultats de l'allocation économique dans la comparaison finale (p.ex. dans Fig. 27 et 39).	1

Rubrique	Résumé	Détail des commentaires	Nature du commentaire
Evaluation de l'impact du cycle de vie			
Modes opératoires, calculs et résultats		Il est maladroit d'écrire que les résultats sont défavorables (voir page 32) si la production a un impact sur l'environnement (toute activité a un impact sur l'environnement).	3
Choix des indicateurs, justification		L'indicateur de déchet devrait être supprimé pour cette partie de l'étude étant donné que les données Ecoinvent agrégées ne contiennent pas cette information (production du PP).	2
Interprétation			
résultats (analyse par étape, contribution)		page 35 La comparaison avec d'autres produits n'est pas une composante de l'interprétation mais une étude à part entière	1
résultats (analyse par étape, contribution)		page 42 Dans les données les plus récentes de l'APME (mars 2005), les émissions de SOx sont de 2.4 g par kg de PP (3.6 g/kg en dans la version APME 2003) et non 12.9 g/ kg de PP.	1
résultats (analyse par étape, contribution)		Page 42 Dans les données les plus récentes de l'APME (mars 2005), les émissions de CO2 sont de 1.1 kg par kg de PP (1.7 kg/kg pour les données 2003) et non 1.85 kg par kg de PP.	1
résultats (analyse par étape, contribution)		Page 43: il faudrait faire une remarque sur le fait que la production de PP qui consomme du pétrole et de l'électricité ne semble pas contribuer à la couche d'ozone ce qui peut paraître étrange. Ceci est lié au fait que l'électricité utilisée par le modèle Ecoinvent est en fait l'électricité modélisée par l'APME qui n'intègre pas autant d'émissions contribuant à la couche d'ozone.	1
résultats (analyse par étape, contribution)		Page 44 Ici également les données relatives au PP ne sont pas à jour sur les consommations de ressources énergétiques. De plus la principale ressource énergétique consommée est plutôt le pétrole.	1
résultats (analyse par étape, contribution)		Repréciser que les données Ecoinvent (PP) et Biofit (Engrais) ne contiennent pas d'information sur les déchets en masse. Pour les données Ecoinvent, il est nécessaire de rechercher les données non agrégées pour trouver les déchets en masse.	3

Bâtiment

Rubrique	Résumé	Détail des commentaires	Nature du commentaire
Champ et objectifs de l'étude			
Conformité norme	Afin de pouvoir se référer à la norme, il serait nécessaire de réaliser la fiche de déclaration environnementale et sanitaire pour le mur en béton chanvré	La norme P 01 010 est mentionnée à plusieurs reprises dans le rapport. Cette norme fait en effet référence en France pour la communication de données environnementales et sanitaires dans le secteur du bâtiment. A l'issue de la revue critique, objet de ce présent marché, afin de permettre aux produits à base de chanvre de se positionner sur le marché du bâtiment, il sera nécessaire de prévoir la rédaction de la déclaration environnementale et sanitaire, sous un format conforme à la norme mentionnée.	1
Conformité norme	Il ne paraît pas judicieux de rendre public une comparaison avec un autre type de mur car la norme recommande la comparaison entre bâtiments et non entre éléments.	La norme NF P01-010 n'interdit pas formellement d'utiliser les résultats pour faire des comparaisons, mais elle précise les points suivants dont j'ai souligné les termes essentiels : - Dans l'avant propos : « La présente norme...est destinée à aider les concepteurs qui, en plus de l'aptitude à l'usage des produits et matériaux, souhaitent prendre en compte des critères environnementaux et sanitaires dans leur choix ». - Dans le chapitre « Domaine d'application » : « Le présent document ... propose une méthodologie pour évaluer la contribution (des produits de construction) aux impacts environnementaux d'un ouvrage donné ». « La présente norme n'a pour objectif ni de donner des critères de choix ou de hiérarchisation (pondération) de l'information, ni de fournir une interprétation à priori de celle-ci, c'est-à-dire sans tenir compte du contexte dans lequel elle sera utilisée »	1
Conformité norme	Rendre publique une comparaison n'est pas dans l'esprit de la norme	Autrement dit, l'objet des FDES réalisées conformément à la norme n'est pas d'être comparées entre elles à l'échelle de l'unité fonctionnelle, mais d'« aider les concepteurs » à évaluer les impacts environnementaux « d'un ouvrage donné ». C'est-à-dire que la comparaison peut être faite dans le contexte d'un bâtiment en cours d'étude. Bien entendu, chacun peut se livrer en interne à des comparaisons à l'échelle de l'unité fonctionnelle, mais il me semble tout à fait contraire à l'esprit de la norme d'utiliser les FDES des concurrents dans la comparaison d'1 m2 de mur hors contexte, et de rendre publique cette comparaison. Si les FDES de la SNPA et du CERIB sont utilisées, à leur désavantage, dans une comparaison rendue publique non conforme à l'esprit de la norme, ces organismes professionnels ne manqueront pas de réagir, de contester cette comparaison et d'engager une polémique.	

Bâtiment

Rubrique	Résumé	Détail des commentaires	Nature du commentaire
Définition du flux de référence/Résultats de la mesure de la performance	Il serait nécessaire de mieux justifier la comparabilité des deux flux de référence choisis.	Aucun chiffre n'est fourni pour le flux de référence correspondant au mur en parpaing. Aucun chiffre prouvant la performance des deux murs étudiés n'est fourni. D'autre part, la résistance thermique d'un mur est définie par les matériaux constitutifs mais aussi par le bâtiment lui-même. Il est nécessaire de choisir un bâtiment type pour établir une équivalence entre deux types de murs d'un point de vue thermique.	1
Définition du flux de référence/Résultats de la mesure de la performance	idem	Le caractère comparable de l'unité fonctionnelle commune aux deux types de murs n'est pas suffisamment justifié : - Les mesures et les calculs de résistance thermique destinés à démontrer l'équivalence de la fonction isolante des deux murs ne sont pas documentés. La phrase : « les murs ont la même résistance thermique » (page 53) n'est pas une justification suffisante. - Les mesures et les calculs de résistance mécanique destinés à démontrer l'équivalence de la fonction de mur porteur des deux murs ne sont pas documentés non plus.	1
Définition du flux de référence/Résultats de la mesure de la performance	Existe-t-il des produits complémentaires qu'il faudrait rajouter au système béton chanvré	Coupe transversale du mur en béton chanvre sur ossature bois : n'y a-t-il que des éléments d'ossature verticaux ? la stabilité n'est-elle pas assurée par d'autres éléments de structure qu'il faudrait alors prendre en compte dans le flux de référence au prorata de leur proportion dans la construction ?	1
Définition du flux de référence/Résultats de la mesure de la performance	idem	Le produit constituant l'unité fonctionnelle étant élaboré in situ et du fait de son mode de mise en place par projection mécanique, ne faut-il pas tenir compte dans le flux de référence d'une freinte ? A quelle hauteur peut-on l'évaluer ? Si elle n'est pas négligeable, (> 2% ce qui ne paraît pas à écarter), il faut également prendre en compte l'élimination de ces « déchets » de fabrication.	2
Durée de vie	Il serait souhaitable de mieux justifier la durée de vie de 100 ans.	- A défaut d'un recul suffisant dans le temps et pour ne pas faire un frein à l'innovation, on peut accepter la DVT de 100 ans «au dire d'expert » (page 11). On peut néanmoins demander s'il ne faudrait pas envisager quelques opérations de maintenance sur cette longue période. L'auteur de la revue critique souhaite donc disposer d'une documentation plus complète pour donner un avis sur la validité de cette comparaison.	

Bâtiment

Rubrique	Résumé	Détail des commentaires	Nature du commentaire
Durée de vie	idem	Comme il est précisé dans le rapport d'analyse du cycle de vie, le béton de chanvre est un matériau récent. La DVT est un paramètre essentiel dans l'évaluation des impacts puisqu'elle joue le rôle de diviseur des dits impacts. Considérer sans autre forme de procès qu'on peut prendre la même DVT que des matériaux aussi éprouvés que la brique ou le béton cellulaire me paraît un peu rapide ! Il faudrait peut-être envisager des tests de vieillissement accéléré et des tests comparatifs avec les matériaux précités pour étayer davantage cette hypothèse, lourde de conséquences sur les résultats.	1
Durée de vie	idem	Il est dit qu'aucun traitement chimique n'est nécessaire sur l'ossature car elle est noyée dans la masse de béton chanvre : la perméabilité du béton chanvre permet-elle d'assurer une réelle protection du bois de l'ossature ? Cette remarque est à rapprocher de celle sur la durée de vie, annoncée de 100 ans !	2
Toute omission des fonctions supplémentaires dans les comparaisons	Il serait souhaitable de mentionner les fonctions non considérées dans l'unité fonctionnelle	Quand on compare les unités fonctionnelles pour les 2 murs en indiquant qu'il s'agit de la même, il faut néanmoins préciser : -la plus ou moins grande aptitude à « porter » (s'adresse-t-on aux mêmes types de bâtiment dans les 2 cas) - la performance en terme d'isolation acoustique (évoquée dans le cas du mur en blocs de béton)	2
Critères de coupure pour l'omission d'entrants et de sortants		Pour valider la non prise en compte des intrants pourrait on disposer de : - la composition du Tradical 70 - le nombre d'utilisations possibles du coffrage	3
Analyse de l'inventaire de cycle de vie			
Données		Question de néophyte: pourquoi prendre en compte la recarbonatation de la chaux pour le mur contenant du chanvre et pas pour les parpaings?	3
Données		Quelle est la provenance de l'électricité utilisée pour la fabrication du Tradical 70. Cela devrait être l'électricité espagnol. Or il est dit dans le fichier Excel que c'est l'électricité française (pas de grande incidence sur les résultats cependant)/.	3
Données		Emissions de CO2 faibles pour la production de Tradical 70	3
Source de la documentation publiée		Dans le tableau d'inventaire remis par l'INRA, les matériaux consommés pour la production de Tradical sont un mélange de chaux et de liants hydrauliques. Peut-on avoir plus de précision ou les données sont-elles confidentielles?	3
Evaluation de l'impact du cycle de vie			

Bâtiment

Rubrique	Résumé	Détail des commentaires	Nature du commentaire
Modes opératoires, calculs et résultats		Il est maladroit d'écrire que les résultats sont défavorables (voir page 34) si la production a un impact sur l'environnement (toute activité a un impact sur l'environnement).	3
Interprétation			
résultats (analyse par étape, contribution)		page 35 La comparaison avec d'autres produits n'est pas une composante de l'interprétation mais une étude à part entière	1
résultats (analyse par étape, contribution)		La contribution des principales ressources à l'épuisement des ressources naturelles n'est pas donnée. La consommation de minéraux calcaire est citée mais en général, elle contribue peu (à vérifier).	3
résultats (analyse par étape, contribution)		Page 50: Pourquoi la production de bois et la production de chenevotte n'émettent pas de gaz à effet de serre (N2O)?	2
résultats (analyse par étape, contribution)		Page 52: quels sont les principaux polluants contribuant à la pollution de l'air?	3
Fin de vie		Page 53 En quoi la fin de vie n'est pas traitée de manière comparable entre les 3 études	2
Evaluation de la qualité des données		Bonne remarque page 55 sur l'éventuel relargage du carbone sous forme de méthane.	2