



# Annexes aux fiches ressources de l'étude «Quelles biomasses pour la transition énergétique?»

Ces annexes présentent :

- La comparaison quantitative, pour chaque ressource, entre l'évaluation faite dans la présente étude et celles d'autres études listées ci-dessous :
  - **ADEME 2021 (4 scénarios)** : ADEME. 2021. « Transition(s) 2050 ». Horizons.
  - **ADEME 2018** : ADEME, GRDF, GRTgaz, Solagro, et AEC. 2018. « Un mix de gaz 100% renouvelable en 2050 ? » Rapport complet. <http://www.ademe.fr/mix-gaz-100-renouvelable-2050>.
  - **Agrosolutions 2022 (3 scénarios)** : Agrosolutions. 2022. « Évolution des systèmes agricoles en France : quels impacts sur la disponibilité et les flux de biomasse méthanisable ? »
  - **ENGIE 2021** : ENGIE. 2021. « Geographical analysis of biomethane potential and costs in Europe in 2050 ».
  - **France Stratégie (2 scénarios)** : France Stratégie. 2021. « La biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel énergétique ? » Document de travail.
  - **GFC 2022** : Gas for climate et Guidehouse. 2022. « Biomethane production potentials in the EU ».
  - **WWF 2022** : WWF. 2022. « Biomasse : un réel potentiel pour la transition énergétique ? »
- Pour certaines ressources des détails méthodologiques

# SOMMAIRE

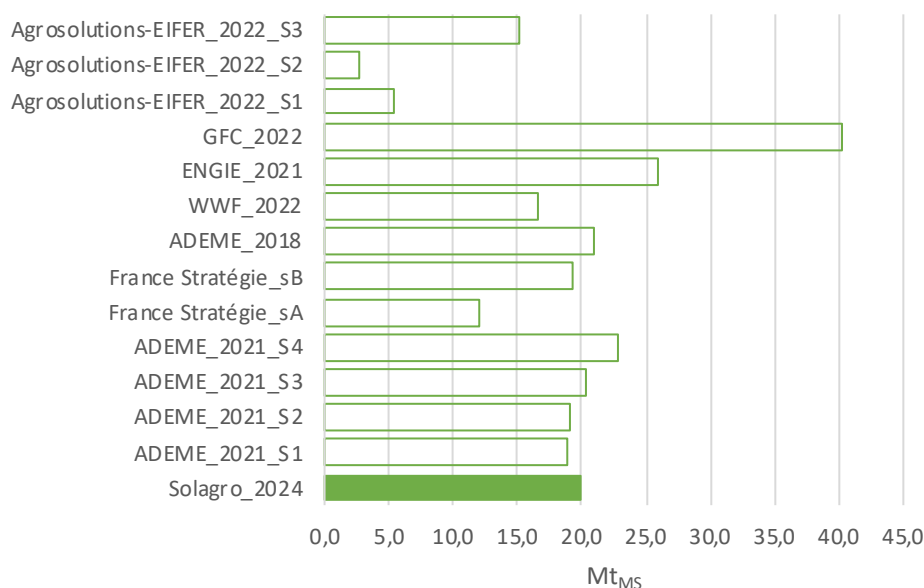
<b>1</b>	<b>Fiche 1 : CIVE</b>	<b>4</b>
1.1	Comparaison aux autres études - 2050	4
1.2	Détails méthodologiques	4
1.2.1	Surfaces aptes à recevoir des CIVE	4
1.2.2	Le rendement des CIVE	6
1.2.3	Horizon 2050	7
<b>2</b>	<b>Fiche 2 : Résidus de cultures</b>	<b>8</b>
2.1	Comparaison aux autres études - 2050	8
2.2	Détails méthodologiques	8
2.2.1	Quantification des résidus récoltables	9
2.2.2	Menue-paille	13
2.2.3	Besoins en paille pour les litières et solde disponible	13
2.2.4	Fraction mobilisable des résidus de culture pour un usage énergétique	14
<b>3</b>	<b>Fiche 3 : Effluents d'élevage</b>	<b>15</b>
3.1	Comparaison aux autres études - 2050	15
3.2	Détails méthodologiques	15
3.2.1	Description de la ressource	15
3.2.2	Méthode de quantification	16
3.2.3	Évolution des paramètres dans la prospective 2050	18
3.2.4	Besoin de paille pour la litière	18
<b>4</b>	<b>Fiche 4 : Herbes</b>	<b>20</b>
4.1	Comparaison aux autres études - 2050	20
<b>5</b>	<b>Fiche 5 : Biodéchets</b>	<b>21</b>
5.1	Comparaison aux autres études - 2050	21
5.2	Détails méthodologiques	21
5.2.1	Les déchets de la fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM) hors déchets verts	21
5.2.2	Les déchets de la distribution (GMS)	21
5.2.3	Les déchets de la restauration hors foyer	22
<b>6</b>	<b>Fiche 6 : Déchets d'Industries Agro-Alimentaires (IAA)</b>	<b>25</b>
6.1	Comparaison aux autres études - 2050	25
6.2	Détails méthodologiques	25
<b>7</b>	<b>Fiche 7 : Boues de STEP</b>	<b>28</b>
7.1	Comparaison aux autres études - 2050	28
<b>8</b>	<b>Fiche 8 : Déchets verts</b>	<b>29</b>
8.1	Comparaison aux autres études - 2050	29

8.2	Détails méthodologiques.....	29
<b>9</b>	<b>Fiche 9 : Bois forêt.....</b>	<b>30</b>
9.1	Comparaison aux autres études - 2050.....	30
<b>10</b>	<b>Fiche 10 : Bois hors Forêt.....</b>	<b>31</b>
10.1	Comparaison aux études existantes - 2050.....	31
10.2	Détails méthodologiques.....	31
10.2.1	Définition et mode de production.....	31
10.2.2	Méthode de quantification .....	34
<b>11</b>	<b>Fiche 11 : Connexes .....</b>	<b>38</b>
11.1	Comparaison aux autres études - 2050.....	38
11.2	Détails méthodologiques.....	38
<b>12</b>	<b>Fiche 12 : Liqueurs noires .....</b>	<b>42</b>
12.1	Comparaison aux études - 2050.....	42
12.2	Détails méthodologiques.....	42
<b>13</b>	<b>Fiche 13 : Bois déchets.....</b>	<b>44</b>
13.1	Comparaison aux autres études - 2050.....	44
13.2	Détails méthodologiques.....	44
13.2.1	Les sources de données .....	44
13.2.2	La situation actuelle.....	45
13.2.3	Prospective à 2050.....	46
<b>14</b>	<b>Fiche 14 : Combustibles Solides de Récupération (CSR) .....</b>	<b>50</b>
14.1	Comparaison aux autres études - 2050.....	50

# 1 FICHE 1 : CIVE

## 1.1 Comparaison aux autres études - 2050

L'évaluation proposée se situe dans la moyenne des scénarios des autres études. Les points de divergence sont liés essentiellement à l'évolution de l'assolement et à celle des rendements. Par exemple l'étude Agrosolutions-EIFER dédie entre 1,5 à 4,5 Mha aux CIVE contre 10 Mha dans la présente étude, par ailleurs les rendement CIVE hiver sont similaires mais ceux des CIVE d'été sont supérieurs dans l'étude Agrosolutions-EIFER. Globalement, la possibilité d'insertion d'une CIVE dans une rotation fait consensus.



## 1.2 Détails méthodologiques

### 1.2.1 Surfaces aptes à recevoir des CIVE

On distingue deux grandes catégories de CIVE selon leur période d'implantation :

- Les CIVE d'été semées dès que la récolte principale a été récoltée, au début de l'été au plus tard.
- Les CIVE d'hiver sont un précédent culturel d'une culture de printemps, c'est-à-dire qu'elles sont semées à l'automne et récoltées avant le semis de ladite culture.

A titre d'exemple, on peut citer comme espèces :

- Pour les CIVE d'été : maïs, sorgho, tournesol, avoine, moha, ray grass, mélanges (avoine/pois, avoine/vesce/pois, moha/trèfle d'Alexandrie, trèfle/moha)
- Pour les CIVE d'hiver : ray-grass, seigle forestier, triticales, mélange avoine / seigle, colza, féverole

Chaque culture a son calendrier. Certaines cultures laissent suffisamment de mois poussant aux CIVE pour se développer, d'autres non.

Tableau 1 - Surfaces aptes à recevoir des CIMSEs

Culture principale précédée d'une CIVE d'hiver	Culture principale suivie d'une CIVE d'été
Tournesol	Orge d'hiver
Sorgho	Blé d'automne (en 2050 seulement)
Maïs	Autres céréales (en 2050 seulement)
Betterave	
Pomme de terre	
Soja	

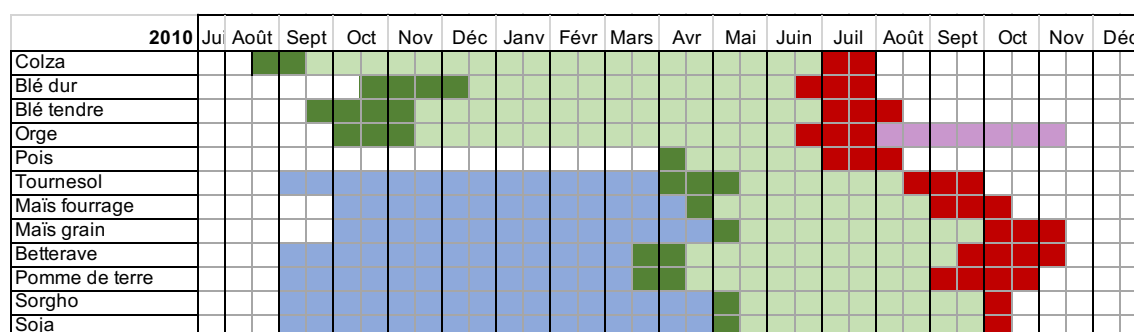
Dans cette méthode, les rotations précises ne sont pas prises en compte pour juger de la possibilité ou non d'insérer une culture intermédiaire : seule la culture précédente (CIVE d'été) ou suivante (CIVE d'hiver) est considérée.

**Une méthode prenant en compte les successions est en cours de développement et sera publiée au 2<sup>ème</sup> semestre 2024.**

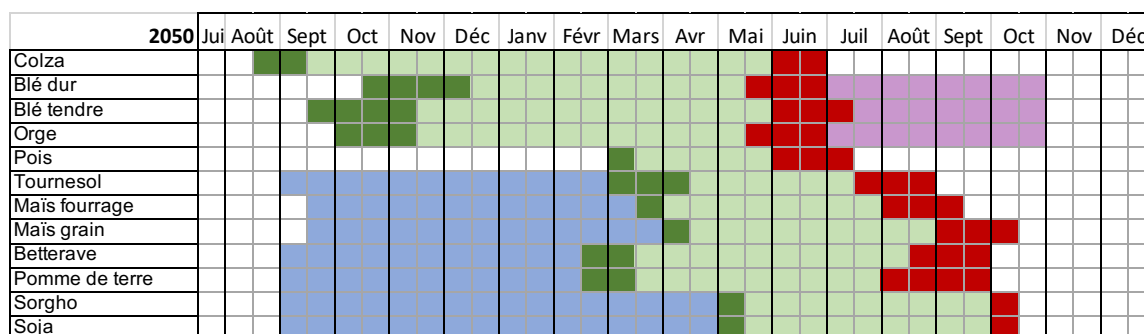
Les cultures intermédiaires à destination de l'alimentation animales, appelées « dérobées », ne sont pas exclues de ce potentiel. On estime les cultures dérobées à 300 000 ha, soit 5 % des surfaces capables de recevoir des cultures intermédiaires. En théorie, ces surfaces ne peuvent pas recevoir de CIVE.

Les calendriers de cultures utilisés pour décider de la possibilité ou non d'insérer une CIVE sont donnés ci-après :

2010 – calendrier d'implantation des CIMSE



2050 – calendrier d'implantation des CIMSE

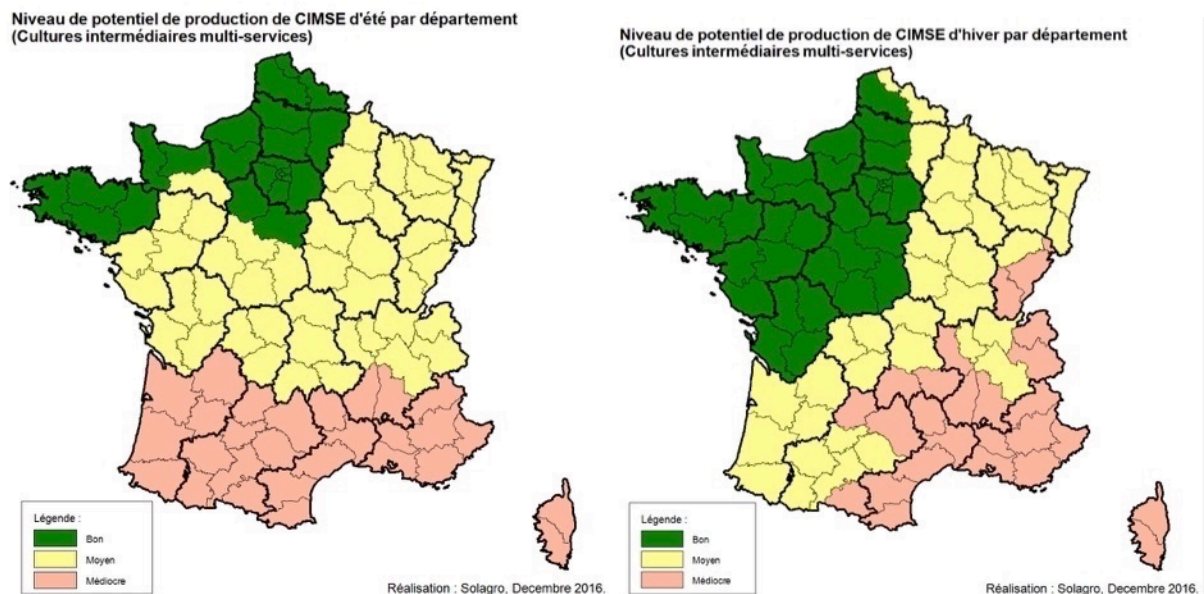


On estime qu'en 2050, les surfaces de CIVE d'été pourront être implantées sur les cultures de blé, et « autres céréales » (triticale, avoine, seigle, méteils), compte tenu de la modification du calendrier de cultures (récoltes plus précoces).

### 1.2.2 Le rendement des CIVE

Le rendement moyen appliqué à l'ensemble des surfaces aptes à recevoir des CIVE diffère suivant le département suivant 3 régimes : bon, moyen, médiocre.

Cartes du potentiel de CIMSE par département - Actuel



Chaque rendement de récolte moyen tient compte des aléas (bonne ou mauvaise année, bonne ou mauvaise parcelle), et prend pour hypothèse que le rendement tombe à 0 en dessous de 4  $t_{MS}/ha$ , car dans ce cas la récolte est trop onéreuse et n'est donc pas réalisée.

Ces aléas conduisent à faire baisser le rendement de récolte moyen qui se trouve ainsi compris entre 0 et 2,2  $t_{MS}/ha$  suivant les départements pour les CIVE d'hiver et tout simplement 0  $t_{MS}/ha$  pour les CIVE d'été peu importe le département, dans les conditions actuelles.

Dans les tableaux ci-dessous, les éléments suivants sont indiqués :

- Les « déciles » représentent la diversité pédo-climatique au sein des départements ;
- Les têtes des colonnes indiquent les régimes des départements ;
- Les « rendements moyens de production », la moyenne des rendements sur le département, applicable à l'ensemble des surfaces jugées théoriquement aptes à recevoir des CIVE sans tenir compte du seuil de récolte ;
- Les « rendements moyens de récolte », la moyenne des rendements sur le département, en faisant tomber les rendements inférieurs à 4 $t_{MS}/ha$  à 0 : dans ce cas les CIVE ne sont alors tout simplement pas récoltées. C'est ce rendement, appliqué à l'ensemble des surfaces jugées théoriquement aptes à recevoir des CIVE (cf ci-dessus) qui permet d'aboutir à l'estimation du potentiel CIVE en tonnes de matière sèche.

**On notera que l'application d'un seuil minimal de récolte fixé à 4 $t_{MS}/ha$  aboutit *in fine* à la récolte de seulement 50 % des CIVE qui sont réellement produites.**

Tableau 2 Rendement (tMS/ha/an) moyen de production des CIMSE en 2010 selon le contexte pédoclimatique

2 010	CIMSE d'été			CIMSE d'hiver		
	Bon	Moyen	Médiocre	Bon	Moyen	Médiocre
Potentiel de CIMSE						
1er décile	2,0	0,0	0,0	5,0	4,0	3,0
2ème décile	1,6	0,0	0,0	4,6	3,6	2,6
3ème décile	1,4	0,0	0,0	4,4	3,4	2,4
4ème décile	1,2	0,0	0,0	4,2	3,2	2,2
5ème décile	1,0	0,0	0,0	4,0	3,0	2,0
6ème décile	0,8	0,0	0,0	3,8	2,8	1,8
7ème décile	0,6	0,0	0,0	3,6	2,6	1,6
8ème décile	0,4	0,0	0,0	3,4	2,4	1,4
9ème décile	0,2	0,0	0,0	3,2	2,2	1,2
10ème décile	0,0	0,0	0,0	3,0	2,0	1,0
Rendement moyen de production (tMS/ha/an)	0,9	0,0	0,0	3,9	2,9	1,9
Rendement moyen de récolte (tMS/ha/an)	0,0	0,0	0,0	2,2	0,4	0,0

### 1.2.3 Horizon 2050

A l'horizon 2050, les surfaces des cultures principales évoluent régionalement suivant un scénario de type Afterres2050, modifiant les surfaces aptes à recevoir des CIVE.

La modification des itinéraires techniques en 2050 (calendrier des cultures, semis direct), augmente sensiblement les rendements en 2050.

Tableau 3 Rendement (tMS/ha/an) moyen de production des CIMSE en 2050 selon le contexte pédoclimatique

2 050	CIMSE d'été			CIMSE d'hiver		
	Bon	Moyen	Médiocre	Bon	Moyen	Médiocre
Potentiel de CIMSE						
1er décile	5,0	4,0	3,0	7,0	6,0	5,0
2ème décile	4,7	3,7	2,7	6,4	5,4	4,4
3ème décile	4,5	3,5	2,5	6,0	5,0	4,0
4ème décile	4,4	3,4	2,4	5,7	4,7	3,7
5ème décile	4,2	3,2	2,2	5,4	4,4	3,4
6ème décile	4,0	3,0	2,0	5,1	4,1	3,1
7ème décile	3,9	2,9	1,9	4,8	3,8	2,8
8ème décile	3,7	2,7	1,7	4,4	3,4	2,4
9ème décile	3,6	2,6	1,6	4,1	3,1	2,1
10ème décile	3,4	2,4	1,4	3,8	2,8	1,8
Rendement moyen de production (tMS/ha/an)	4,1	3,1	2,1	5,3	4,3	3,3
Rendement moyen de récolte (tMS/ha/an)	2,68	0,40	0,00	4,89	2,96	1,34

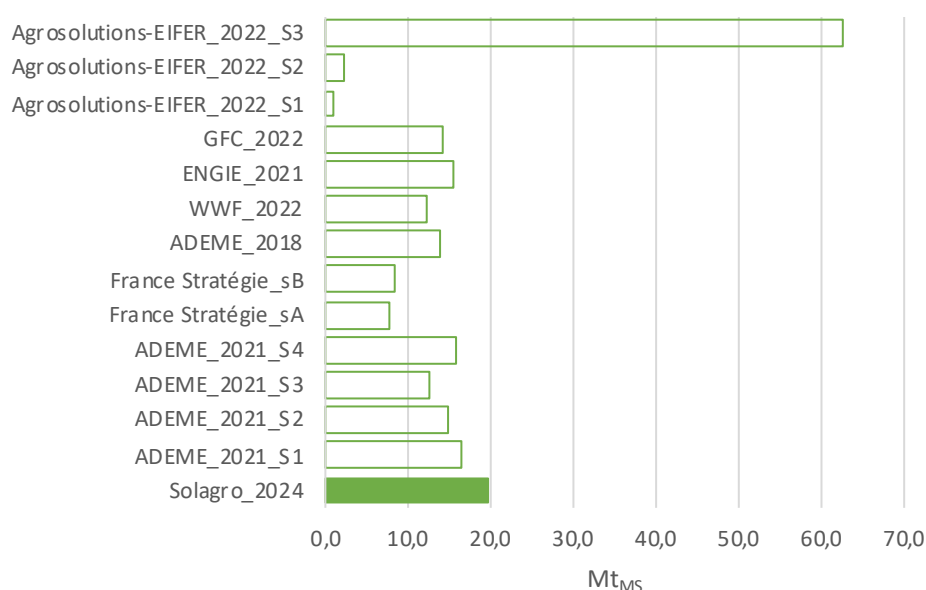
## 2 FICHE 2 : RÉSIDUS DE CULTURES

### 2.1 Comparaison aux autres études - 2050

L'évaluation proposée, en considérant un retour au sol après méthanisation, se situe dans la fourchette haute des évaluations.

Les 2 principales raisons de cette divergence tiennent aux hypothèses prises sur :

- Les rendements et surfaces des cultures en 2050
- L'interprétation des recommandations sur un export maximal de résidus permettant de conserver le potentiel agronomique de la parcelle.
- **La distinction ou non des exports avec retour au sol, des exports sans retour au sol**



Note : le potentiel « Solagro\_2024 » considéré est celui considéré pour la méthanisation (avec retour au sol). Le potentiel estimé sans retour au sol est de 5Mt<sub>MS</sub>.

### 2.2 Détails méthodologiques

Pour les cultures, les « résidus de surface »<sup>1</sup> correspondent à la partie aérienne de la culture hors la récolte *senso strictus*, c'est-à-dire hors grain pour les céréales et les oléoprotéagineux, et hors feuillage récolté pour les plantes fourragères.

Les résidus de surface sont ainsi constitués :

- De la paille ;
- De chaume ;
- Des menues-paille.

Certains sont laissés sur place et d'autres sont récoltés.

<sup>1</sup> C'est à dire qui ne prennent pas en compte les racines



## 2.2.1 Quantification des résidus récoltables

### 2.2.1.1 Rendement de production des résidus surfaciques

La méthode d'estimation de la production de résidus de cultures provient du CITEPA<sup>2</sup>, qui compile de nombreuses données et fait désormais référence en la matière.

Le CITEPA fournit un « indice de récolte » qui permet de calculer un rendement surfacique de la production de résidus de surface pour chaque culture selon l'équation suivante :

$$Rdt_{RS}(i,t) = Rdt_p(i,t) \cdot \frac{1-IR(i)}{IR(i)} \cdot \%MS(i)$$

Avec :

- $Rdt_{RS}(i, t)$  : rendement de résidus de surface de la culture  $i$  dans le territoire  $t$  (en tMS/ha)
- $Rdt_p(i, t)$  : rendement de la production de la culture  $i$  dans le territoire  $t$  (en tMB/ha)
- $IR(i)$  : indice de récolte de la culture  $i$  (sans unité)
- $\%MS(i)$  = taux de matière sèche du produit de la culture  $i$  (sans unité)
- $I$  = nature de la culture

La liste des résidus de cultures pris en compte est précisée dans le Tableau 4 et les indices de récolte utilisés dans le

Tableau 5.

Tableau 4 : Liste des résidus de culture pris en compte

Résidus	Culture
Paille de céréale	Blé tendre
Paille de céréale	Blé dur
Paille de céréale	Triticale
Paille de céréale	Orge
Paille de céréale	Avoine
Paille de céréale	Seigle
Paille de céréale	Sorgho
Cannes de maïs	Maïs grain
Pailles d'oléagineux	Colza et navette
Pailles de soja	Soja
Cannes de tournesol	Tournesol
Fanes de betterave	Betterave
Fanes de pomme de terre	Pomme de terre

<sup>2</sup> Méthodologie d'estimation des quantités de matière sèche et d'azote contenues dans les résidus de culture en France. CITEPA, Janvier 2013.

Tableau 5 : Indices de récolte (IR) retenus pour les inventaires nationaux d'émissions (Source : CITEPA)

Espèce cultivée	Source	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Nombre de références
Blé tendre hiver	ARVALIS Institut du végétal [10]	0,49	0,50	0,05	1292
Blé dur	ARVALIS Institut du végétal [10]	0,44	0,44	0,06	466
Orge de printemps	ARVALIS Institut du végétal [10]	0,53	0,54	0,04	281
Orge d'hiver	Azofert [11]	0,50			
Triticale	ARVALIS Institut du végétal [10]	0,44	0,44	0,04	189
Maïs grain	ARVALIS Institut du végétal [10]	0,49	0,49	0,06	549
Pois protéagineux	ARVALIS Institut du végétal [10]	0,58	0,58	0,07	52
Fèverole	ARVALIS Institut du végétal [10]	0,53	0,54	0,05	32
Betteraves	Azofert [11]	0,75			
Petite carotte	Azofert [11]	0,83			
Grosse carotte	Azofert [11]	0,88			
Colza	Azofert [11]	0,29			
Haricots	Azofert [11]	0,17			
Lin graine	Azofert [11]	0,41			
Mais fourrage	Azofert [11]	0,90			
Oignon	Azofert [11]	0,89			
Pomme de terre	Azofert [11]	0,80			
Seigle	Azofert [11]	0,50			
Avoine	IPCC GPG 2000 [3]	0,43			
Riz	IPCC GPG 2000 [3]	0,42			
Millet	IPCC GPG 2000 [3]	0,42			
Sorgho	IPCC GPG 2000 [3]	0,42			
Soja	IPCC GPG 2000 [3]	0,32			
Tournesol	UNIP[13]	0,33			

Lorsque l'indice de récolte vaut 0,5, la masse de résidus de cultures est égale à la masse de fraction récolte (grain ou fourrage), le tout étant exprimé sur matière sèche<sup>3</sup>.

#### 2.2.1.2 Surfaces et rendement de culture pris en compte

Pour évaluer la ressource nationale de résidus de culture, il faut déterminer les rendements (ce paramètre rentre dans la formule de calcul du rendement de résidu surfacique) de la culture principale d'une part et les surfaces cultivées d'autres part.

##### 2.2.1.2.1 Les données utilisées pour les valeurs actuelles

<sup>3</sup> La teneur en MS est fixée pour chaque culture au niveau national.

Les données utilisées proviennent :

- Du recensement agricole de 2010<sup>4</sup> qui fournit des données détaillées au niveau cantonal, sauf exception<sup>5</sup> ;
- De la Statistique Agricole Annuelle (SAA) qui donne les surfaces détaillées par département tous les ans, et la SAU à l'échelle communale.

Tableau 1: Sources de données

	Assolement	Rendement	Produit (P=AxR)
Sources de données	RA	AGRESTE	AGRESTE, FAO
Description	Année	Année	Année
	Commune	Département (ou région)	Commune (calculé)
Projection	Région	Région	

Selon les besoins, les données disponibles à un niveau géographique supérieur (par exemple le canton ou de département) sont désagrégées au niveau inférieur (par exemple respectivement la commune ou le canton) au prorata de la SAU.

Il existe un écart entre les données disponibles à un niveau géographique donné avec le niveau géographique inférieur, du fait du secret statistique. Une correction est apportée si nécessaire lorsque l'écart est significatif, par répartition au prorata de la SAU sur les territoires sans données. La différence totale est de 0,5 % pour les principales cultures, mais elle peut atteindre 29 % sur certaines cultures mineures.

Les rendements sont fixés sur la base de la moyenne des 10 dernières années, au niveau départemental pour 5 des principales cultures, au niveau national pour les autres.

Tableau 2: Modalité de calcul du rendement de référence par culture

Cultures	Échelle territoriale	Années de référence	Source
Blé tendre	Département	Moyenne 2006-2015	SAA
Orge	Département	Moyenne 2006-2015	SAA
Betterave	Département	Moyenne 2006-2015	SAA
Pommes de terre	Département	Moyenne 2006-2015	SAA
Tournesol	Département	Moyenne 2006-2015	SAA
Maïs fourrage	France	2010	SAA
Avoine	France	Moyenne 2006-2015	SAA
Blé dur	France	Moyenne 2006-2015	SAA
Triticale	France	Moyenne 2006-2015	SAA
Maïs grain/semences	France	Moyenne 2006-2015	SAA
Colza (navettes)	France	Moyenne 2006-2015	SAA
Seigle	France	Moyenne 2006-2015	SAA
Sorgho	France	Moyenne 2006-2015	SAA

<sup>4</sup> Le Recensement Agricole (RA) est effectué tous les 10 ans.

<sup>5</sup> Surface cultivée en pommes de terre qui est issue des données de la Statistique Agricole Annuelle (SAA) au niveau départemental.

Soja	France	Moyenne 2006-2015	SAA
------	--------	-------------------	-----

### 2.2.1.2.2 Évolution des paramètres surfaces et rendements pour l'horizon 2050

Le **rendement** des principales cultures a été modélisé à l'horizon 2050 pour chaque région à partir des projections du scénario Afterres 2050.

Il est affecté au niveau cantonal et permet de déterminer une production agricole par canton et par culture à l'horizon 2050. Ces rendements tiennent compte des évolutions de climat à l'horizon 2050. Ils sont basés sur les travaux de l'INRA réalisés dans le cadre du programme CLIMATOR, en restant prudents sur les améliorations potentielles de rendement. Le scénario retenu pour la modélisation est le RCP 6.0, ce qui correspond pour la France à une augmentation moyenne de température de 1,6°C pour 2020-2050 et de 3°C pour 2070-2100.

D'autre part, on fait l'hypothèse d'une évolution des systèmes de production plus marquée vers l'agriculture de conservation et l'agriculture biologique, ce qui conduit à diminuer les rendements de grains. Pour plus de détail se reporter au rapport du scénario Afterres 2050<sup>6</sup>.

La projection des **surfaces** provient de l'étude Afterres2050. L'outil utilisé à cet effet, MoSUT<sup>7</sup> utilise environ 110 types de surfaces différentes, dont 90 pour les surfaces agricoles et 20 pour les surfaces non agricoles.

Afterres2050 propose un assolement pour chaque région, tenant compte notamment de l'artificialisation, de l'évolution du rapport entre céréales et protéagineux, des besoins en cultures fourragères, de l'évolution des surfaces de prairies, etc. Certaines évolutions sont exogènes à l'agriculture (artificialisation), d'autres sont liées à une évolution des besoins (surfaces fourragères).

### 2.2.2 Menue-paille

La fraction de menue-paille contenue dans la paille récoltée est estimée à 32 % de la paille récoltée en masse. Cette estimation est basée sur un rendement courant de récupération de la menue paille de 1 tMS/ha.

### 2.2.3 Besoins en paille pour les litières et solde disponible

Les besoins en paille pour les litières sont évalués à partir des cheptels, sur la base d'une quantité de paille moyenne présente dans les fumiers.

	Vaches laitières	Vaches allaitantes	Autres bovins	Porcs	Ovins	Caprins	Equins
Tonnes de paille pour 1 tonne de déjection (en tMS)	0,60	1,10	0,80	1,10	1,10	1,10	1,10
Tonnes de paille pour 1 tonne de fumier (en tMS)	0,38	0,52	0,44	0,52	0,52	0,52	0,52

A l'horizon 2050, le cheptel diminue globalement suivant les hypothèses du scénarios Afterres2050 et le besoin en paille du même coup.

On obtient le solde disponible en résidus de culture par différence entre la production récoltable et les besoins.

Lorsque le solde est négatif, on considère que la disponibilité est nulle. Ces cantons importent de la paille depuis les cantons excédentaires.

<sup>6</sup> Afterres 2050, Solagro, 2016, [https://afterres2050.solagro.org/wp-content/uploads/2015/11/solagro\\_afterres2050\\_version2016.pdf](https://afterres2050.solagro.org/wp-content/uploads/2015/11/solagro_afterres2050_version2016.pdf)

<sup>7</sup> Modèle Systémique d'utilisation des terres : outil développé par SOLAGRO pour réaliser des travaux de prospective. Il s'agit d'un modèle de flux entre l'agriculture et les usages finaux de produits agricoles (alimentation, exportation, etc.) permettant de caractériser les consommations intermédiaires (engrais, énergie, etc.) et les impacts (émissions de gaz à effet de serre, d'ammoniac, etc.)

## 2.2.4 Fraction mobilisable des résidus de culture pour un usage énergétique

Une étude réalisée en 2008 par ARVALIS et Agro-Transfert Ressources et Territoire<sup>8</sup>, indique les possibilités d'export de la paille sans dégradation du potentiel agronomique, suivant le type de parcelle et le type d'amendement. Sauf dans certaines situations (sols sableux, rotations avec pomme de terre et betterave), il est possible d'exporter entre 50 et 100 % des pailles en cas de retour sur la parcelle (cas des litières et du digestat) et 30 % en moyenne en cas d'export sans retour au sol.

Il a été retenu un taux d'export maximal de **50 % des valeurs d'export maximales** soit 50 % pour un usage en méthanisation, et 15 % pour les autres usages. Les besoins en litière sont satisfaits eux à 100 %. Cette précaution favorise autant que possible l'apport de matière fraîche pour l'entretien de la vie du sol, et constitue une réserve en cas de pénurie pour les besoins des animaux.

Ainsi en conclusion, sur la quantité totale de résidus de culture produite, 30 % constituent les chaumes et ne peut techniquement pas être récoltés. Seul le restant des céréales à paille sert à satisfaire les besoins en litières. Le nouveau solde peut être exporté dans la limite de 50 % en méthanisation et dans la limite de 15 % pour les usages sans retour au sol.

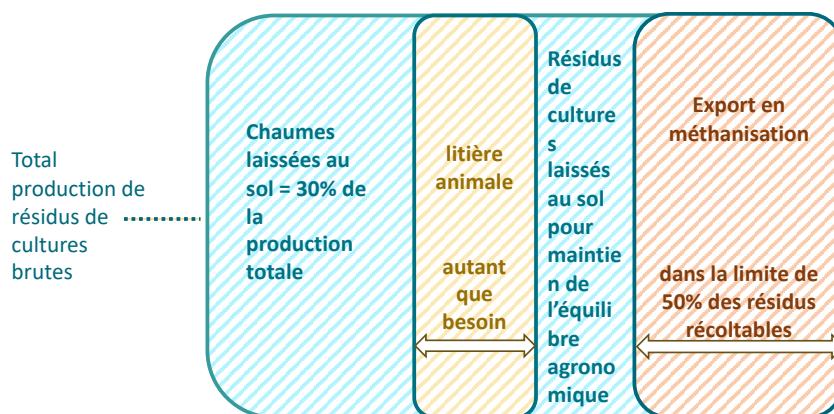


Figure 1 Cas de l'export en méthanisation - Schéma de synthèse Solagro

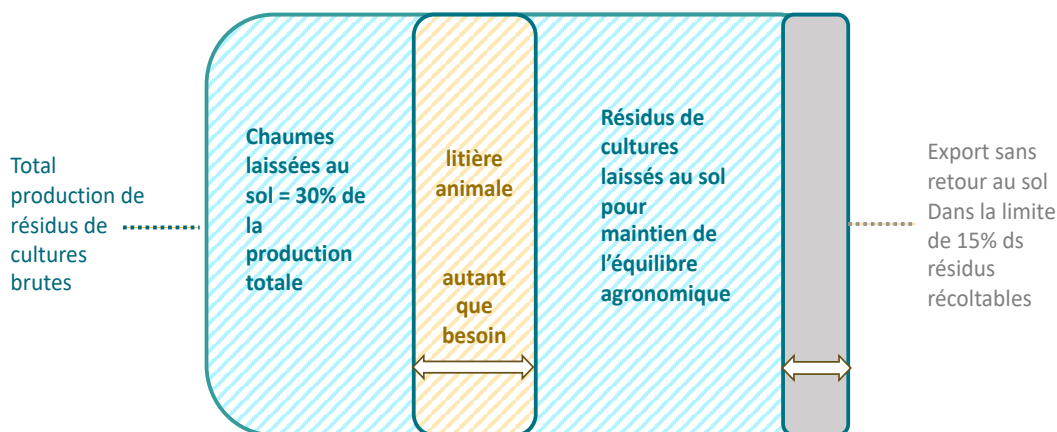


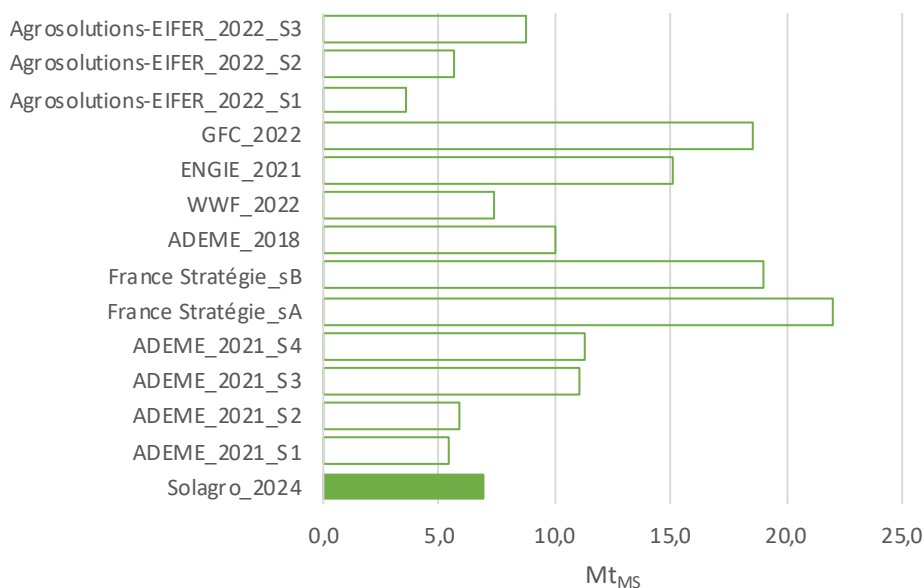
Figure 2 Cas d'export sans retour au sol (combustion, matériaux...) - Schéma de synthèse Solagro

<sup>8</sup> « Exporter des pailles sans risque pour l'état organique des sols », 2008, AGRO-TRANSFERT ressources et Territoires, ARVALIS, FRCA Picardie, COOPENERGIE

## 3 FICHE 3 : EFFLUENTS D'ÉLEVAGE

### 3.1 Comparaison aux autres études - 2050

Les différentes évaluations proposées dans les études de références sont variées. La proposition de Solagro est dans la moyenne basse des autres évaluations. Ces divergences reposent essentiellement sur les hypothèses prises quant à la composition et la taille du cheptel en France en 2050.



### 3.2 Détails méthodologiques

#### 3.2.1 Description de la ressource

Les effluents d'élevage sont composés :

- Des lisiers, liquides, ne comprenant que des déjections et récupérés en fosse ;
- Des fientes de volaille, qui ne contiennent que des déjections, solides ou liquides suivant le type de récupération (flushage ou raclage) ;
- Des fumiers, solides, qui sont des déjections additionnées de paille. Cette paille provenant de la litière est donc incluse dans la ressource « fumier ».

Pour les usages énergie, les effluents utilisables sont uniquement les déjections d'élevage produites en bâtiment.

Les productions se calculent à partir de l'estimation des effectifs d'animaux des principaux cheptels (bovins, ovins, porcs, volailles, etc.), de la production de déjection par tête. Le temps de présence sous bâtiment est pris en compte, notamment avec le temps de pâture pour les ruminants.

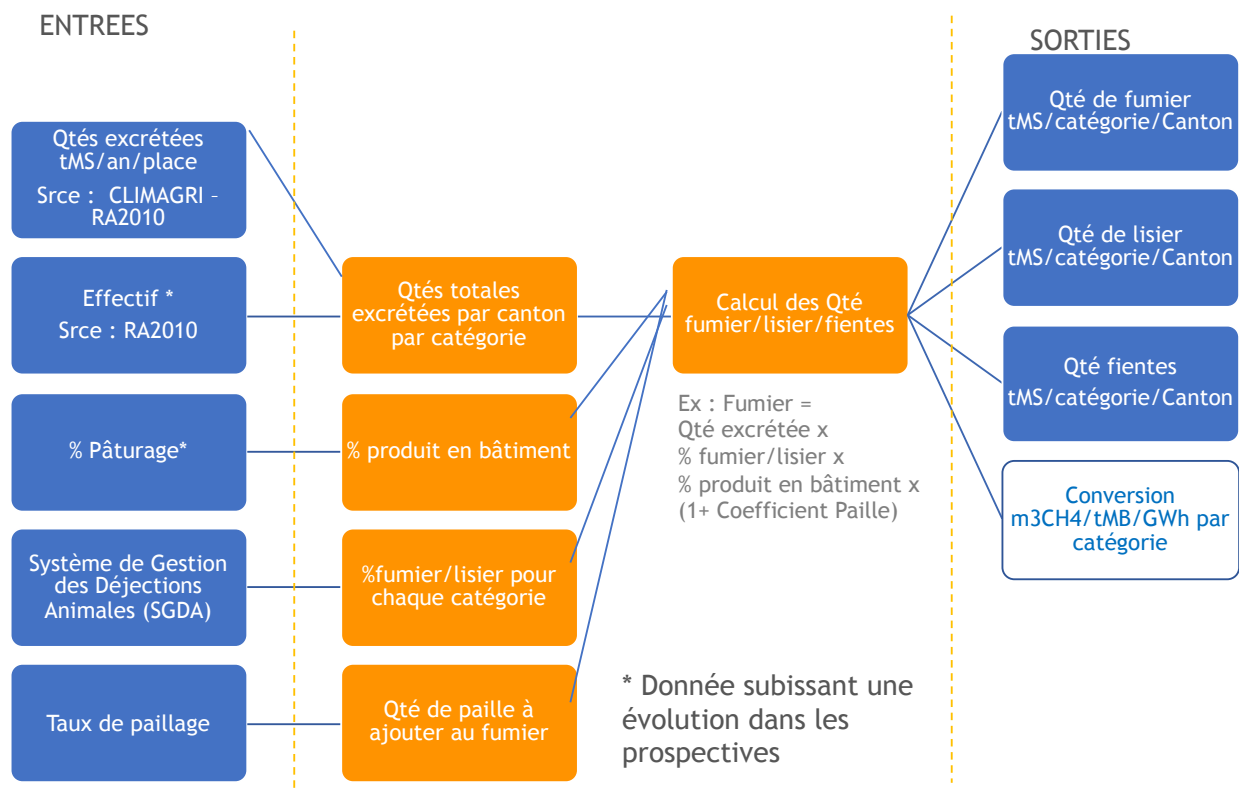
Ainsi, ne sont utilisables que les déjections dites maîtrisées, et non les déjections laissées au champ lors de la pâture.

### 3.2.2 Méthode de quantification

Cette quantification est issue d'une modélisation considérant un certain nombre de paramètres :

- La **production de déjection** est estimée en multipliant le ratio de déjection (Source : CLIMAGRI) par tête ou place selon le type d'animal, par le cheptel associé. Le cheptel pris en compte est le cheptel RA2010 ;
- Temps de présence en bâtiment : afin d'identifier les déjections produites en bâtiments le % de temps en pâturage est utilisé ;
- Système de Gestion des Déjections Animales (SGDA) : la nature de l'effluent (lisier, fumier, et fientes) associé à chaque flux cantonal de déjection est déterminé grâce à la base de données des Systèmes de Gestion des Déjections Animales fournie par Agreste. On saura par exemple pour chaque canton, la part de déjections se retrouvant ensuite sous forme de lisier, fumier et fientes ;
- Le besoin en paille : le contenu en paille des fumiers est calculé par type d'animaux : porcins, ovins, vaches laitières ou vaches allaitantes en tMS/tête ou tMS/place. Cette paille est donc incluse dans le fumier et retranchée à l'évaluation de la ressource « résidus de culture ».

Figure 3 - Synthèse sur le calcul de la production des effluents



Finalement, les déjections animales maîtrisables sont calculées selon l'équation suivante :

$$Q(i,t) = N(i,t) \cdot R_{DA}(i) \cdot (1 + K_{Paille}(i)) \cdot (1 - \%Patur(i,t))$$

Avec :

- $Q(i,d,t)$  : Quantité de déjection  $d$  produite par les animaux  $i$  dans le territoire  $t$  (en tMS/an)
- $N(i,d,t)$  : Nombre de places des animaux  $i$  en système de déjection  $d$  dans le territoire  $t$
- $R_{DA}(i)$  : Quantité annuelle de déjections produites par les animaux  $i$  (en tMS/place/an)
- $K_{PAILLE}(i,d)$  : Ratio de paille dans la déjection  $d$  produite des animaux  $i$  du territoire  $t$  (sans unité)
- $\%Patur(i,t)$  : Taux de pâturage des animaux  $i$  dans le territoire  $t$  (sans unité) ; le taux de pâturage est fourni par Agreste à l'échelle cantonale.



- i : Catégorie de cheptel
- d : Type de déjection animale (3 catégories : fumier, lisier, mixte)
- t : Territoire (canton) considéré

Le taux de paille dans le lisier est nul. Les places en système de déjection mixtes sont considérées comme étant 50 % fumier et 50 % lisiers ; le coefficient de paille retenu pour les places mixtes est donc la moitié de celui du fumier.

Pour les volailles, le coefficient de paille et le temps de pâturage sont considérés comme nul.

Tableau 6 : Ratio de déjections et coefficient de paille dans les fumiers par catégorie d'animal

Code niv.3		Excrétion (en tMS/place/an)	Coefficient de paille dans le fumier ( $t_{\text{paille}}$ pour 1 $t_{\text{déjection}}$ )
C10110	Vaches_laitieres	1,95	0,6
C10120	Vaches_nourrices	1,61	1,1
C10211	Bovins_de_1_a_moins_de_2_ans_femelles_	0,87	0,8
C10212	Autres_bovins_de_2_ans_et_plus_femelles	1,09	0,8
C10213	Bovins_de_1_a_moins_de_2_ans_males	0,87	0,8
C10214	Autres_bovins_de_2_ans_et_plus_males	1,11	0,8
C10215	Autres_bovins_de_moins_de_1_an_males	0,60	0,8
C10216	Autres_bovins_de_moins_de_1_an_femelles	0,60	0,8
C10217	Veaux_de_boucherie	0,87	0,8
C10401	Juments_et_ponettes_poulinieres_selle_et_course	0,63	1,1
C10511	Brebis_meres_nourrices	0,30	1,1
C10521	Agnelles_pour_la_souche	0,15	1,1
C10522	Autres_ovins	0,10	1,1
C10610	Chevres	0,34	1,1
C10621	Chevrettes_pour_la_souche	0,15	1,1
C10622	Autres_caprins	0,15	1,1
C10710	Truies_meres	0,32	1,1
C10720	Autres_porcs	0,110	1,1
C10730	Porcelets	0,054	1,1
C10811	Poules_pondeuses_d_oeufs_d_e_consommation	0,007	1,1
C10820	Poulettes	0,002	1,1
C10911	Poulets_de_chair_et_coqs	0,004	1,1
C10912	Dindes_et_dindons	0,012	1,1
C10913	Oies	0,012	1,1

C10914	Canards_a_rotir	0,007	1,1
C10915	Canards_a_gaver	0,007	1,1
C10916	Pintades	0,007	1,1
C10917	Pigeons_cailles	0,003	1,1
C10931	Lapines_meres	0,036	1,1

### 3.2.3 Évolution des paramètres dans la prospective 2050

L'évaluation de la ressource en 2050 repose sur l'évolution du cheptel, des temps passés en pâture et des systèmes de gestion des déjections animales selon un scénario de transition agricole de type Afterres2050. Les hypothèses principales sont les suivantes :

- Les effectifs des différents cheptels bovins, ovins, porcins et volailles vont continuer à diminuer dans les prochaines décennies : il s'agit d'une évolution tendancielle, qui pourrait se renforcer du fait des impératifs de réduction des émissions de méthane, et de santé publique ;
- Le temps de pâture des ruminants augmente (66 % de temps de pâture moyen en 2050 contre 40 % en 2018), permettant de freiner la perte de prairies permanentes : l'objectif est de maintenir les prairies naturelles et de privilégier les élevages à l'herbe ;
- Les systèmes « fumier » augmentent au détriment des systèmes « lisier », pour des raisons d'amélioration des conditions sanitaires des élevages.

Globalement, chacune de ces évolutions contribue à diminuer la production de déjections d'élevage utilisable pour des usages énergétiques.

### 3.2.4 Besoin de paille pour la litière

Pour évaluer la quantité de paille utilisée par les cheptels, nous avons utilisé l'équation ci-dessous :

$$Q_{Pail-Lit}(i,t) = N_{Fumier}(i,t) \cdot R_{Pail-Lit}(i) \cdot (1 - \%Patur(i,t))$$

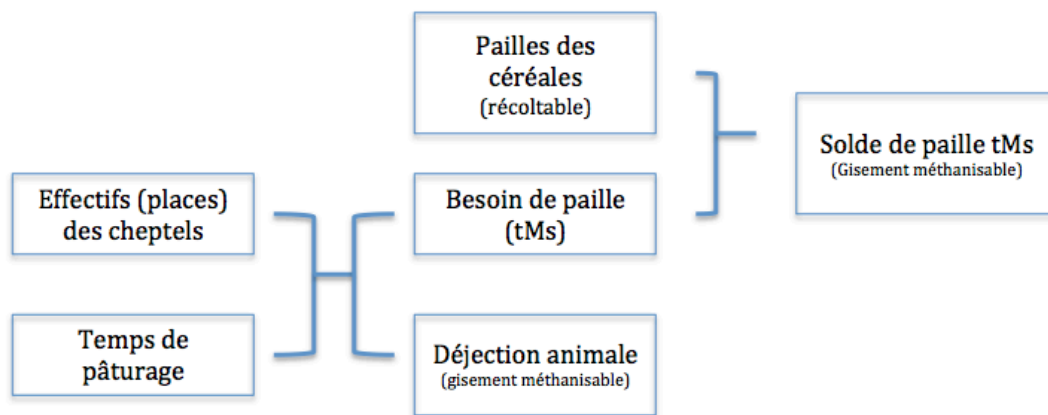
Avec :

- $Q_{PAIL-LIT}(i,t)$  : Quantité de paille pour litière des animaux  $i$  dans le territoire  $t$  (en tMS)
- $N_{FUMIER}(i,t)$  : Nombre de place en fumier des animaux  $i$  dans le territoire  $t$
- $R_{PAIL-LIT}(i)$  : Ratio de besoin annuel en paille pour litière par animal  $i$  (en tMS/place/an)
- $\%Patur(i,t)$  : Taux de pâturage des animaux  $i$  dans le territoire  $t$  (sans unité)
- $i$  : Catégorie de cheptel
- $t$  : Territoire (canton) considéré

Les valeurs de besoin de paille sont mentionnées dans le tableau suivant.

Tableau 7 – Besoins de pailles pour la litière par animal

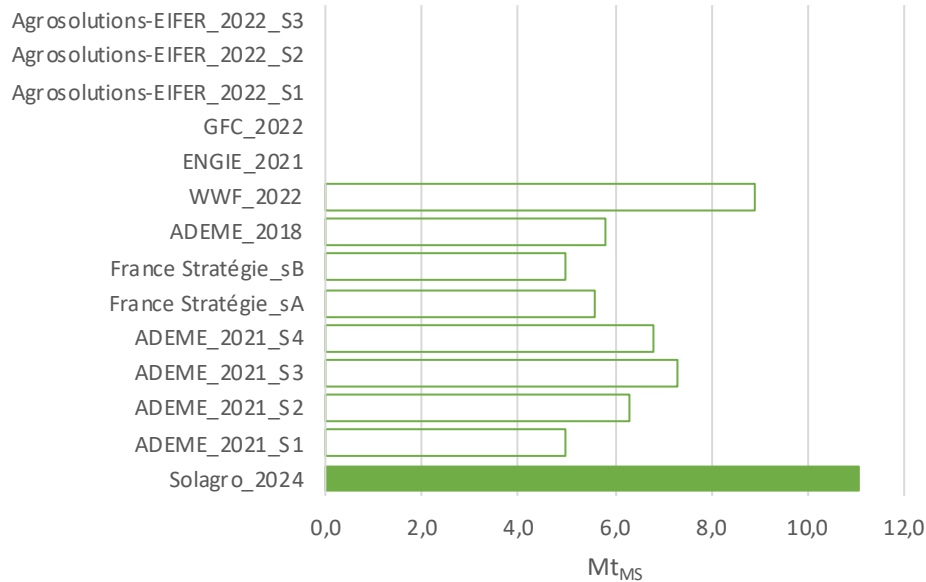
Cheptel	Paille utilisée (tMS/an/place)
Vaches laitières	0,4
Vaches allaitantes	1,5
Porcins	0,04
Ovins	10



## 4 FICHE 4 : HERBES

### 4.1 Comparaison aux autres études - 2050

La proposition retenue dans cette étude est supérieure aux autres études et nos travaux antérieurs. La révision à la hausse de la ressource s'explique par des travaux de modélisation prospectifs (Afterres 2023) plus fin réalisés sur le bilan fourrager, qui a permis de montrer des marges d'excédents supérieures.

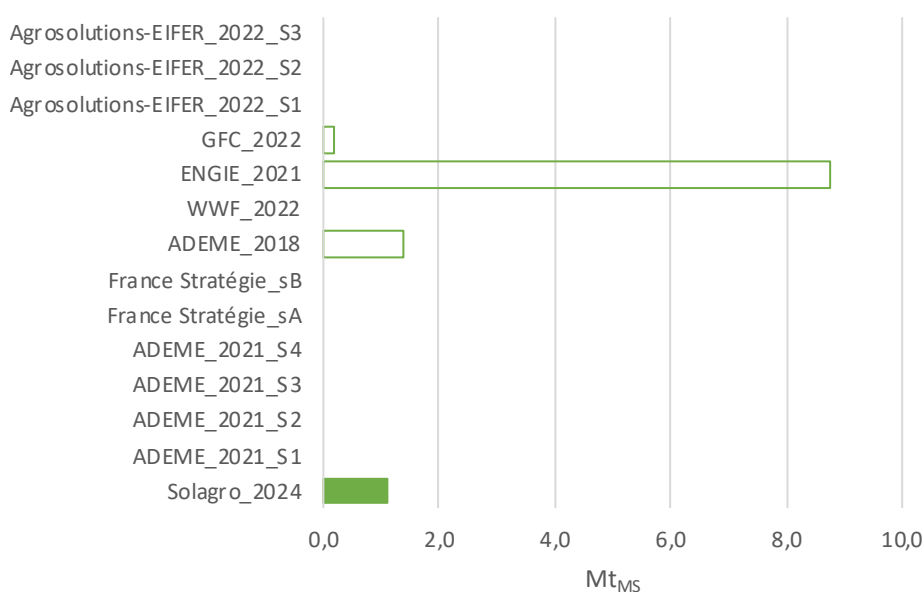


## 5 FICHE 5 : BIODÉCHETS

### 5.1 Comparaison aux autres études - 2050

Outre le fait que peu d'études étudient séparément cette ressource, il est souvent difficile de connaître à la fois le périmètre exact de l'évaluation et la méthodologie utilisée. Notamment, les déchets verts produits par les ménages sont souvent considérés comme des biodéchets, c'est le cas par exemple dans l'étude GFC. Également, différents taux de mobilisation sont parfois appliqués afin d'aboutir à des scénarisation (60 % et 55 % de taux de mobilisation pour l'étude GFC par exemple).

On observe une grande disparité entre le peu d'études collectées. L'évaluation proposée se situe dans la fourchette basse.



### 5.2 Détails méthodologiques

#### 5.2.1 Les déchets de la fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM) hors déchets verts

Le ratio de production de FFOM retenu est de 45 kg/an par habitant. Il s'agit du ratio observé lors de mises en place de collecte sélective en zone urbaine (Guide ADEME 2021- Biodéchets : du tri à la source jusqu'à la méthanisation).

Ce ratio est appliqué à l'ensemble des habitants en France, hormis les habitants des communes classées comme rurales à partir du Zonage des Aires Urbaines et compléments pour l'Espace Rural (ZAUER) de l'INSEE. Il est considéré que ces zones à l'habitat dispersé privilégient le compostage de proximité individuel.

#### 5.2.2 Les déchets de la distribution (GMS)

Sont étudiées différentes catégories de commerces alimentaires, distinguées par leur surface de vente déclarée. Cette donnée provient de la Base permanente des équipements (BPE) 2021 ([INSEE – Dénombrements des équipements en 2021 \(commerce, services, santé...\), 2022](#)).

Catégories de GMS et surfaces de vente :

- Épiceries : < 120 m<sup>2</sup>
- Supérettes : entre 120 et 400 m<sup>2</sup>
- Supermarchés : 400 et 2500 m<sup>2</sup>
- Hypermarchés : > 2500 m<sup>2</sup>

Les déchets des grandes et moyennes surfaces ont été calculés en utilisant un ratio moyen de production de biodéchets de 30 kg/m<sup>2</sup> pour les Supermarchés et de 50 kg/m<sup>2</sup> pour les Hypermarchés (ratio historique ADEME 2013, étude SDEY). Pour les épiceries et supérettes, le ratio retenu est respectivement de 10 et 20 kg/m<sup>2</sup>, faute de données disponibles.

Les surfaces moyennes de ces établissements sont fournies par l'étude « Les points de vente du commerce de détail en 2009 » ([INSEE Résultats N°60, 2012](#)).

### 5.2.3 Les déchets de la restauration hors foyer

Les déchets de la restauration hors foyer sont produits par les cantines (restauration collective) et les restaurants (restauration commerciale). La méthode d'évaluation commence par l'évaluation du nombre de repas pris dans l'établissement. Le nombre de repas pris est estimé soit à partir des effectifs soit à partir du nombre de salariés travaillant dans cet établissement. On estime en effet, qu'à défaut d'indication sur la fréquentation, il existe une relation entre le nombre de salariés et la taille de l'établissement. Cette dernière méthode est employée notamment pour la restauration commerciale.

Les Huiles Alimentaires Usagées sont distinguées car souvent ce n'est pas la même collecte et le pouvoir méthanogène de ce flux est très élevé par rapport à la moyenne des biodéchets.

#### 5.2.3.1 *Restauration scolaire*

Dans le scolaire, la majorité des cantines sont en gestion directe (auto-gérée par l'établissement ou la collectivité)<sup>9</sup>.

L'estimation se base sur le nombre d'élèves inscrits dans l'établissement et d'un nombre de repas par élève et par an, calculé en appliquant un taux de demi-pensionnaires et d'internes selon la typologie.

La source des données pour les écoles primaires, les collèges et lycées est le jeu de données ouvertes « [Annuaire de l'éducation](#) » produit par le Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse ([data.education.gouv.fr](#)). À titre de comparaison, le jeu de données est de 1 % inférieur aux [chiffres publiés par le ministère en 2020](#)<sup>10</sup> concernant les effectifs de collégiens, et de 2 % supérieur pour les élèves de lycées, on peut alors considérer cette donnée comme fiable.

Le nombre de repas préparés par élèves sont issus de :

- Primaire et élémentaire : basé sur les observations des données de Toulouse Métropole (0,7 repas par élève) ;
- Collège et lycée : basé sur les taux de demi-pensionnaires et internes en Pays de la Loire ([INSEE Analyses Pays de la Loire N°99, 2021](#)).

Les pertes sont basées sur les données du Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire ([MAAPRAT Pertes et Gaspillages Alimentaires, 2011](#))<sup>11</sup>, elles sont plus faibles que dans l'étude ADEME (Solagro, 2013) et plus réalistes du fait des politiques de réduction du gaspillage mises en place dans les cantines.

---

<sup>9</sup> <https://www.restaurationcollectivena.fr/restauration-collective/>

<sup>10</sup> <https://www.education.gouv.fr/les-chiffres-cles-du-systeme-educatif-6515>

<sup>11</sup> [https://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/2011Pertes-gaspillages\\_RAPPORT\\_FINAL\\_cle4196a1.pdf](https://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/2011Pertes-gaspillages_RAPPORT_FINAL_cle4196a1.pdf)

Les effectifs étudiants des établissements du supérieur proviennent du [jeu de données des ministères de l'Enseignement supérieur et de la recherche et de l'Éducation nationale](#)<sup>12</sup>. Les données concernent la rentrée 2020-2021.

Afin de réduire le risque de double comptage, le gisement des établissements du supérieur n'est pas compté dans le total du gisement communal, car les cantines et les CROUS sont souvent enregistrées dans la base Sirene (par ex. les CROUS).

Voir partie « Autres restaurations ».

Gaspillage - g/repas/pers	
Primaire	120
Secondaire	185
Supérieur	315
Maison de retraite	166
Établissements de santé	185
Cuisine autogérée	100
Secondaire	115

À ce jour, les crèches ne sont pas comptabilisées, faute de données disponibles permettant d'estimer leurs effectifs et les repas servis.

#### 5.2.3.2 Établissements de santé

Comme pour les établissements scolaires, l'estimation des établissements de santé (maisons de retraite comprises) se base sur la fréquentation croisée avec un nombre de repas par visiteur.

### Maisons de retraite

[Les données de fréquentation](#)<sup>13</sup> sont issues de données de la Caisse nationale de solidarité pour l'autonomie.

Le nombre de repas par personne est déterminé selon le type d'établissement :

- Pour un EHPAD et autre établissement à séjour permanent on considère 2 repas 7 jours sur 7 ;
- Pour les autres on considère que 25 % des repas sont pris sur place (3,5 repas par semaine). Cette donnée serait à affiner.

### Établissements de santé

Les données proviennent de l'enquête SAE 2021 [Statistique annuelle des établissements de santé \(SAE\)](#).<sup>14</sup>

Pour estimer le nombre de repas on compte deux repas servis par jour d'hospitalisation, cette donnée étant le résultat de la somme des jours d'hospitalisation complète et le nombre de séjours d'hospitalisation partielle.

---

<sup>12</sup> [data.enseignementsup-recherche.gouv.fr](http://data.enseignementsup-recherche.gouv.fr) – Effectifs d'étudiants inscrits dans les établissements et les formations de l'enseignement supérieur

<sup>13</sup> <https://www.data.gouv.fr/> - Établissements EHPAD, ESLD, résidences autonomie, accueils de jour

<sup>14</sup> <https://data.drees.solidarites-sante.gouv.fr> – Bases statistiques SAE

### 5.2.3.3 Restauration commerciale dont huiles usagées alimentaires

Dans cette catégorie tombe la restauration commerciale traditionnelle, la restauration rapide, les hôtels, les cafétérias, les services de traiteurs et la restauration collective sous contrat (principalement les entreprises, les CROUS).

Les établissements sont recensés dans la base de données SIRENE (sirene.fr) et le nombre de repas servis est estimé sur la base du nombre de salariés de l'établissement croisé au nombre moyen de repas servis par salarié dans chaque typologie de restaurant. Ces deux données proviennent d'une étude publiée par l'ADEME en 2000.

Cette étude distingue les restes de repas et les huiles usagées (HAU).

Les ratios sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

NAF	Intitulé		Restes repas	Huiles alimentaires
		Repas / salariés/an	g/repas	g/repas
55.10Z	Hôtels et hébergements similaires	2 470	330	30
55.20Z	Hébergement touristique et autre hébergement de courte durée	2 470	330	30
56.10A	Restauration traditionnelle	4 600	140	30
56.10B	Cafétérias et autres libres-services	4 600	140	30
56.10C	Restauration de type rapide	4 850	175	80
56.21Z	Services des traiteurs	1 235	330	30
56.29B	Autres services de restauration n.c.a.	5 780	134	8
56.29A	Restauration collective sous contrat	37 500	70	8

Tableau 12 : Synthèse des ratios de restes de repas et d'huile alimentaire usagée

Les crèches et les centres pénitentiaires ne sont pas inclus dans cette estimation.

### 5.2.3.4 Projection 2050 – réduction du gaspillage alimentaire

Le potentiel 2050 a été calculé sur la base d'une réduction de 50 % du gaspillage. En effet, la production de biodéchets doit diminuer pour suivre les objectifs chiffrés de la loi, notamment la loi n°2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire qui transpose en droit français les objectifs de la directive cadre européenne (WFD 2018). Celle-ci impose la réduction du gaspillage alimentaire de 50 % d'ici 2025 pour les secteurs de la distribution et de la restauration commerciale, de 50 % d'ici 2030 pour l'ensemble des secteurs, par rapport au niveau de 2015, et la généralisation du tri à la source des biodéchets dès 2024.

Cette diminution du gaspillage se traduit par :

- 50 % de réduction des déchets des GMS
- 42 % de réduction des déchets de la restauration hors foyer<sup>15</sup>

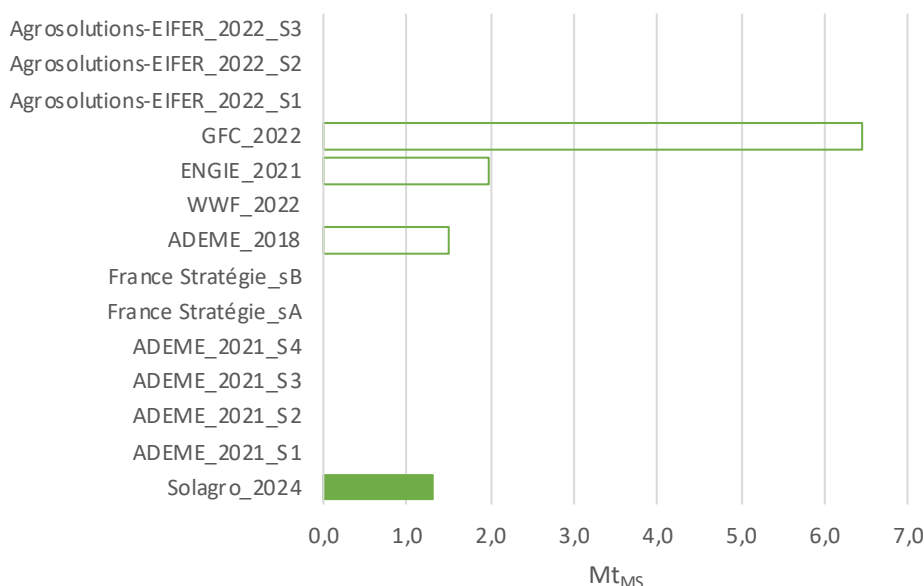
<sup>15</sup> Sur la base de 85% des déchets de la restauration hors foyer sont dus au gaspillage – Étude ADEME 2021 - « Calcul simplifié du gaspillage alimentaire en restauration collective » <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/4936-calcul-simplifie-du-gaspillage-alimentaire-en-restauration-collective.html>



## 6 FICHE 6 : DÉCHETS D'INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES (IAA)

### 6.1 Comparaison aux autres études - 2050

Les différences observées sont liées au degré d'appréciation entre déchets et sous ou co-produits et à la priorité donnée ou non à la valorisation énergétique par rapport aux filières déjà en place, notamment l'alimentation animale.



### 6.2 Détails méthodologiques

L'estimation des déchets d'Industries Agro-Alimentaires concerne les entreprises des codes APE 10 et 11.

Tableau 8 - Classe des entreprises agro-alimentaires

Secteur	Classe	Intitulé
10-		Industries alimentaires
	10.1	Industries des viandes
	10.2	Industries du poisson
	10.3	Industrie des fruits et légumes
	10.4	Industrie des corps gras
	10.5	Industrie laitière
	10.6	Travail des grains, fabrication de produits amylacés
	10.7	Boulangerie-pâtisserie, pâtes
	10.8	Autres industries alimentaires
	10.9	Fabrication d'aliments pour animaux
11-		Fabrication de boisson

L'évaluation des quantités de sous-produits des industries agro-alimentaires (IAA) mobilisables pour la méthanisation a fait l'objet d'une étude en 2017 par GRDF et Solagro, intitulée « Étude du potentiel de biométhane à partir des effluents des Industries Agro-Alimentaires ».

La synthèse d'études préexistantes (AGRESTE, RESEDA, ADEME, CRITT Poitou, CRITT PACA) ainsi que plusieurs dizaines d'enquêtes ont abouti à la production d'un ratio de production de déchets en tMS/salarié par sous-classe APE.

Il faut être extrêmement prudent dans l'utilisation des données issues de cette étude. Lors des enquêtes réalisées auprès des industriels, la notion même de déchet était sujette à interprétation selon les interlocuteurs : « Généralement, les déchets sont les matières, destinées à l'abandon, qui restent après la valorisation de la production principale, mais peuvent également constituer des coproduits ou sous-produits. Il s'agit donc très souvent de productions de seconde ou de troisième « main », car les IAA cherchent à optimiser l'essentiel des matières et à tirer parti de tout ce qui peut être valorisable d'une façon ou d'une autre, et sont constamment à la recherche de débouchés et de nouvelles filières. On peut également estimer que les « sous-produits » et « coproduits » désignent des matières qui trouvent marché. Les déchets désignent des matières qui n'en trouvent pas.

Il s'agit de la difficulté principale dans ces exercices d'évaluation des gisements de déchets organiques : les entreprises qui remplissent les questionnaires n'ont pas toutes la même façon d'appréhender la notion de déchets et de sous-produits, et le fait qu'ils inscrivent un volume de sous-produits ne renseigne en rien sur leur intention et leur intérêt à envoyer ce sous-produit dans une unité de méthanisation.

Par exemple les amidonneries se considèrent comme des industries à zéro déchet, car tout est valorisé. Les seuls déchets produits sont les matières organiques présentes dans les effluents de process, et quelques matières solides représentant une très faible fraction des matières brutes entrantes.

En revanche, on peut concevoir d'utiliser les drèches en méthanisation plutôt qu'en alimentation animale, selon le contexte, notamment quand les marchés des aliments pour le bétail sont peu dynamiques, rendant la filière énergétique comparativement plus intéressante.

De même, un fabricant de maïs doux assure n'avoir que 1 000 t de déchets pour un projet de méthanisation qui le sollicite, tandis qu'en réalité il en produit 70 000 t, écoulées chez des fabricants d'aliments pour animaux actuellement, et qu'il réfléchit à un projet de méthanisation en propre.

Ainsi, l'ensemble des études traitent davantage des sous-produits et co-produits que des déchets proprement dits et qui s'avèrent quasi-inexistants.

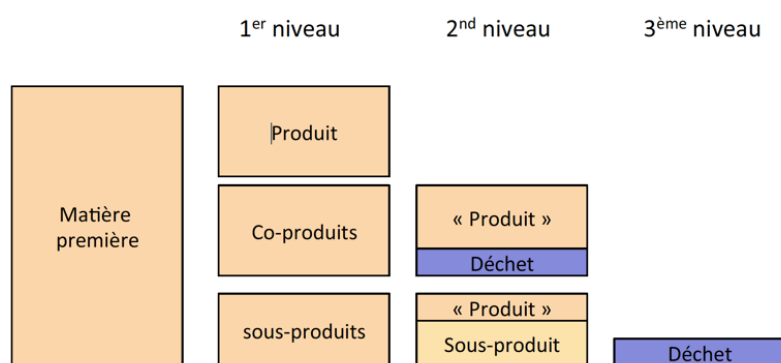


Figure 4 : Les déchets sont les résidus de process de transformation à différents niveaux

Les gisements identifiés et les ratios associés dans la présente étude reflètent donc les déchets et les sous-produits à faible valeur ajoutée.

Les conditions de mobilisation pour la méthanisation sont très difficiles à estimer : elles dépendent très fortement du contexte local, des filières déjà en place et de la stratégie de l'entreprise.

Les ratios utilisés in fine sont les suivants :

Tableau 9 Ratios de production de déchets des IAA en tMS/salariés suivant le code APE

Description activité	APE	Ratio choisi tMS
Production de viandes de boucherie	1011Z	5,6
Production de viandes de volailles	1012Z	4,7
Préparation industrielle de produits à base de viandes	1013A	1,6
Charcuterie	1013B	1,5
Industrie du poisson	1020Z	1,4
Transformation et conservation de pommes de terre	1031Z	5,6
Préparation de jus de fruits et légumes	1032Z	9,9
Transformation et conservation de légumes	1039A	4,3
Transformation et conservation de fruits	1039B	4,8
Fabrication d'huiles et graisses brutes	1041A	9,6
Fabrication d'huiles et graisses raffinées	1041B	8,9
Fabrication de margarine et graisses comestibles similaires	1042Z	8,9
Fabrication de lait liquide et de produits frais	1051A	1,4
Fabrication de beurre	1051B	3,2
Fabrication de fromages	1051C	6,0
Fabrication d'autres produits laitiers	1051D	3,5
Fabrication de glaces et sorbets	1052Z	3,2
Meunerie	1061A	6,1
Autres activités du travail des grains	1061B	6,1
Fabrication de produits amylacés	1062Z	5,6
Fabrication industrielle de pain et de pâtisserie fraîche	1071A	0,6
Cuisson de produits de boulangerie	1071B	0,8
Boulangerie et boulangerie-pâtisserie	1071C	2,3
Pâtisserie	1071D	0,6
Biscotterie, biscuiterie, pâtisserie de conservation	1072Z	4,8
Fabrication de pâtes alimentaires	1073Z	0,3
Fabrication de sucre	1081Z	0,4
Chocolaterie, confiserie	1082Z	5,2
Transformation du thé et du café	1083Z	1,7
Fabrication de condiments et assaisonnements	1084Z	0,4
Fabrication de plats préparés	1085Z	3,4
Fabrication d'aliments adaptés à l'enfant et diététiques	1086Z	1,7
Fabrication d'autres produits alimentaires n.c.a.	1089Z	1,1
Fabrication d'aliments pour animaux de ferme	1091Z	0,8
Fabrication d'aliments pour animaux de compagnie	1092Z	2,3
Fabrication de spiritueux	1101Z	5,3
Champagnisation	1102A	0,2
Vinification	1102B	15,6
Fabrication de cidre et de vins de fruit	1103Z	22,0
Production d'autres boissons fermentées non distillées	1104Z	4,7
Brasserie	1105Z	11,6
Malterie	1106Z	26,2
Industrie des eaux de table	1107A	0,0
Production de boissons rafraîchissantes	1107B	1,2

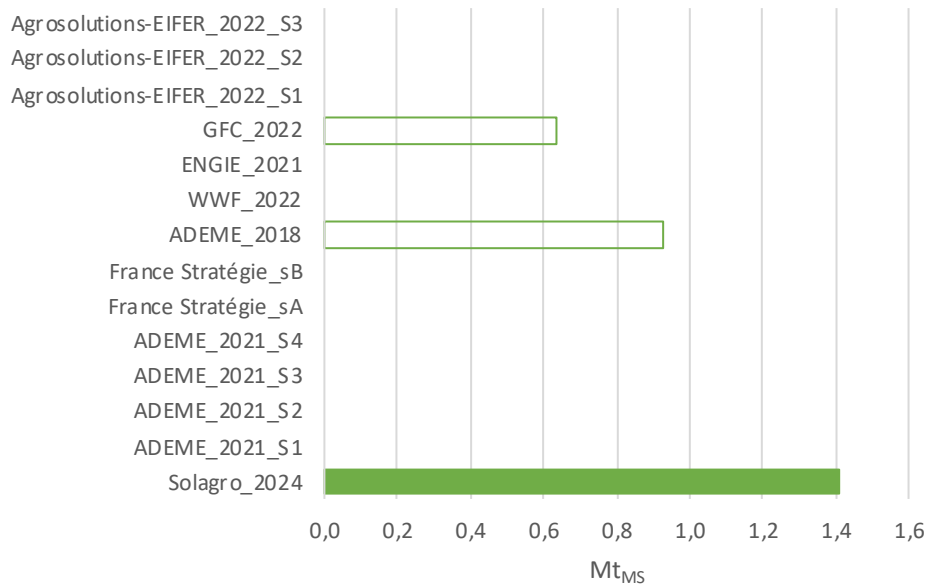
On ne considère aucune évolution entre 2010 et 2050.

Seules les entreprises de plus de 10 salariés ont été recensées.

## 7 FICHE 7 : BOUES DE STEP

### 7.1 Comparaison aux autres études - 2050

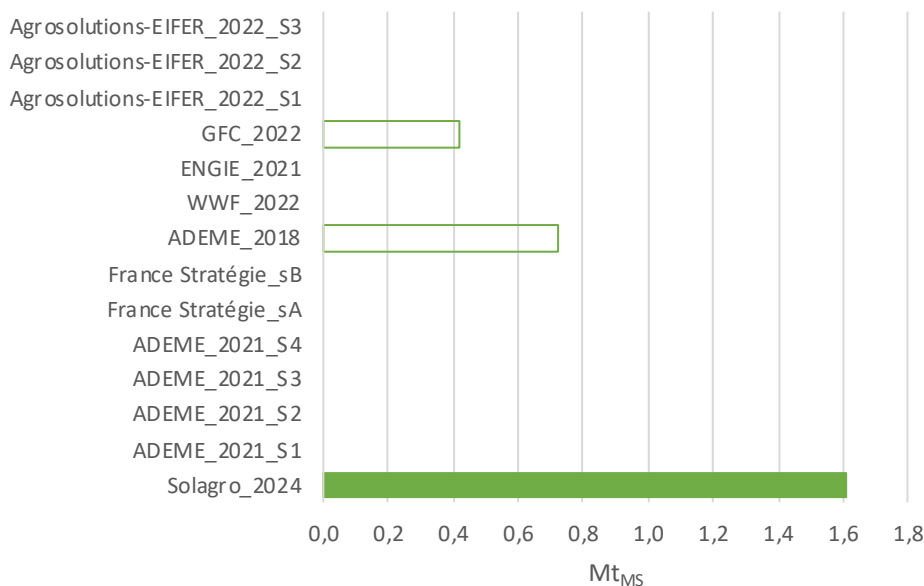
Ce résultat fait consensus parmi les autres études de la bibliographie : les divergences (entre 0,6 et 1,5 MtMS) sont liées à la taille minimale de STEU jugée compatible pour l'ajout d'une étape de méthanisation. À noter que la gazéification hydrothermale n'est pas considérée dans ces études et pourrait voir abaisser le seuil de la taille minimum.



## 8 FICHE 8 : DÉCHETS VERTS

### 8.1 Comparaison aux autres études - 2050

Les deux évaluations présentées sont plus faibles en raison d'un périmètre d'analyse restreint aux fauchés de bord de route. Notre évaluation est proche de celle de GFC et plus faible de ADEME 2018 en raison de la prise en compte de retours d'expérience moins optimistes.



### 8.2 Détails méthodologiques

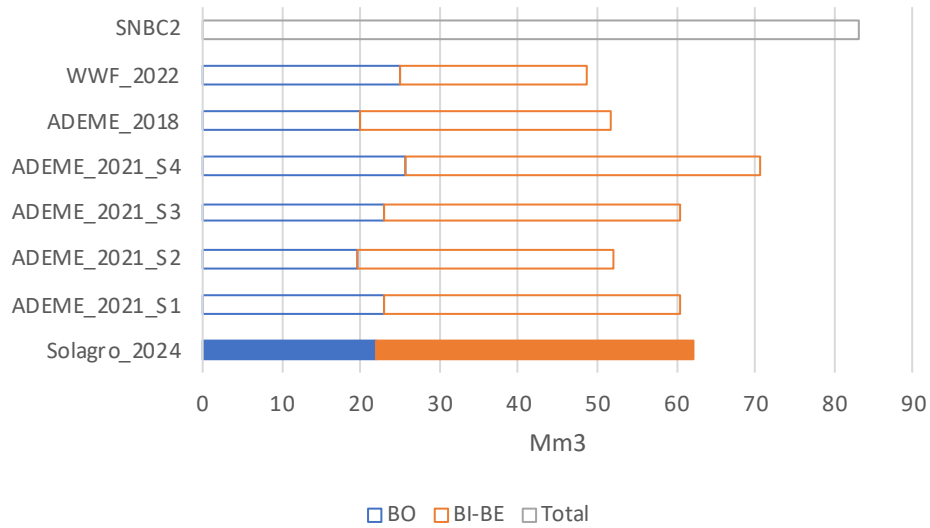
Tableau 10 - Ratios issus de l'étude "Audit des plateformes de compostage de déchets organiques en France - ADEME, CEDEN, Biomasse Normandie (2008)"

Climat	kg DV/hab/an
Océanique dégradé	109
Océanique	161
Continental	52
Montagnard	45
Méditerranéen	96

## 9 FICHE 9 : BOIS FORÊT

### 9.1 Comparaison aux autres études - 2050

L'évaluation proposée se situe dans la moyenne des scénarios des autres études.

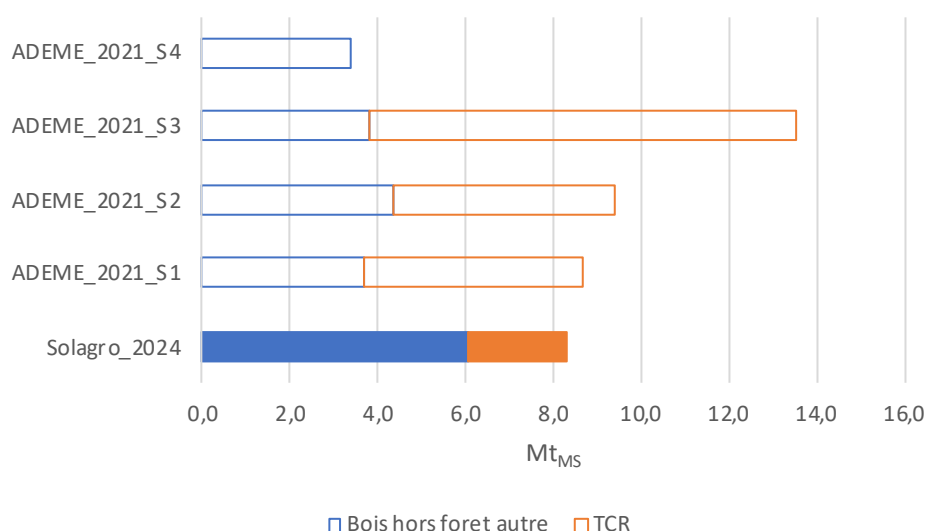


## 10 FICHE 10 : BOIS HORS FORÊT

### 10.1 Comparaison aux études existantes - 2050

Les scénarios de l'ADEME intègrent les cultures énergétiques, dont les TCR de manière plus ambitieuse que la vision de Solagro (y compris dans le scénario S1). Cela provient notamment d'une hypothèse de rendements moindre pour les TCR dans Afterres, qui conçoit cette filière comme plus extensive.

Concernant les autres filières hors forêt, Afterres 2050 prévoit une augmentation importante de la mobilisation des bois de vergers et bocagers, et ces compartiments ne sont pas détaillés par l'ADEME.



### 10.2 Détails méthodologiques

#### 10.2.1 Définition et mode de production

Le bois hors forêt est constitué de la récolte provenant des ressources suivantes :

- Le bois bocager, restreint au bois d'entretien des haies en milieu rural ;
- Le bois des parcs et jardins, correspondant à la fraction ligneuse des déchets verts ;
- Les bois de vignes et vergers, restreints aux bois issus de l'arrachage des vignes et vergers lors de leur renouvellement ;
- Les bois issus de l'agroforesterie ;
- Les bois obtenus à partir de taillis à courte rotation (TCR) ou taillis à très courte rotation (TTCR).

#### **Bois bocager**

Les haies présentent des intérêts majeurs en tant qu'infrastructures agroécologiques. Au-delà de leur fort intérêt en termes de biodiversité, elles répondent à des enjeux agronomiques tels que la lutte contre l'érosion des sols et les inondations, le stockage de carbone, la protection des cultures contre le vent, confort thermique des animaux au pâturage...

Une diminution constante du linéaire de haies est observée depuis les années 1960 du fait de l'agrandissement des exploitations agricoles (remembrements fonciers), de surexploitation, et de mauvaises pratiques. De fait, les haies sont encore souvent perçues comme des éléments négatifs par le milieu agricole : perte de surface, contraintes d'entretiens pour la PAC, non rémunération... Ceci tend à expliquer que, malgré le développement des programmes publics de soutien à la plantation de haies en France depuis plus de 40 ans, la tendance de disparition des

haies et d'alignement se poursuit, et même s'accélère avec un doublement du rythme de disparition annuelle depuis 2017. Ainsi, le linéaire de haies aujourd'hui estimé à environ 700 000 km, a connu une perte d'environ à 23 500 km/an entre 2017 et 2021<sup>16</sup>. Compte tenu de ces enjeux, il convient de restreindre le périmètre de la ressource en bois bocager **uniquement au bois produit lors de l'entretien des haies**. Par ailleurs, les haies en milieu urbain et les alignements d'arbres ne sont pas pris en compte dans l'estimation du potentiel de production de biomasse bocagère de la présente note, car difficilement quantifiable et très souvent utilisé en BRF par les services espaces verts (une partie est également comptabilisé dans la ressource parcs et jardins).

Le bois bocager ainsi défini est obtenu lors de l'entretien des haies. Il s'agit généralement de coupes d'élagage réalisées manuellement, puis directement broyées sur place, produisant ainsi une plaquette bocagère. En milieu rural, l'entretien de certaines haies est essentiel pour éviter l'enfrichement des terrains agricoles, ou pour des raisons de sécurité par rapport au risque de tempêtes et incendie. En l'absence de tels enjeux, l'entretien est souvent délaissé car coûteux et parfois complexe. Les pratiques d'entretien sont très hétérogènes. Les tailles latérales (dites « au carré ») sont très pénalisantes pour la végétation, et compromettent le potentiel de production de biomasse à terme. Au contraire, les techniques sylvicoles (recépage, balivage) pratiqués par cycle de 12-20 ans offrent un potentiel important. De telles pratiques sont notamment encouragées par le Label Haie, marque propriété de l'AFAC-Agroforesterie et de l'OFB. La perspective de valorisation du bois d'entretien en bois-énergie est un levier pour financer les travaux d'entretien. Cela favorise le maintien des haies en bonne santé, à condition que cet entretien soit pratiqué dans de bonnes conditions. A contrario, un signal économique très favorable à l'utilisation de bois bocager pourrait conduire à des dérives, voire accélérer la disparition du linéaire de haies.

### ***Bois de parcs et jardins***

Le bois issu de l'entretien des parcs et jardin inclut ici :

- La fraction ligneuse des déchets verts, collectée par le service public de gestion des déchets (déchetteries, collectes au domicile, ...)
- La partie non collectée des déchets verts produits par les particuliers et utilisés à des fins énergétiques (partie ligneuse), y compris le produit des coupes d'élagage dans les parcs et jardins (et/ou abattage).

Une grande partie de ces volumes est auto-consommée par les particuliers sous la forme de bois domestique (bois bûche). Les autres bois d'élagages non collectés peuvent être broyés sur place, auquel cas ils sont généralement réutilisés directement en tant que paillage.

### ***Bois de vigne et de vergers***

La question du bois issu des vergers est délicate et complexe, en raison de la diversité des espèces fruitières concernées et donc de la diversité des modes de tailles (conduite). Les vignes et vergers produisent plusieurs types de ressources ligneuses, que l'on peut distinguer entre le bois produit annuellement (sarments de vignes, bois d'entretien de verger) et les bois produits lors du renouvellement (ou arrachage définitif). Ces bois sont ensuite soit broyés (pour usage en paillage ou très marginalement en énergie), soit mis en andain et brûlés.

Le bois issu de l'entretien des vignes et vergers représentent des volumes annuels constants, mais relativement faibles et fragmentés, complexifiant leur utilisation dans les filières énergétiques. Par ailleurs, la voie de valorisation conventionnelle de ces matières est leur retour au sol, qui présente des avantages agronomiques intéressants, notamment pour la vigne dont

---

<sup>16</sup> Extrait de « Publication de chiffres récents sur la disparition des haies en France, Afac-Agroforesteries & Solagro, 13 février 2023 ».



les sols souffrent généralement d'une faible teneur en matière organique<sup>17</sup>. Pour ces raisons, le bois d'entretien des vergers et les sarments de vignes ne sont pas considérés comme des ressources mobilisables pour de nouveaux usages, notamment énergétiques.

Parallèlement, les cycles de culture viticoles et arboricoles nécessitent un renouvellement régulier des arbres ou des cep, tous les 25 à 30 ans environ, afin de maintenir une bonne productivité et aussi de changer les variétés et les cépages pour répondre à l'évolution de la demande (marché, filière), à l'émergence de nouveaux ravageurs ou résistances, et s'adapter au changement climatique. Par ailleurs, la surface agricole dédiée à la production viticole diminue (- 5 % en 10 ans), engendrant également des arrachages définitifs de cep. C'est cette ressource qui est prise en compte dans la présente note.

Contrairement aux haies, les bois issus des vignes et vergers peuvent être traités, parfois lourdement, ce qui suscite des interrogations vis-à-vis de leur utilisation en énergie pour des raisons de qualité de l'air. A ce sujet, il est important de noter que les bois issus de vignes et vergers qui ne sont pas broyés et réutilisés sur place sont pour une part importante brûlés en bout de champs. En comparaison, l'utilisation de ces produits dans les filières dédiées à l'énergie permettrait, non seulement de valoriser leur part énergétique, mais également d'assurer un traitement des fumées. Par ailleurs, les campagnes d'analyse de combustion de la qualité du bois de vigne<sup>18</sup> ont montré que les cep et sarments respectaient la norme Bio Combustible NF 444 (avec des valeurs de concentrations en éléments traces métalliques cependant plus élevées que pour le bois énergie, notamment en zinc). Une autre difficulté de valorisation tient également des qualités physiques de ces bois, parfois plus fibreux ou souillés (terre, cailloux...).

### **Bois d'agroforesterie**

L'agroforesterie correspond à la plantation d'arbres à l'intérieur de parcelles agricoles, en association avec des cultures ou des prairies. Après de premières expérimentations dans les années 1990, cette pratique se développe réellement depuis les années 2010. Elle reste à l'heure actuelle anecdotique, avec une surface estimée entre 20 000 à 25 000 ha en 2022, soit à peine 0,1% de la surface agricole française. Ces surfaces, ainsi que celles nouvellement plantées, ne constitueront pas une ressource de biomasse pertinente à court et moyen terme, car les arbres ne deviennent productifs qu'après au moins 15 à 20 ans voire beaucoup plus lorsqu'ils sont destinés à de la production de bois d'œuvre. Cette ressource n'est donc pas davantage développée ni présentée dans les résultats.

### **Bois de TCR et TTCR**

Les taillis à courte rotation (TCR) ou à très courte rotation (TTCR) désignent des exploitations de cultures ligneuses ayant une faible durée de révolution, respectivement de l'ordre de 5 à 10 ans et de 2 à 4 ans. Pour rester classées en terres agricoles et donc être éligibles aux aides de la PAC, les parcelles implantées en TCR doivent être remises en état culture au bout de 21 ans. Des systèmes hybrides entre la haie et les TCR peuvent également être envisagés sous la forme de bandes TCR compartimentant des parcelles agricoles.

Les T(T)CR sont encore peu développés et posent des questions environnementales encore peu documentées. Premièrement, le mode d'exploitation en coupe rase soulève des problèmes en ce qui concerne l'impact sur la biodiversité. Ensuite, certaines essences pourraient également avoir un caractère invasif ou rendre difficile la remise en culture des parcelles. Enfin, la remise en culture d'une parcelle nécessite des travaux de dessouchage ayant de forts impacts sur les sols.

A l'inverse, en plus de contribuer à produire une ressource renouvelable, les TCR et TTCR rendent des services écologiques non négligeables. Ils peuvent être conduits à bas niveau d'intrants et ainsi participer à l'amélioration de la qualité de l'eau, en particulier pour protéger les

---

<sup>17</sup> En viticulture, le broyage et la restitution des sarments de vigne au sol est le moyen le plus simple et le moins coûteux de faire un apport en MO non négligeable, représentant environ la moitié des exports.

<sup>18</sup> Programme GreenPellet

aires de captage pour l'alimentation en eau potable, en limitant le lessivage de l'azote. Ces cultures permanentes répondent aussi à l'enjeu de préservation des sols contre l'érosion, et facilitent l'infiltration de l'eau lors des épisodes de pluies intenses et de crues par l'amélioration de la structure du sol (augmentation du taux de matière organique du sol). Là où ces enjeux dominent, la production de biomasse en BI ou BE représente un levier de développement et une bonne opportunité de synergie.

D'importantes différences distinguent les TCR des TCCR du fait de leur durée du cycle d'exploitation, les densités pouvant ainsi varier d'un facteur 1 à 5, voire 1 à 10. En conséquence, du fait des espacements et de la taille des branches, le matériel de récolte peut passer d'un matériel spécifique en TCCR à du matériel similaire à celui employé par les forestiers. Le matériel de récolte peut constituer un frein majeur au développement de cette filière, car les territoires ne sont pas équipés de récolteuses de TCCR.

## 10.2.2 Méthode de quantification

### 10.2.2.1 *Bois bocager*

L'évaluation de la production de biomasse dans les haies est soumise à une grande incertitude en raison de l'absence d'études menées à l'échelle nationale sur cette ressource. Les données existantes à l'heure actuelle concernent essentiellement la Bretagne et la Normandie (ADEME 2009). Le bois issu de l'entretien des haies est calculé sur la base de la productivité des haies et du linéaire, décomposés selon les grandes catégories de haies : taillis-têtards, haies de futaie, haies de taillis, haies de taillis sous futaie, haies arbustives et haies basses taillées (considérées non productives).

#### 1. Estimation du linéaire de haies

Le suivi de l'évolution du linéaire de haies est entaché d'une certaine incertitude statistique liée aux changements de méthodes et d'outils (inventaire forestier IFN, enquêtes annuelles Teruti puis passage à Teruti-Lucas) au cours du temps. La base de données topographique de l'IGN (BD TOPO®), seule référence fiable disponible, fournit une estimation du linéaire en France, évalué à 1 550 000 km de haies et d'alignements pour la France métropolitaine en 2022. Cette valeur est reconnue comme étant très surestimée par rapport au linéaire réelle, pour des raisons méthodologiques de traitement de la donnée. Les études utilisant cette BDD appliquent donc une correction d'environ 25% pour que les chiffres soient cohérents avec les études disponibles par ailleurs (ADEME 2009).

De plus, les éléments arborés suivants sont exclus du champ de notre analyse :

- Les alignements d'arbres, calculés à partir d'un taux d'alignement dépendant de chaque région (ADEME 2009) ;
- Les haies en milieu urbain, par application d'un filtre géographique (zone tampon de 500 m) basé sur la base de données « Corine Land Cover ». En effet, les haies en milieu urbain sont peu exploitables, et le bois issu de leur entretien entrerait plutôt dans la catégorie des déchets verts.

Cette méthode conduit à une évaluation du linéaire de haies bocagères rurales de 748 000 km, cohérente avec l'ordre de grandeur attendu.

#### 2. Estimation de la productivité des haies

La productivité des haies valorisables en bois-énergie dépend largement du type de haies, des conditions pédoclimatiques et des essences. Au regard du peu de données de référence disponibles, la ressource de biomasse des haies est évaluée sur la base de coefficients de productivité de biomasse par grands types de haies de la région Bretagne (ADEME, 2009), redressée pour chaque région à partir d'un prorata sur l'accroissement annuel moyen dans les forêts de feuillus (données IFN).

*Tableau 11 : Productivité de référence retenue par type de haie*

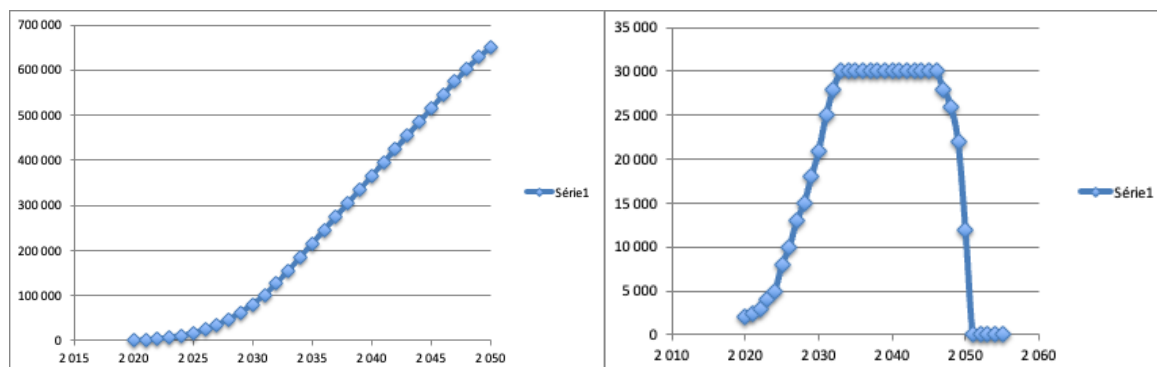
(MAP/km/an)	Haie arbustive	Haie de futaie	Haie mixte de taillis sous futaie	Taillis pur
Bretagne	8,5	9	15	20

Facteur de conversion : 1 mètre-cube apparent de plaquettes (MAP) = 0,25 tonne de bois sec

Pour la prospective à 2050, nous nous appuyons sur le déploiement des infrastructures agroécologiques envisagé dans le scénario 2 de l'ADEME, qui prévoit la plantation supplémentaire d'environ 650 000 km linéaires de haies. Ce linéaire est territorialisé sur la base de la répartition identifiée par l'IFN dans les années 60-70 (premier cycle d'inventaire IFN), en appliquant la même répartition qu'aujourd'hui en matière de typologie de haies. Pour chaque département, le linéaire de haies supplémentaires a été alloué en concentrant les plantations dans les communes ayant le moins de haies. Ainsi, le linéaire de haies bocagères agricoles en 2050 sera de 1,4 million de km, soit équivalent à celui des années 1960-70.

Le rythme de plantation de haies nouvelles est fondé sur une augmentation des plantations passant de 3 000 km/an (rythme actuel) à 30 000 km/an en 2032, puis le maintien de ce maximum sur la période 2032-2045, puis une diminution à partir de 2045 (cf. graphiques suivant).

Graphique 1 : évolution du linéaire de nouvelles haies en km (gauche) et rythme de plantation en km/an (droite) - Période 2020-2050



Les hypothèses de production associées aux haies supplémentaires sont :

- Une première exploitation à 15 ans (potentiel de 70% de la production d'une haie adulte) ;
- Puis une coupe d'exploitation tous les 15 ans avec une productivité de biomasse identique à celles des haies adultes actuelles.

Note : La productivité des haies nouvelles est considérée comme identique en 2050 à celle d'aujourd'hui. Cette hypothèse est incertaine en raison des impacts du changement climatique qui affecteront assez probablement la productivité des arbres hors forêt dans le futur, mais il aucune référence bibliographique ne permet d'en préciser l'importance sur le plan national ou local.

Cela se traduit par une ressource supplémentaire de 610 000 t MS/an en 2050, à ajouter à la ressource actuelle des anciennes haies de 1,7 Mt MS/an, soit une ressource en BIBE total de 2,3 Mt MS/an.

#### 10.2.2.2 Bois de parcs et jardins

Pour les déchets verts collectés par le service public, la méthodologie est identique à la quantification des déchets verts fermentescibles. La part ligneuse correspond au complément de cette part fermentescible, soit 50% du gisement total de déchets verts en tMB (voir fiche ressource F8). A noter dans une note récente du CIBE, il semblerait que seulement 15% de cette

ressource ait les qualités nécessaires pour être utilisée en Bois Energie<sup>19</sup>, bien que ce ratio n'ait pas été intégré dans les résultats présentés. Il existe en effet d'importants enjeux de qualités et de logistique sur cette ressource, actuellement majoritairement compostée. La récupération pour la filière bois-énergie nécessiterait par exemple de mettre en œuvre un tri des refus criblage sur les plateformes de compostage. La ressource présente par ailleurs souvent des inertes (silice) pénalisants pour la combustion.

Le bois dit « de récupération » correspond à la part utilisée par les particuliers ne provenant pas de circuits commerciaux, ni directement de l'exploitation d'une parcelle forestière, estimé à partir de l'enquête sur l'utilisation de bois domestique<sup>20</sup>. Actuellement, le gisement est évalué à 1 Mt MS, et une réduction est envisagée à horizon 2050, avec une diminution tendancielle de l'auto-provisionnement en bois domestique.

#### 10.2.2.3 Bois de vigne et de vergers

Une précédente étude de l'IFN, FCBA et Solagro<sup>21</sup> (2009) évalue la quantité de bois issus des vignes et des vergers en fonction de leur surface agricole. Seul le bois produit lors du renouvellement des vignes et vergers est pris en compte, c'est-à-dire lors de leur arrachage pour renouvellement (tous les 20 à 30 ans environ). Le bois d'entretien annuel est en effet considéré comme non mobilisable, car utilisé sur place dans l'exploitation broyage/paillage.

- Les surfaces de vignes et vergers sont issues du RPG 2021 (complétées par les données du casier viticole).
- Le renouvellement des vignobles, environ tous les 30 ans, produit un gisement de ceps évalué à 0,3-0,4 tMS/ha/an (IFN, FCBA, et Solagro, 2009). La quantification se base sur une moyenne nationale de 1,8 tMS/ha/an de bois par vignoble, dont 0,3 tMS/ha/an de ceps et 1,5 tMS/ha/an de sarments.
- Le renouvellement des vergers, environ tous les 20 ans, produit environ 1,6-1,7 tMS/ha/an (IFN, FCBA, et Solagro, 2009). La quantification se base sur une production moyenne de 3,1 tMS/ha/an de bois par verger (toutes essences confondus).

En 2050, le scénario Afterres prévoit un doublement des surfaces de vergers, tandis que les surfaces de vignes diminuent légèrement. En considérant une interdiction totale du brûlage en bout de champ, cela induit un volume de bois énergie potentiel de 1,7 MtMS de biomasse ligneuse.

#### 10.2.2.4 TCR et TTCR

Le rendement retenu est de 8 tMS/ha (hypothèse basse, pour une fourchette allant de 8 à 15 t MS/ha). Le choix de cette hypothèse de rendement repose sur une conduite extensive des TCR dans une perspective de multifonctionnalité (amélioration de la qualité de l'eau notamment). Cela implique un modèle de financement qui ne peut pas être basé exclusivement sur la rentabilité technico-économique, mais complétée par des dispositifs de paiements pour services environnementaux.

La production actuelle est d'environ 0,1 Mm<sup>3</sup>.

---

<sup>19</sup> CIBE, 2024, Note de synthèse sur la Sortie de Statut de Déchets e la fraction ligneuse des déchets verts (disponible sur : <https://cibe.fr/wp-content/uploads/2023/11/2023-APR-1-CIBE-D%C3%A9chets-verts.pdf>).

<sup>20</sup> ADEME, Solagro, Biomasse Normandie, BVA, 2018. Étude sur le chauffage domestique au bois : Marchés et approvisionnement. 97 pages.

Note : l'étude bois domestique a été actualisée en 2024, mais les nouveaux résultats n'ont pas pu être pris en compte dans la présente étude. Se référer à : PREMAM Marine, Biomasse Normandie, LECOUEY François, CEREN, COUSIN Stéphane, Hearth Connection, 2024. Situation du chauffage domestique au bois en 2022-2023. État des lieux du parc, des consommations et des approvisionnements. 129 pages.

<sup>21</sup> IFN, FCBA, Solagro. Biomasse forestière, populicole et bocagère disponible pour l'énergie à l'horizon 2020. [s.l.] : ADEME, 2009.

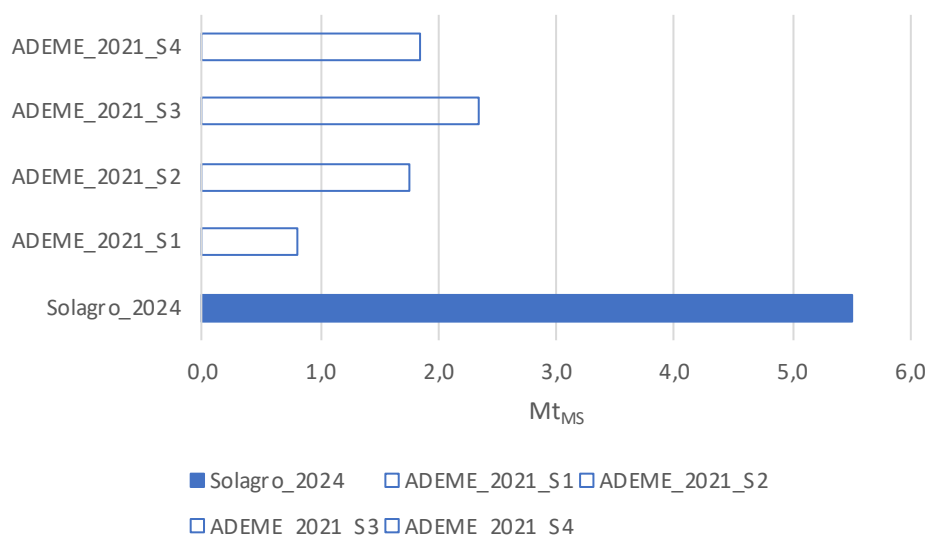
La production à 2050 est estimée sur une projection de 300 000 ha de TCR (5,5 Mm<sup>3</sup>/an), soit une politique de développement important de ces cultures.

En l'absence de recul sur la filière, on prend l'hypothèse que 100 % de la production pourrait être orienté vers la filière bois-énergie.

## 11 FICHE 11 : CONNEXES

### 11.1 Comparaison aux autres études - 2050

Aucun scénario prospectif identifié ne mentionne directement la quantité de connexes en tMS. Dans les scénarios ADEME, ces connexes sont allouées à la production de chaleur en industrie, réseaux de chaleurs et tertiaire. En prenant pour hypothèse un PCI moyen de 3 TWh/MtMB (40% humidité), les scénarios de mobilisation identifiés par l'ADEME sont assez inférieurs à la quantité de connexes identifiées par la méthodologie décrite ici.



### 11.2 Détails méthodologiques

Les connexes regroupent ici tous les sous-produits solides issus de la transformation du bois : écorces, sciures, chutes... On peut notamment distinguer :

- **Les connexes produits lors de la première transformation du bois d'œuvre en scierie.**

Les scieries transforment les grumes (bois rond) issues de l'exploitation forestières en matériau de bois massif utilisables pour la construction ou l'ameublement. Elles produisent trois grands types de déchets :

Les écorces issues de l'écorçage des grumes, qui représentent environ 10 % de la masse de grume sur écorce

Les sciures issues de l'épaisseur de la lame de scie. Ces pertes sont incompressibles et représentent environ 10-15 % massique

Les chutes de bois massif (notamment dosses, délignures, et chutes d'éboutage), correspondant à 20-30 % massique.

Les rendements de sciages finaux sont donc de l'ordre de 45% à 65% en fonction de l'essence (le rendement étant meilleur pour les résineux, plus rectilignes que les feuillus). Les chutes de bois massifs sont souvent broyées sur site, à destination d'usages matière (bois industrie) et énergie.

- **Les connexes produits lors de la deuxième transformation du bois d'œuvre.**

Les produits issus des scieries sont transformés en produits semi-finis (planches, etc.) qui produisent également des connexes relativement peu traités. Ces connexes peuvent également être broyées sur site.

- **Les connexes solides issus des procédés de transformation en bois industrie**

Les papèteries et unités de production de panneaux de bois ont écartent également une partie de la matière entrante, sous forme d'écorces, fines de broyage, chutes... La principale matière première utilisée est du bois broyé sous forme de plaquettes (issues d'arbres, connexes, ou déchets bois). Une partie de cette matière est utilisée pour alimenter les besoins énergétiques de l'unité de production. Cette matière n'est pas à destination première du bois énergie, et peut donc être comptabilisée en tant que connexes de transformation du bois utilisés à des fins énergétiques.

Une étude de l'INRA<sup>22</sup> documente les ratios d'utilisation des connexes dans les différentes filières. Les connexes disponibles sont calculés de la manière suivante :

$$CNX = CNX_{T1} + CNX_{T2} + CNX_{BI}$$

Avec :

$$CNX_{T1} = BO_i \times (1 - Rsci_i) \times AllocBE_{T1}$$

$$CNX_{T2} = BO_i \times Rsci_i \times (1 - R_{T2}) \times AllocBE_{T2}$$

$$CNX_{BI} = BI_{tot} \times AllocPAN \times (1 - R_{BI})$$

Où :

$$BI_{tot} = BI + BO_i \times ((1 - Rsci_i) \times AllocBI_{T1} + Rsci_i \times (1 - R_{T2}) \times AllocBI_{T2})$$

Avec :

- CNX : la quantité de connexes disponibles pour les filières énergétiques
- CNXT1 : la quantité de connexes issus de la première transformation du bois orientés vers le bois énergie
- CNXT2 : la quantité de connexes issus de la seconde transformation du bois orientés vers le bois énergie
- CNXBI : la quantité de connexes issus du bois industrie orientés vers le bois énergie
- BOi : la quantité de bois d'œuvre du groupe d'essence i (feuillus / résineux) collectée
- Rscii : rendement de sciage pour le groupe d'essence i
- AllocBET1 : part des connexes de la première transformation orientée vers le bois énergie
- RT2 : rendement matière de seconde transformation
- AllocBET2 : part des connexes de la seconde transformation orientée vers le bois énergie
- BI<sub>tot</sub> : bois industrie total (prenant en compte les connexes orientés vers le BI)
- AllocBIT1 : part des connexes de la première transformation orientée vers le bois industrie
- AllocBIT2 : part des connexes de la seconde transformation orientée vers le bois industrie

<sup>22</sup> INRA, & IGN. (2017). Annexes du rapport. Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ? Annexe 14.

Le tableau ci-dessous synthétise les ratios utilisés.

Tableau 12 : Ratios d'affectation des connexes vers les usages

		<b>Notation</b>	<b>Source</b>
<b>Bois d'œuvre</b>			
1ere transformation			
<i>Rendement R</i>	54%	Rsci,r	(1)
<i>Rendement F</i>	35%	Rsci,f	(1)
Allocation connexes			
<i>Vers BI</i>	39%	AllocBIT1	(1)
<i>Vers BE</i>	51%	AllocBET1	(1)
2e transformation			
<i>Rendement</i>	62%	RT2	(1)
Fin de vie			
<i>Tx BE</i>	35%	AllocBET2	(1)
<i>Tx BI</i>	26%	AllocBIT2	(1)
<b>Bois d'industrie</b>			
Allocation BI			
<i>Vers Panneaux</i>	51%	AllocPAN	(1)
<i>Vers pâte chimique</i>	40%	AllocPAPchim	(1)
<b>Filière panneaux</b>			
Rendement matière			
<i>Rendement</i>	49%	RBI	(1)
<b>Filière Pâte</b>			
Transformation pate vierge			
<i>Tx écorces/connexes</i>	10%	CNXPAP	(1)
<i>Tx pate</i>	40%	MSPAP	(1)
Rendement matière			
<i>Pâte chimique</i>	56%	RPAPchim	(1)
<i>Coefficient eau/adjuvants liqueurs noires</i>	139%	RatioLiqPAPchim	(1)



***Projection en 2050 :***

La vision prospective est adossée sur la récolte de bois d'œuvre et de bois industrie (voir fiche forêt). Les rendements matière et les ratios d'affectation des connexes sont considérés constants.

## 12 FICHE 12 : LIQUEURS NOIRES

### 12.1 Comparaison aux études - 2050

Aucune étude prospective ne mentionne spécifiquement le gisement de liqueurs noires.

### 12.2 Détails méthodologiques

La fabrication de pâte à papier chimique implique la séparation de la lignine et la cellulose du bois. La cellulose est le composant principal de la pâte à papier, tandis que la lignine extraite est dissoute dans un résidu liquide contenant également les solvants du procédé. Ce résidu, appelé liqueur noire, est épaissi puis brûlé sur site dans un four à liqueurs afin de fournir une partie de l'énergie nécessaire au procédé de fabrication (notamment le séchage de la pâte), et de régénérer les solvants (présents dans les cendres du four à liqueurs).

Une étude de l'INRA<sup>23</sup> documente les ratios d'utilisation des connexes dans les différentes filières. Les connexes disponibles sont calculés de la manière suivante :

$$CNX = CNX_{T1} + CNX_{T2} + CNX_{BI}$$

Avec :

$$CNX_{T1} = BO_i \times (1 - Rsci_i) \times AllocBE_{T1}$$

$$CNX_{T2} = BO_i \times Rsci_i \times (1 - R_{T2}) \times AllocBE_{T2}$$

$$CNX_{BI} = BI_{tot} \times AllocPAN \times (1 - R_{BI})$$

Où :

$$BI_{tot} = BI + BO_i \times ((1 - Rsci_i) \times AllocBI_{T1} + Rsci_i \times (1 - R_{T2}) \times AllocBI_{T2})$$

Avec :

- CNX : la quantité de connexes disponibles pour les filières énergétiques
- CNXT1 : la quantité de connexes issus de la première transformation du bois orientés vers le bois énergie
- CNXT2 : la quantité de connexes issus de la seconde transformation du bois orientés vers le bois énergie
- CNXBI : la quantité de connexes issus du bois industrie orientés vers le bois énergie
- BOi : la quantité de bois d'œuvre du groupe d'essence i (feuillus / résineux) collectée
- Rscii : rendement de sciage pour le groupe d'essence i
- AllocBET1 : part des connexes de la première transformation orientée vers le bois énergie
- RT2 : rendement matière de seconde transformation
- AllocBET2 : part des connexes de la seconde transformation orientée vers le bois énergie
- BI<sub>tot</sub> : bois industrie total (prenant en compte les connexes orientés vers le BI)
- AllocBIT1 : part des connexes de la première transformation orientée vers le bois industrie
- AllocBIT2 : part des connexes de la seconde transformation orientée vers le bois industrie

Les liqueurs noires sont calculées selon le même principe, en utilisant en plus des

---

<sup>23</sup> INRA, & IGN. (2017). Annexes du rapport. Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ?. Annexe 14.

données spécifiques aux filières de pâte à papier chimique<sup>24</sup> :

$$LN = BI_{tot} \times AllocPAP_{chim} \times (CNXPAP + MS_{PAP} \times (1 - RPAP_{chim})) \times RatioLiqPAP_{chim}$$

Avec :

- AllocPAPchim : part du bois industrie orienté vers les filières papetières chimiques
- CNXPAP : la quantité de connexes obtenus lors de la préparation de la pâte à papier (considérés comme mélangés aux LN)
- MSPAP : la quantité de matière sèche contenu dans le BI papier (sous écorce)
- RPAPchim : rendement matière (base MS) de pâte à papier chimique
- RatioLiqPAPchim : quantité de LN/quantité de MS

Le tableau ci-dessous synthétise les ratios utilisés.

Tableau 13 : Ratios d'affectation des connexes vers les usages

		Notation	Source
<b>Filière Pâte</b>			
Transformation pate vierge			
<i>Tx écorces/connexes</i>	10%	CNXPAP	(1)
<i>Tx pate</i>	40%	MSPAP	(1)
Rendement matière			
<i>Pâte chimique</i>	56%	RPAPchim	(1)
<i>Coefficient eau/adjuvants liqueurs noires</i>	139%	RatioLiqPAPchim	(1)

Les liqueurs noires sont actuellement entièrement mobilisées en énergie (autoconsommation en voie thermique). La mobilisation de ces ressources dans d'autres filières nécessiterait donc un changement d'affectation.

<sup>24</sup> COPACEL. (2022). Rapport statistique 2022 de l'industrie papetière française.

## 13 FICHE 13 : BOIS DÉCHETS

### 13.1 Comparaison aux autres études - 2050

Une étude ADEME est en cours de finalisation sur le sujet de la quantification du Bois B.

### 13.2 Détails méthodologiques

#### 13.2.1 Les sources de données

La quantification de la ressource se base sur une reconstitution de la filière de la production à la valorisation. Les principales sources d'informations disponibles à date sont :

- Le rapport annuel de Federec qui quantifie la quantité de bois produits et leur mode de valorisation
- L'étude Déchets Bois du Batiment (GDBat)
- La caractérisation des ordures ménagères collectées par le service public (Modecom 2017)
- La production de déchets d'activités économiques (DAE) : INSEE 2020
- Bilan national du recyclage (ADEME 2021)
- Chiffres de la REP DEA (ADEME 2023)

Ces différentes sources recouvrent un périmètre variable en termes de qualités de déchets (par exemple, une partie des DAE est géré par le service public), mais également en termes d'année de production de la donnée. La reconstitution du système aval nécessite donc de concilier ces données dans un modèle cohérent. Nous distinguons 3 niveaux dans la filière :

- La production de déchets
- La gestion des déchets
- La valorisation des déchets

La quantification des déchets collectés annuellement et leur caractérisation sont représentées par une moyenne des statistiques de FEDEREC sur les années 2018-2021 (à noter que la production a une tendance à la hausse). Ces chiffres sont corrigés sur la partie DEA pour mieux correspondre à la quantification effectuée par la REP : les valeurs comptabilisées en déchets d'ameublement sont remplacées par les chiffres de la REP DEA auxquels sont appliqués le ratio de bois dans les DEA (61%).

A cela s'ajoute également :

- La quantification des déchets de bois présents dans les OMR (Modecom)
- Les déchets non collectés qui sont estimés à environ 260 kt pour les ménages, et autant pour les entreprises <sup>25</sup>. Ce chiffre comprend les déchets qui sont produits mais passent hors circuits de collecte (dépôt sauvage, brûlage à l'air libre, utilisation en chauffage, réemploi...)

Par ailleurs, la description de ces déchets (en croisant notamment ces quantités avec les ratios observés dans les déchèteries du Modecom) permet d'estimer la qualité du bois obtenu (A, B, flux séparé, en mélange). En l'absence d'autres informations, il sera considéré que la collecte industrielle de bois produit des flux séparés

---

<sup>25</sup> Aucune étude publiée à ce jour permet d'objectiver ce chiffre, ce qui rend d'ailleurs délicat l'estimation de la production totale de bois déchet. Le rapport Solagro sur le bois de chauffage domestique indique une consommation de bois de récupération de 2,4 Mm<sup>3</sup>, sans distinguer la provenance exacte de ce bois (jardin, déchets, ...). En considérant que 20% de ce volume est du bois déchet, on obtient 261 kt de bois déchets pour les ménages, cohérent avec des dires d'acteurs de la filière qui estiment ce chiffre entre 200 et 300 kt. Un chiffre similaire est avancé pour les entreprises.

### 13.2.2 La situation actuelle

La quantification de la production de déchets bois est donnée dans le tableau ci-dessous :

Type de déchet	Moyenne 18-21 (Mt)	Bois A	Bois B seul	Bois B en mélange	Bois non trié	Non collecté	Source
<b>COLLECTE</b>							
REP PMCB - Déchet Bâtiment	0,27		0,27				FEDEREC
REP DEA - Déchet Ameublement	0,77			0,77			REP DEA
SGPD et déchèteries	1,86		1,09	0,28	0,49		FEDEREC & MODECOM
Emballages	0,99	0,99					FEDEREC
Collecte industrielle	1,27		1,27				FEDEREC
Bennes en mélange	1,55				1,55		FEDEREC
Bois déchets ordures ménagères	0,06				0,06		MODECOM
<b>TOTAL</b>	<b>6,77</b>	<b>0,99</b>	<b>2,63</b>	<b>1,05</b>	<b>2,10</b>		
<b>HORS COLLECTE</b>							
Non collecté - Ménages	0,26					0,26	Estimation
Non collecté - Entreprises	0,26					0,26	Estimation
<b>TOTAL</b>	<b>0,52</b>					<b>0,52</b>	
<b>TOTAL GISEMENT</b>	<b>7,29</b>	<b>0,99</b>	<b>2,63</b>	<b>1,05</b>	<b>2,10</b>	<b>0,52</b>	

Pour la partie traitement, la moyenne des ratios généraux de FEDEREC sont utilisés. En appliquant un jeu d'hypothèses, il est possible de déterminer quel type de bois est utilisé pour quel type de valorisation. On considère que :

- Tout le bois éliminé est du bois non trié. Le reste du bois non trié et non éliminé est valorisé en énergie en France
- Tout le bois A est valorisé en énergie (ADEME 2021), et cette énergie est à destination du marché Français
- Le reste du bois exporté est du bois B en flux séparé. Le reste de ce flux sert en priorité à alimenter la filière matière, et ce qu'il reste part en énergie. On fait une hypothèse de 0% d'élimination du bois B en flux séparé
- Le restant des volumes est issu des bois B en mélange

Cette répartition peut être traduite dans le tableau suivant :

	Moyenne 18-21 (Mt)	Bois A	Bois B seul	Bois B en mélange	Bois non trié
Exporté - énergie	0,2		0,2		
Exporté - matière	1,6		1,6		
FR - énergie	2,3	1,0		0,1	1,2
FR - matière	1,6		0,9	0,6	
Éliminé	1,2				1,2
TOTAL	6,77	0,99	2,67	0,77	2,34

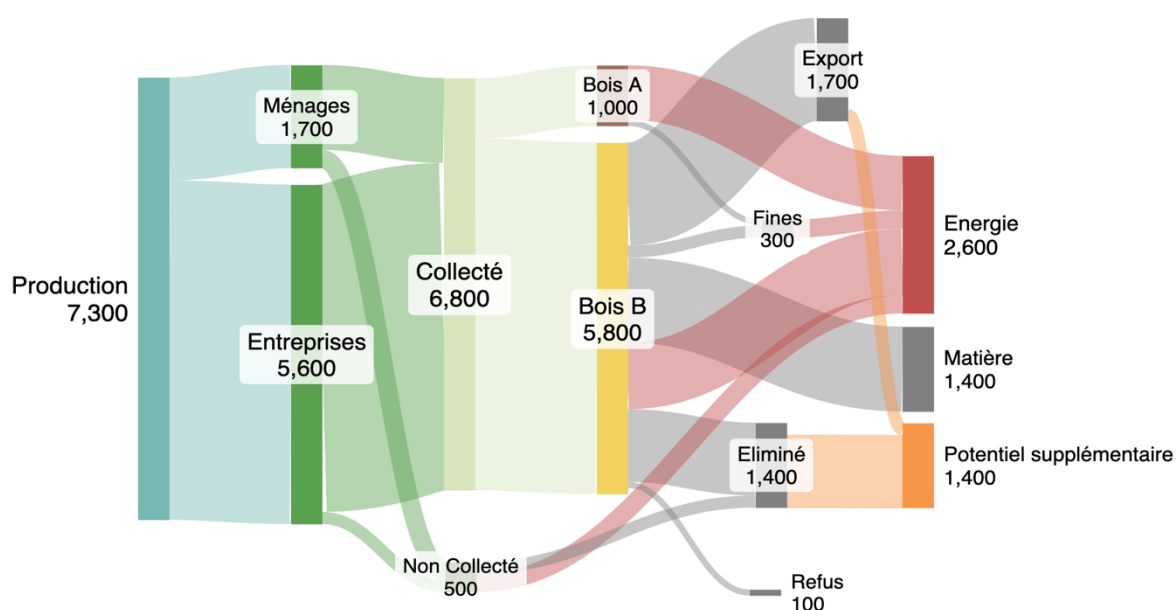
A partir des volumes estimés en fonction des types de bois, il est possible d'appliquer des coefficients de refus de tri et de fines de broyages, sur la base de GDBat. On fait les hypothèses suivantes :

- Pour le bois B en mélange et le bois non trié, refus de tri de 6%
- Pour tous les bois, perte de matière de 6% (fines). Ces fines sont valorisées en énergie

In fine, le bois disponible pour le marché énergétique français est composé des éléments suivants :

- Le bois B directement alloué au marché énergétique français (part déduite des refus et fines)
- La fraction fine issus du traitement des déchets de bois (tous usages confondus)
- L'usage domestique de bois déchet. L'hypothèse est faite que 100% du bois non collecté par les ménages est utilisé à ces fin, et 0% pour les entreprises.

Figure 5 – Production et utilisation du bois déchet (en kt/an) – Situation actuelle



### 13.2.3 Prospective à 2050

Pour la vision prospective, les hypothèses structurantes suivantes sont faites :

Maintiens du ratio déchet bois / consommation de produits bois finis. Ce ratio est actuellement de 73% (7,3 Mt de déchets pour 10 Mt de produits bois consommés). A horizon 2050 et en se basant sur le scénario de sobriété Négamat, le volume de produits bois consommé serait de 8,8 Mt soit 6,4 Mt de déchets en conservant le même ratio. Cette hypothèse implique le maintien d'un stockage de produits bois dans l'économie.

Amélioration du taux de collecte. La part non collectée est divisée par 2, essentiellement sur les entreprises. Le taux de collecte passe de 92% à 96%.

Division par 2 du taux d'élimination sans valorisation

Maintiens du ratio valorisation matière / Valorisation totale. Ce ratio est actuellement de 56%

Division par 2 de l'export de déchets bois pour la valorisation matière, et réduction à 0 des exports de déchets bois pour l'énergie. Ces hypothèses traduisent une relocalisation de l'utilisation liées à une forte demande intérieure.

Par ailleurs, pour le bouclage du modèle, un ensemble d'hypothèses supplémentaires sont nécessaires :

- Maintiens de la part ménage/entreprises dans la production de déchets
- Augmentation de la collecte de bois PMCB et ameublement à respectivement 1,3 et 1,1 Mt
- Proportion constante des emballages

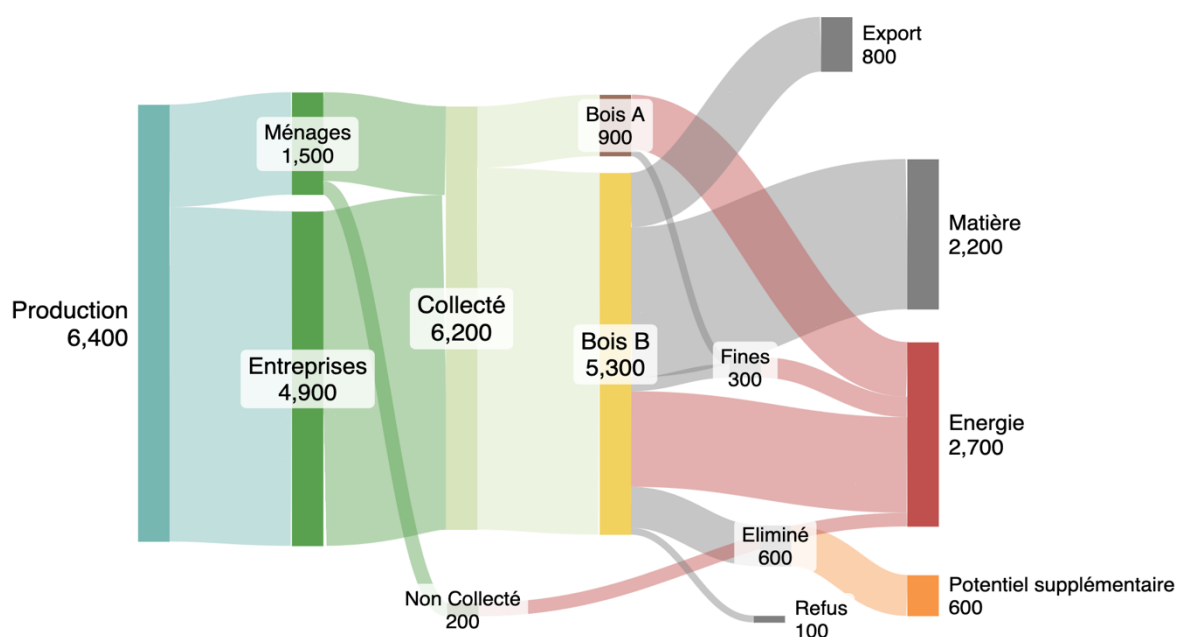
Avec le même mode de répartition des usages que précédemment, ce jeu d'hypothèse conduit à la vision prospective suivante :

Type de déchet	Moyenne 18-21 (Mt)	Bois A	Bois B seul	Bois B en mélange	Bois non trié	Non collecté
<b>COLLECTE</b>						
REP PMCB - Déchet Bâtiment	1,33		1,33			
REP DEA - Déchet Ameublement	1,13			1,13		
SPGD et déchèteries (hors REP)	0,97		0,83		0,14	
Emballages	0,87	0,87				
Collecte industrielle	0,83		0,83			
Bennes en mélange	1,01				1,01	
Ordures ménagères	0,05				0,05	
<b>TOTAL</b>	<b>6,19</b>	<b>0,87</b>	<b>2,99</b>	<b>1,13</b>	<b>1,20</b>	<b>0,00</b>
<b>HORS COLLECTE</b>						
Non collecté - Ménages	0,20					0,20
Non collecté - Entreprises	0,00					0,00
<b>TOTAL</b>	<b>0,20</b>					<b>0,20</b>
<b>TOTAL GISEMENT</b>	<b>6,39</b>	<b>0,87</b>	<b>2,99</b>	<b>1,13</b>	<b>1,20</b>	<b>0,20</b>

	Moyenne 18-21 (Mt)	Bois A	Bois B seul	Bois B en mélange	Bois non trié
Exporté - énergie	0,0				
Exporté - matière	0,8		0,6		
FR - énergie	2,5	1,0	0,1	0,8	0,9
FR - matière	2,4		1,9		
Éliminé	0,6				1,5
<b>TOTAL</b>	<b>6,19</b>	<b>0,99</b>	<b>2,67</b>	<b>0,77</b>	<b>2,34</b>



Figure 6 – Production et utilisation du bois déchet (en kt/an) – 2050



La vision prospective voit la ressource totale légèrement diminuer du fait des efforts en termes de sobriété, malgré une amélioration de la collecte et du tri.

Les déchets de bois sont une ressource sur laquelle il existe des tensions importantes. D'une part, les acteurs de l'énergie la mobilisent dans leurs plans d'approvisionnement (2,5 Mt supplémentaires, d'après les acteurs de la filière) ; et d'autre part les panneautiers ont largement développé leur outil de production pour utiliser les déchets bois, et prévoient également 5 % de croissance par an, par rapport aux 1,6 Mt actuellement utilisés (soit environ +1 Mt à horizon 2050). Le bois déchet supplémentaire total correspond au bois aujourd'hui éliminé, c'est-à-dire environ 1,2 Mt (sur la partie non exportée). Cette capacité est insuffisante pour couvrir à la fois les besoins en matière et en énergie. Il existe également une marge de manœuvre sur la réduction des exports, mais rien ne garantit que les flux soient relocalisés – la plupart des exports actuels étant des flux transfrontaliers dans la région du Benelux.

Les hypothèses prises ci-dessus vont dans le sens d'une légère priorisation aux filières matières nationales, et montrent que le gisement disponible pour le bois énergie resterait à peu près identique à celui actuel.

## 14 FICHE 14 : COMBUSTIBLES SOLIDES DE RÉCUPÉRATION (CSR)

### 14.1 Comparaison aux autres études - 2050

Une étude ADEME est en cours de finalisation sur le sujet de la quantification des CSR.

