



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



FranceAgriMer

ÉTABLISSEMENT NATIONAL
DES PRODUITS DE L'AGRICULTURE ET DE LA MER

LES
ÉTUDES

Étude de nouveaux
gisements de biomasse
végétale fermentescible,
et des conditions de
leur mobilisation pour la
méthanisation

Rapport



RAPPORT FINAL

Étude de nouveaux gisements de biomasse végétale fermentescible, et des conditions de leur mobilisation pour la méthanisation



Pour : FranceAgriMer



Contacts Solagro :

Céline PORHEL – celine.porhel@solagro.asso.fr

Céline LABOUBEE – celine.laboubee@solagro.asso.fr



SOMMAIRE

Sommaire	2
Tables des tableaux.....	4
Tables des figures	5
Abreviations.....	6
1 Methodologie de l'étude	7
1.1 Objectifs	7
1.2 Gouvernance.....	7
1.3 Périmètre de l'étude	7
1.4 Enquêtes de terrain	7
2 Estimation des potentiels déjà méthanisés	9
2.1 Méthode.....	9
2.2 Résultats.....	10
3 Les cultures intermediaires	11
3.1 Définitions	11
3.1.1 CIVE d'hiver	11
3.1.2 CIVE d'été	12
3.2 Exploitation des retours de terrain	13
3.3 Conditions de mobilisation	16
3.3.1 Interculture suffisamment longue.....	16
3.3.2 CIVE d'été : suffisamment d'eau à la levée.....	17
3.3.3 Rentabilité économique : le seuil de récoltabilité	17
3.4 Estimation quantitative	18
3.4.1 Méthode	18
3.4.2 Résultats	18
3.4.3 Tests de sensibilité.....	20
3.4.4 Répartition géographique	21
3.5 Impact de la mobilisation en méthanisation	23
4 Les residus de cultures.....	25
4.1 Définitions	25
4.2 Les conditions de mobilisation	25
4.2.1 Techniques de récolte	25
4.2.2 Usage actuel	27
4.2.3 Conditions de mobilisation	28
4.3 La méthode d'estimation.....	29
4.3.1 L'indice de récolte	29
4.3.2 La partie aérienne restant toujours au sol.....	29

4.3.3	Le maintien du potentiel agronomique de la parcelle.....	30
4.4	Les résultats de l'estimation	30
4.5	Impact de la mobilisation en méthanisation	31
5	Les surplus fourragers	33
5.1	Production actuelle.....	33
5.2	Estimation d'un surplus fourrager.....	35
5.3	Impact sur des ressources additionnelles pour la méthanisation	35
5.4	Impacts de l'export pour un usage méthanisation	37
6	Les bandes enherbées	38
6.1	Production de la ressource	38
6.1.1	Le cas de la silphie.....	38
6.1.2	Le cas des jachères	39
6.2	Conditions de mobilisation	39
6.3	Impacts de l'export pour un usage méthanisation	40
6.4	Estimation du potentiel.....	40
7	Les déchets verts.....	42
7.1	Production de la ressource	42
7.2	Conditions de mobilisation	42
7.3	Impacts de l'export pour un usage méthanisation	43
7.4	Estimation du potentiel.....	43
8	Les fauches de bord de route.....	45
8.1	Production de la ressource	45
8.2	Conditions de mobilisation	46
8.3	Impacts de l'export pour un usage méthanisation	46
8.4	Estimation du potentiel.....	47
9	Conclusion.....	48
10	ANNEXE – Bilans des dreals sur le parc de méthaniseurs.....	51
11	ANNEXE – Libellés des codes RPG	53
12	ANNEXE – Possibilités d'implantation des CIVE en zone NORD	54
13	ANNEXE – Possibilités d'implantation des CIVE en zone SUD	56
14	ANNEXE – Bibliographie CIVE	58
15	ANNEXE – Bibliographie sur les fauches de bord de route	59
16	ANNEXE – Cartes départementales des résultats des estimations.....	60

TABLES DES TABLEAUX

Tableau 1 Couverture thématiques des entretiens menés.....	8
Tableau 2 Parc français en méthanisation agricole et territoriale.....	9
Tableau 3 Lien entre tonnage et capacité (source : PRODIGE, ADEME 2022).....	9
Tableau 4 Ration moyenne retenue pour l'estimation des ressources déjà méthanisées.....	10
Tableau 5 Tonnages de matières brutes méthanisées annuellement en 2024 en France (Estimation Solagro).....	10
Tableau 6 Rendements en tMS/ha des CIVE d'été précoces.....	15
Tableau 7 Rendements en tMS/ha des CIVE d'été tardives.....	15
Tableau 8 Rendements en tMS/ha des CIVE d'hiver précoces.....	15
Tableau 9 Rendements en tMS/ha des CIVE d'hiver tardives.....	15
Tableau 10 Place des différents types de CIVE dans les zones "Nord" et "Sud".....	17
Tableau 11 Distribution de l'aléas climatique pour les CIVE d'été précoces (source : d'après CANARI-France).....	17
Tableau 12 Distribution de l'aléas climatique pour les CIVE d'été tardives (source : d'après CANARI-France).....	17
Tableau 13 Distribution de l'aléas climatique (Source : Solagro d'après SAA).....	18
Tableau 14 Rendements moyens obtenus après distribution de l'aléas climatique et application du seuil de récoltabilité.....	18
Tableau 15 Synthèse des impacts de la production de CIVE d'hiver à des fins de méthanisation.....	23
Tableau 16 Synthèse des impacts de la production de CIVE d'été à des fins de méthanisation.....	24
Tableau 17 Description des résidus de culture.....	25
Tableau 18 Indices de récolte (Irv) pour chaque type de culture (source : CITEPA, Arvalis).....	29
Tableau 19 Indice "PSS" extrait des paramètres de SIMEOS-AMG.....	30
Tableau 20 Tableau de synthèse des quantifications de résidus de culture.....	31
Tableau 21 Estimation de la production de fourrage à partir de la SAU en France.....	33
Tableau 22 Estimation des fourrages en fonction du cheptel.....	33
Tableau 23 Répartition des besoins en fourrage en France suivant les types de fourrage.....	35
Tableau 24 Résultats de l'estimation du potentiel méthanisable dans bandes enherbées en France métropolitaine (Solagro).....	41
Tableau 25 Climat des anciennes-régions (source : Solagro) et ratios de production de déchets verts bruts ramenés aux habitants (source : ADEME, CEDEN, Biomasse Normandie, 2008. Audit national des plateformes de compostage.).....	44
Tableau 26 Résultats de l'estimation du potentiel de déchets verts méthanisables (Solagro).....	44
Tableau 27 Résultats de l'estimation du potentiel méthanisable de fauches de bord de route en France (Solagro).....	47
Tableau 28 Tableau de synthèse des potentiels par ressource. Les potentiels méthanogènes sont issus de la BDD des BMP de Solagro.....	48
Tableau 29 Ration moyenne observée dans les méthaniseurs agricoles en Bretagne en 2021 (Source : DREAL Bretagne).....	51

Tableau 30 Ration moyenne observée dans les méthaniseurs agricoles en Bretagne en 2021 (Source : DREAL Pays de la Loire)	51
Tableau 31 Ration moyenne observée dans les méthaniseurs en 2021 (Source : DREAL Grand Est).....	51
Tableau 32 Bilan des tonnages annuels de ressources méthanisées en 2021 d'après les différents retours des DREAL.....	51

TABLES DES FIGURES

Figure 1 Distribution des enquêtes réalisées	8
Figure 2 Répartition des CIVE d'hiver suivant les bassins	19
Figure 3 Répartition des CIVE d'été suivant les bassins.....	20
Figure 4 Répartition des consommations actuelles de fourrages pour les bovins lait (Source : SOLAGRO)	34
Figure 5 Répartition des consommations actuelles de fourrages pour les bovins viande (Source : SOLAGRO)	34
Figure 6 : Source : « Livrable Combine - Revue technique et économique des chantiers d'entretien des accotements »	45
Figure 7 Variabilité dans les stratégies de fauches – Source : Étude COMBINE 2015	45

ABREVIATIONS

RPG : Registre Parcelaire Graphique

SAA : Statistique Agricole Annuelle

BMP : Biochemical Méthanogeneous Potential (Potentiel méthanogène)

IAE : Infrastructure AGROÉCOLOGIQUE

SAU : Surface Agricole Utile

CIVE : Culture Intermédiaire à Vocation ÉNERGÉTIQUE

Mt : Millions de tonnes

Kt : Milliers de tonnes

MS : Matière sèche

MB : Matière brute

1 METHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

1.1 Objectifs

FranceAgriMer a mis en œuvre depuis plus de 10 ans l'Observatoire National des Ressources en Biomasse (ONRB), outil de suivi de la biomasse en France. Concrètement, cette base de données donne une estimation de la quantité disponible de biomasse, ainsi que des usages énergétiques, alimentaires, non-alimentaires, dans l'objectif d'anticiper d'éventuels concurrences.

FranceAgriMer souhaite étendre le périmètre de cet observatoire à l'ensemble des matières végétales potentiellement méthanisables, notamment des ressources peu ou pas recensées, par exemple, les cultures intermédiaires, les prairies qui ne sont plus pâturées, les zones enherbées non traitées (ZNT), les déchets verts urbains etc.

L'objectif de cette étude est de quantifier ces ressources en précisant leurs contraintes de mobilisation.

1.2 Gouvernance

L'importance de ces résultats, basés sur des estimations et des interprétations de retours terrain, tient au consensus établi autour de leur méthodologie de production. Ainsi, FranceAgriMer a réuni un large comité de pilotage (COFIL) autour de cette étude qui a permis d'amender, d'améliorer et de confirmer les propositions faites par Solagro tout au long de l'étude et d'aboutir ainsi à une vision partagée.

Au-delà de Solagro, AgroSolutions et FranceAgriMer, le comité de pilotage a réuni des membres des organismes suivants : ADEME, IDELE, ARVALIS, INRA, AAMF, AILE, AGPB.

Ils ont été réunis lors de 5 réunions de travail.

L'étude a été présentée au sein de FranceAgriMer au GT Méthanisation et au CTI Bioéconomie.

1.3 Périmètre de l'étude

Les ressources étudiées dans cette étude sont les suivantes :

- Les Cultures Intermédiaires à Vocation Énergétique (CIVE) d'été
- Les Cultures Intermédiaires à Vocation Énergétique (CIVE) d'hiver
- Les résidus de cultures exceptées les pailles de céréales c'est-à-dire : les cannes de tournesol, de maïs, les pailles de colza et de soja, les fanes de betteraves, de pommes de terre
- Le surplus fourrager disponible suite à la réduction du cheptel
- Les bandes enherbées (SIE)
- Les fauches de bord de route
- Les déchets verts

Chaque ressource a donné lieu à une fiche de synthèse.

1.4 Enquêtes de terrain

Cette étude s'appuie notamment sur 30 enquêtes réalisées par Solagro et AgroSolutions.

Les enquêtes visent à recueillir les conditions de mobilisation de certaines ressources et les rendements et conditions de production. Les enquêtes ont été équitablement réparties sur le territoire.

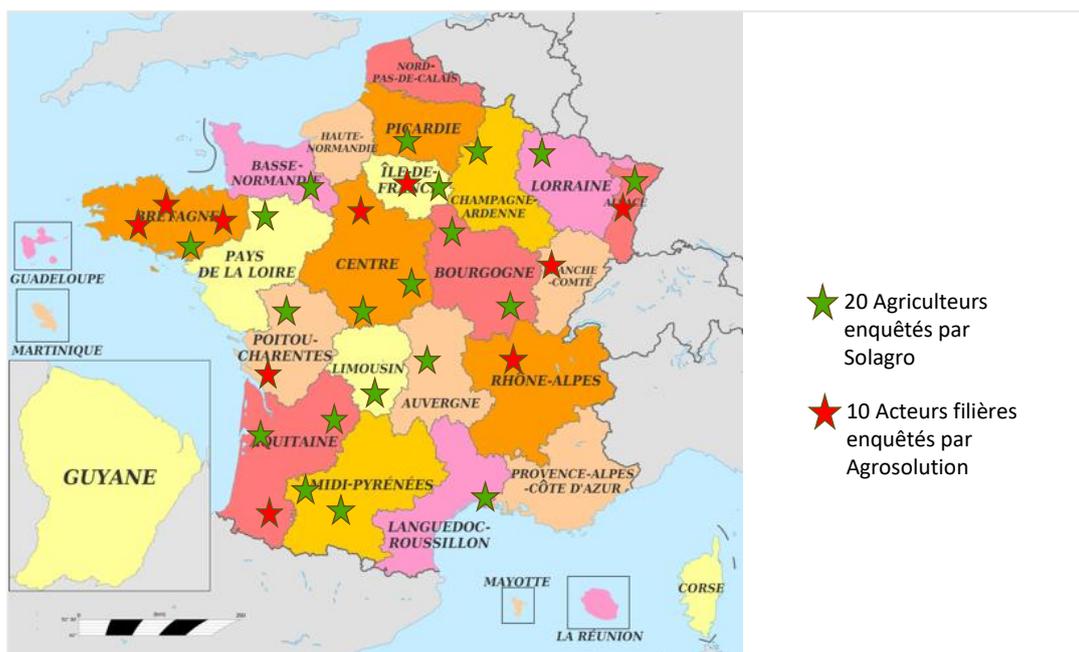


Figure 1 Distribution des enquêtes réalisées

En complément des acteurs de terrain, les experts suivants ont été interrogés :

- Hugo KECH – AILE – Chargé d'études en méthanisation
- Séverine DUCOTTET – Conseil régional d'Île de France
- Yves LEROUX - ENSAIA Université de Lorraine
- Guillaume COICADAN – AURA
- Gregory VRIGNAUD – ACE Méthanisation
- Laurent DRUOT – Dijon Céréales

Chaque entretien a été conduit pour couvrir l'ensemble des ressources mais tous les acteurs n'étaient pas toujours concernés par chacune des ressources.

Ces enquêtes ont finalement permis de couvrir le périmètre suivant :

	CIVE hiver	CIVE été	Paille céréale (Blé, triticale, orge, ...) + Colza	Menue Paille	Canne Maïs	Prairies	Bandes enherbées/ZNT	Fauches de bord de route	Déchets verts
TOTAL	15	11	-	3	6	5	2	3	3
Nord	3	2	-	1	-	1	-	-	-
Ouest	2	2	-	-	2	1	2	1	1
Est	3	1	-	-	1	2	-	1	1
Centre	2	2	-	-	-	1	-	-	-
Sud Est	1	1	-	-	1	-	-	-	-
Sud-Ouest	4	3	-	2	2	-	-	1	1

Tableau 1 Couverture thématiques des entretiens menés

2 ESTIMATION DES POTENTIELS DÉJÀ METHANISÉS

2.1 Méthode

Dans la suite du document, les estimations de potentiel de développement maximum annuel des ressources sont comparées aux tonnages annuels déjà méthanisés. L'estimation du tonnage déjà méthanisé a été réalisée par Solagro. En effet, les derniers bilans DREAL publiés ont été réalisés sur le parc 2021. Or, la capacité du parc français a presque doublé depuis 2021.

Le parc actuel des méthaniseurs a été établi à partir des bases Open Data Réseaux (ODRE)¹ tenues par RTE, Enedis, EDF SEI, ELD et GRTgaz, et qui recensent les points d'injection de biométhane et d'électricité à partir d'unité de méthanisation. Afin d'écartier des valeurs aberrantes dans la base des cogénérations, les unités de plus de 500kWel. après 2016 ont été écartées ainsi que celles de plus de 4MWel. avant 2016. En effet, il s'agit probablement d'erreurs d'affectation de catégorie.

Ainsi le parc retenu pour cette estimation est décrit ci-dessous.

Méthanisation agricole et territoriale hors stations d'épuration et ISDND	2021	2024
Cogénération	703 unités – 330 MWel.	799 unités – 350 MWel.
Biométhane	328 unités – 6 TWh/an	611 Unités – 11 TWh/an

Tableau 2 Parc français en méthanisation agricole et territoriale

L'étude PRODIGE réalisée en 2022 par l'ADEME² a établi un tonnage moyen entrant en digestion suivant la capacité de l'unité. Le tableau ci-dessous a donc été appliqué au parc 2024 pour estimer les tonnages aujourd'hui méthanisés.

Lien entre tonnage et capacité –PRODIGE ADEME 2022	
< 140 kW el	82 tMB/kW el.
Entre 140 et 300 kW el.	43 tMB/kW el.
> 300 kW el.	39 tMB/kW el.
< 120	152 tMB/Nm3/h
Entre 120 et 180 Nm3/h	148 tMB/Nm3/h
> 180 Nm3/h	100 tMB/Nm3/h

Tableau 3 Lien entre tonnage et capacité (source : PRODIGE, ADEME 2022)

Il s'agit ensuite de définir une ration moyenne afin d'estimer les tonnages déjà méthanisés suivant chaque catégorie.

Les rations suivantes ont été retenues après analyse des bilans établis par les DREAL Bretagne, Pays de la Loire, Grand Est (voir Annexe), des rations d'unités connues par Solagro, des retours PRODIGE ADEME 2022², la synthèse ADEME Injection Biométhane Avril 2021, et de l'étude FranceAgriMer publiée en 2022

¹ RTE, Enedis, EDF SEI, ELD. 2024. Cogénérations : <https://odre.opendatasoft.com/explore/dataset/registre-national-installation-production-stockage-electricite-agrege/export/>

GRTgaz. 2024. Injection biométhane : <https://odre.opendatasoft.com/explore/dataset/points-dinjection-de-biomethane-en-france>

² ADEME. 2022. Analyse technico-économique de 84 unités de méthanisation agricole

et visant à évaluer la ressource déjà méthanisée sur la base des retours DREAL, SDES, CA Grand Est et Biomasse Normandie.³

Catégorie de matières	Ration Cogénération	Ration Injection
Effluents agricoles	62,0%	40,0%
Résidus de cultures	2,0%	3,0%
CIVE	8,0%	23,0%
Cultures dédiées	6,0%	4,5%
Herbe	0,0%	0,0%
Déchets Verts	1,0%	1,0%
Déchets IAA Végétal	9,5%	19,0%
Déchets IAA Animal	4,0%	2,0%
Biodéchets	7,5%	7,5%
Boues de STEP	0,0%	0,0%

Tableau 4 Ration moyenne retenue pour l'estimation des ressources déjà méthanisées

2.2 Résultats

Ainsi, il a été établi que 28 millions de tonnes de matières brutes sont méthanisées chaque année en 2024 en France dans les unités de méthanisation agricoles et territoriales. On estime que ces tonnages se répartissent de la façon suivante :

Millions de tMB/an	Effluents agricoles	Résidus de cultures	CIVE	Cultures dédiées	Déchets verts	Déchets IAA Végétal	Déchets IAA Animal	Biodéchets
Cogénération	9	0,3	1	0,8	0,15	1,4	0,6	1,1
Injection biométhane	5,2	0,4	3	0,6	0,15	2,5	0,25	1,2
TOTAL	14,2	0,7	4	1,4	0,3	3,9	0,85	2,3

Tableau 5 Tonnages de matières brutes méthanisées annuellement en 2024 en France (Estimation Solagro)

Les surplus de fourrages et les boues de STEP apparaissent de façon anecdotique sur les unités.

Il n'a pas été possible de détailler le contenu des résidus de cultures ; cette catégorie inclut donc les céréales à paille.

³ FranceAgriMer. 2022. Ressources en biomasse et méthanisation agricole : quelles disponibilités pour quels besoins ?

3 LES CULTURES INTERMEDIAIRES

3.1 Définitions

Une CIVE est une culture implantée et récoltée entre deux cultures principales. Elle est décrite réglementairement dans le décret N°2022-1120 du 4 août 2022.

Les CIVE sont récoltées pour être valorisées sous forme d'énergie, le plus souvent en méthanisation.

En fonction de la période d'implantation, on distingue deux types de CIVE : les CIVE d'hiver et les CIVE d'été.

3.1.1 CIVE d'hiver

3.1.1.1 *Place dans la succession et choix de l'espèce*

Les CIVE d'hiver sont généralement :

- Implantées de la fin de l'été au début de l'automne, soit derrière une culture d'été de type maïs, sorgho ou tournesol, soit derrière une céréale d'hiver récoltée tardivement en été.
- Récoltées entre avril et fin mai selon le contexte pédoclimatique français.

Les CIVE d'hiver sont généralement des céréales précoces et robustes, comme le seigle fourrager, l'orge ou le triticale. Elles peuvent être implantées pures, ou en mélange avec 20 % de légumineuses (sans impact négatif sur le rendement).

Le choix de l'espèce est à raisonner en fonction du contexte pédoclimatique et de la succession culturale :

- Le seigle fourrager, seul ou en mélange de légumineuses, est la CIVE d'hiver la plus pratiquée jusqu'à présent selon les retours d'agriculteurs. Cette espèce très robuste permet de garantir une production acceptable sur les sols à potentiel agronomique moyen. Sur les sols profonds, cette espèce sera plus sensible aux risques de verse, pour lesquels il faudra adapter le niveau de fertilisation et la date de récolte.
- L'orge sera particulièrement recommandée sur les sols profonds à fort potentiel agronomique. Il est en revanche plus vulnérable à la jaunisse nanisante de l'orge.
- L'avoine sera particulièrement sensible au gel, donc a priori moins adapté dans le nord-est.
- En revanche le potentiel méthanogène des différences espèce n'est pas un élément déterminant, tous se valent, c'est bien le rendement de la culture à l'hectare qui fera la différence.

Afin de maximiser les chances de réussites, chaque étape compte.

3.1.1.2 *La date du semis de la CIVE d'hiver*

Le semis est une étape importante pour la réussite de la CIVE. Il est important de semer dans de bonnes conditions.

Les retours des agriculteurs ont indiqué qu'un semis fin septembre/début octobre permet une production de biomasse d'environ de 1 tMS/ha supplémentaire par rapport à un semis fin octobre/début novembre.

3.1.1.3 *La fertilisation de la CIVE d'hiver*

Les CIVE d'hiver valorisent très bien une fertilisation azotée allant de 70 à 120 UN/ha pour des rendements de 8 à 13 tMS/ha. Les retours des agriculteurs ont indiqué que cette fertilisation permet d'augmenter le rendement de biomasse de 2 à 5 tMS/ha. Elle est à raisonner en fonction des objectifs de production et de la date de récolte envisagée.

La fertilisation sera généralement apportée à la sortie de l'hiver, au moment de la reprise de végétation de la céréale.

Un apport de fertilisation à l'automne n'est généralement pas recommandé, générant un risque de lixiviation de l'azote et limitant l'effet « piège à nitrate » de cette culture intermédiaire. Si un apport d'azote à l'automne est envisagé, il est indispensable de faire au préalable une analyse de reliquat azoté.

La fertilisation des CIVE pourra se faire avec une fertilisation chimique ou du digestat, à raisonner en fonction de la portance du sol. L'épandage du digestat se faisant avec du matériel plus lourd, et il peut générer un tassement du sol s'il est réalisé sur un sol non portant.

3.1.1.4 La récolte de la CIVE d'hiver

D'après les retours des agriculteurs, sur ces CIVE d'hiver, 20 à 40 % du rendement se fait dans les dernières semaines avant la récolte (en moyenne + 1 à 2 tMS/ha/semaine sur cette période poussante fin avril/fin mai).

Ce constat pourrait conduire à une perte de production notable sur la culture principale suivante dans les cas suivants :

- Si un décalage de la date de semis de la culture principale suivante est avéré ;
- Si la CIVE est récoltée trop tardivement par rapport à l'implantation de la culture principale suivante, ne permettant pas au réservoir utile de se reconstituer suffisamment.

3.1.2 CIVE d'été

On parle de CIVE d'été lorsque le couvert est implanté après la moisson d'une céréale ou d'un protéagineux. Cette pratique est moins courante que les CIVE d'hiver, en raison de la prise de risque liée à une alimentation en eau non garantie.

Afin de maximiser les chances de réussites, plusieurs recommandations sont de mise.

3.1.2.1 Place dans la succession et choix de l'espèce

Selon Arvalis – Institut du Végétal, l'espèce implantée est à raisonner en fonction du couple date de semis et conditions pédoclimatiques :

- Pour un semis précoce et des conditions pédoclimatiques favorables, un maïs précoce ou un sorgho monocoupe précoce pourront être envisagés ;
- Pour un semis précoce ou tardif et des conditions pédoclimatiques assez favorables, on préconisera plutôt un sorgho multicoupe ou des mélanges productifs ;
- Pour un semis tardif dans des sols superficiels et des zones intermédiaires, il est recommandé de recourir à des semences à bas coût.

3.1.2.2 Date de semis de la CIVE d'été

Les CIVE d'été doivent être implantées le plus tôt possible après la récolte des céréales ou oléo-protéagineux d'hiver, mais pas avant le 1^{er} juin, ou le 15 juin selon les régions, sous peine d'être qualifiées de cultures principales, limitées à 15 % dans l'approvisionnement du méthaniseur.

Le couvert a tout au plus 3 mois pour se développer et réaliser son cycle avant le semis de la culture suivante à l'automne suivant : un cycle à la fois court et chaud.

L'eau est bien le premier facteur limitant des CIVE d'été, même si l'offre en somme de température peut être limitante pour des semis de juillet dans la moitié nord de la France.

Pour un semis au 10 juillet, les trois-quarts de la France cumulent moins de 10 mm sur 15 jours. Ce faible cumul est considéré comme insuffisant pour assurer une bonne levée. Cependant, cette période est favorable à des orages localisés qui sont des opportunités pour semer ces couverts. Conduire une telle culture en conditions pluviales présente donc une prise de risque pour les agriculteurs et pour l'approvisionnement des méthaniseurs.

Pour s'affranchir partiellement des contraintes hydriques, des essais explorent la possibilité de semer des espèces avant la moisson de la culture d'hiver précédente, afin de profiter des dernières pluies ou de la fraîcheur du sol. Cependant, les semis à la volée avant moisson ont montré une forte variabilité de succès. Un semis soigné tout de suite après moisson, piloté selon la séquence de pluies à venir, est préférable.

3.1.2.3 Fertilisation de la CIVE d'été

Une CIVE doit pouvoir se conduire avec le moins possible d'intrants. Une fertilisation azotée serait opportune si la culture est installée et présente un potentiel pour valoriser l'azote absorbé. Des essais ont montré que les CIVE d'été valorisent également les apports de digestat. Il faudra cependant être vigilant à réduire les risques de volatilisation de l'azote, en raisonnant l'apport selon la séquence de pluies et en adaptant le matériel.

3.1.2.4 Date de récolte de la CIVE d'été

Il n'est pas nécessaire d'attendre trop longtemps pour récolter une CIVE d'été. A l'inverse des CIVE d'hiver, le potentiel de la culture se détermine en début de cycle. Une récolte au début du mois d'octobre permettra d'implanter la culture suivante (une céréale d'hiver notamment) dans de bonnes conditions.

Les conditions climatiques à l'automne sont peu favorables à l'accumulation de biomasse : jours courts, premières gelées, pluies pouvant limiter l'accès aux parcelles...

L'objectif est de récolter la CIVE avec un taux de matière sèche proche de 30 %. Ce taux permet d'assurer l'ensilabilité et la conservation de la récolte. En dessous de ce pourcentage, les complications à la récolte peuvent être importantes et ralentir le débit de chantier.

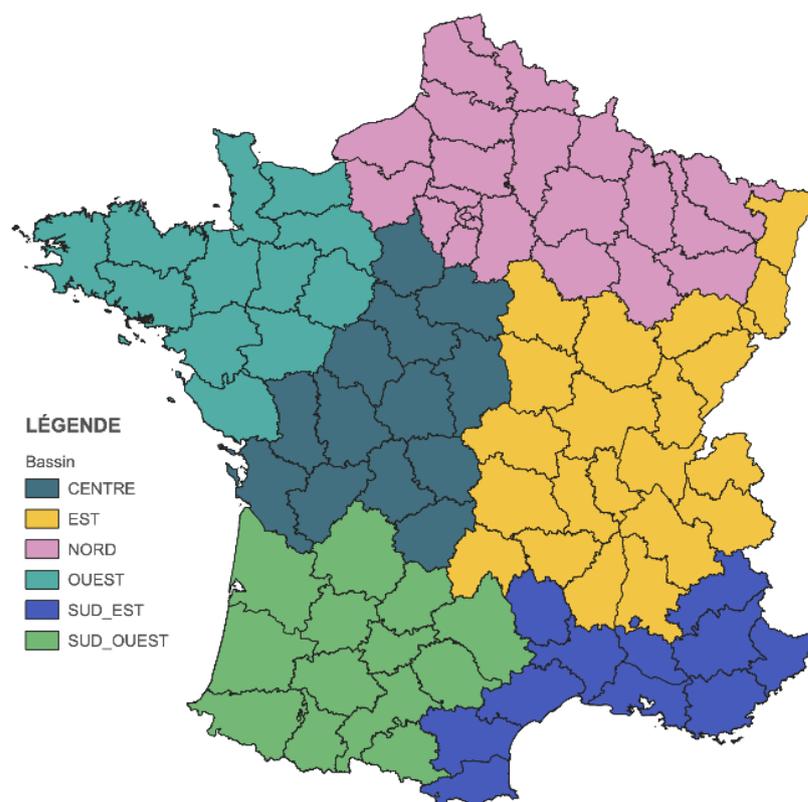
3.2 Exploitation des retours de terrain

Les entretiens ont permis de déterminer les rendements minimums, moyens et maximums observés sur des CIVE d'été et d'hiver dans 6 bassins de production.

Ainsi, afin de prendre en compte au mieux les spécificités terrain (contexte pédoclimatique, pratiques culturales), la France métropolitaine a été divisée selon 6 bassins de production (cf. carte ci-après) :

- La zone Nord (anciennes régions : Nord-Pas-de-Calais, Picardie, Haute-Normandie, Champagne-Ardenne) ;
- La zone Ouest (anciennes régions : Basse-Normandie, Bretagne, Pays de la Loire, Poitou-Charentes) ;
- La zone Centre (anciennes régions : Île-de-France, Centre, Auvergne) ;
- La zone Est (anciennes régions : Alsace, Lorraine, Bourgogne, Franche-Comté, Rhône-Alpes) ;
- La zone Sud-Ouest (anciennes régions : Limousin, Nouvelle-Aquitaine et Midi-Pyrénées) ;
- La zone Sud-Est (anciennes région Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur).

Bassins de production des CIVE



LÉGENDE

Bassin	
■	CENTRE
■	EST
■	NORD
■	OUEST
■	SUD_EST
■	SUD_OUEST

Réalisation :
Solagro - juin 2024

Les retours de terrain ont été analysés sous l'angle de la « durabilité ».

Par « durable », on entend pour les CIVE les critères suivants :

- Pas d'itinéraire technique intensif : fertilisation avec maximum 100 UN/ha, un nombre de passage minimum de produit phytosanitaire. Le niveau de fertilisation retenu est fixé selon les recommandations d'Arvalis Institut du Végétal, qui recommande une fertilisation de 70 à 100 UN/ha pour rendement jusqu'à 8 tMS/ha.
- Pas de date de récolte tardive impactant la mise en place de la culture principale suivante.
- Pas d'irrigation pour les CIVE d'été.

Ainsi, le retour de terrain pour lesquels il subsistait un doute sur leur « durabilité » (rendements trop élevés) ont été écartés.

Pour définir le potentiel de production des CIVE d'hiver précoces ou tardives, un travail bibliographique et de compilation de retours terrains ont conduit à la constitution d'une base de données (BDD) incluant plus de 600 références, permettant d'estimer :

- Un rendement moyen selon la date de récolte attendue, pour une année climatique moyenne ;
- Un rendement min et max, selon si l'année climatique était plutôt défavorable ou plutôt favorable.

Les rendements retenus sont donnés dans les tableaux ci-dessous.

Bassin	Rendement minimum en tMS/ha	Rendement moyen en tMS/ha	Rendement maximum en tMS/ha
CENTRE	5	7	8
EST	3,5	4,8	7,1
NORD	5	7	8
OUEST	5	7,6	8,2
SUD_EST	3,3	5,3	7,3
SUD_OUEST	4,08	6,24	8,4

Tableau 6 Rendements en tMS/ha des CIVE d'été précoces

Bassin	Rendement minimum en tMS/ha	Rendement moyen en tMS/ha	Rendement maximum en tMS/ha
CENTRE	2,88	4,72	6
EST	3,4	4,8	7,1
NORD	3,01	5,81	7,56
OUEST	4,08	6,46	8,2
SUD_EST	1,3	3,3	5,3
SUD_OUEST	4,08	6,24	8,2

Tableau 7 Rendements en tMS/ha des CIVE d'été tardives

Bassin	Rendement minimum en tMS/ha	Rendement moyen en tMS/ha	Rendement maximum en tMS/ha
CENTRE	4,5	6,4	7,9
EST	4,1	5	6
NORD	4	6,5	8,1
OUEST	5	5,5	6,8
SUD_EST	4	5	6
SUD_OUEST	5,5	6,6	8,3

Tableau 8 Rendements en tMS/ha des CIVE d'hiver précoces

Bassin	Rendement minimum en tMS/ha	Rendement moyen en tMS/ha	Rendement maximum en tMS/ha
CENTRE	4,4	6,9	9,3
EST	6,2	8,1	9,3
NORD	6	8,1	9,3
OUEST	5,3	6,9	8,8
SUD_EST	6	7	8
SUD_OUEST	7,5	8,6	10,3

Tableau 9 Rendements en tMS/ha des CIVE d'hiver tardives

3.3 Conditions de mobilisation

3.3.1 Interculture suffisamment longue

Les Registres Parcellaires Graphiques (RPG) 2020 et 2021 ont été mobilisés pour estimer les surfaces aptes à recevoir des CIVE en France métropolitaine. Il a été établie la liste des successions culturales entre 2020 et 2021 (plus de 10 000 différentes) pour chaque parcelle, puis les ha de chaque succession ont été sommées par département et France entière. Les 100 premières successions en nombre d'ha en France, représentant 80 % de la SAU, ont été retenues. Ces successions n'apparaissent pas dans les 100 premières successions dans certains départements. Il a donc été regardé s'il valait mieux prendre par exemple uniquement les 20 premières successions mais sur chaque département au lieu de regarder sur la France entière. Ce test a montré que les 100 premières successions au niveau national couvrent tout de même plus de surface que les 20 premières successions de chaque département.

La limite de cette méthode a été qualifiée. En effet, certains départements sont moins bien couverts par la méthode. Il s'agit principalement de 8 départements pour lesquels les successions retenues ne représentent que 30 % à 50 % de la SAU.⁴ Il s'agit des départements des Alpes du Sud et du pourtour méditerranéen.

Pour chacune de ces 100 successions, il a été déterminé s'il était possible ou non d'intercaler une CIVE et de quel type, en fonction du calendrier des cultures principales l'encadrant.

Pour cela, deux zones ont été établies regroupant chacune 6 bassins : une zone « Sud » et une zone « Nord ». La zone « Nord » regroupe les bassins Nord, Ouest, Centre, Est et la zone « Sud » regroupe les bassins Sud-Ouest et Sud-Est.

Dans la zone « Sud », il s'agira de :

- CIVE **d'hiver précoces** récoltées première quinzaine d'avril, devant un semis de tournesol, prévu fin avril ;
- CIVE **d'hiver tardives** récoltées deuxième quinzaine avril, devant un semis de maïs (grain ou ensilage), sorgho et soja, prévu mi-mai ;
- CIVE **d'été précoces** implantées entre le 30/05 et le 25/06, après la récolte d'un colza, d'une orge de printemps ou d'hiver ou d'un méteil fourrager ;
- CIVE **d'été tardives** implantées entre le 26/06 et le 10/07, après la récolte d'un blé tendre d'hiver, d'un triticale, d'un pois de printemps ou d'un mélange de céréales.

Dans la zone « Nord », il s'agira de :

- CIVE **d'hiver précoces** récoltées deuxième quinzaine d'avril, devant un semis de tournesol, maïs (grain ou ensilage), sorgho, prévu mi-mai ;
- CIVE **d'hiver tardives** récoltées première quinzaine de mai, devant un semis de soja, prévu fin mai ;
- CIVE **d'été précoces**, implantées entre le 30/05 et le 05/07, après la récolte d'une orge d'hiver, d'un pois de printemps ou d'un triticale ;
- CIVE **d'été tardives** implantées entre le 06/07 et le 15/07, après la récolte d'un colza, d'une orge de printemps, d'un pois d'hiver ou d'un méteil ;
- Il n'est pas prévu de CIVE d'été derrière un blé, sa récolte étant jugée trop tardive.

⁴ Alpes-Hautes Provence – Alpes Maritimes – Bouches du Rhône – Gard – Hérault – Pyrénées Orientales – Var - Vaucluse

	Zone « Sud »	Zone « Nord »
CIVE hiver précoce	Devant un tournesol	Devant un tournesol, sorgho et maïs
CIVE hiver tardive	Devant Maïs, Sorgho et Soja	Uniquement devant Soja
CIVE été précoce	Derrière un colza, une orge ou un méteil	Derrière une orge d'hiver, un pois de printemps ou un triticale
CIVE été tardive	Derrière un blé tendre, un triticale, un pois de printemps ou un mélange de céréales	Derrière un colza, une orge de printemps, un pois d'hiver ou un méteil

Tableau 10 Place des différents types de CIVE dans les zones "Nord" et "Sud"

Le tableau complet des successions et des possibilités d'intercalage d'une CIVE est donné en annexe.

3.3.2 CIVE d'été : suffisamment d'eau à la levée

Les CIVE d'été demandent suffisamment d'eau à la levée du semis. Cette condition de mobilisation a été prise en compte dans la distribution de l'aléa climatique pour les CIVE d'été via l'outil CANARI⁵, outil réalisé par Solagro et Makina Corpus, en partenariat avec Météo France, et donnant des indicateurs climatiques prévisionnels. L'horizon « Futur proche 2021-2050 » a été choisi pour identifier le pourcentage d'années ayant une pluviométrie favorable ou non à la levée du semis. Ainsi, une année « très favorable » est une année durant laquelle la pluviométrie est supérieure à 30 mm entre le 15 juin et le 30 juin, est respectivement « favorable » et « défavorable » pour une pluviométrie entre 15 mm et 30 mm et inférieure à 15 mm sur la même période.

			Mauvais	Moyen	Bon
Zone	Ville	15 juin 30 juin	<15mm	15< <30 mm	>30 mm
Centre	Orléans	15 juin 30 juin	25%	40%	35%
Est	Lyon	15 juin 30 juin	25%	25%	50%
Nord	Reims	15 juin 30 juin	25%	25%	50%
Ouest	Rennes	15 juin 30 juin	25%	50%	25%
Sud-Est	Avignon	15 juin 30 juin	50%	25%	25%
Sud-Ouest	Toulouse	15 juin 30 juin	45%	30%	25%

Tableau 11 Distribution de l'aléas climatique pour les CIVE d'été précoces (source : d'après CANARI-France)

			Mauvais	Moyen	Bon
Zone	Ville	1 juillet 10 juillet	<15mm	15< <30 mm	>30 mm
Centre	Orléans	1 juillet 10 juillet	50%	25%	25%
Est	Lyon	1 juillet 10 juillet	50%	25%	25%
Nord	Reims	1 juillet 10 juillet	50%	25%	25%
Ouest	Rennes	1 juillet 10 juillet	60%	30%	10%
Sud-Est	Avignon	1 juillet 10 juillet	75%	15%	10%
Sud-Ouest	Toulouse	1 juillet 10 juillet	60%	25%	15%

Tableau 12 Distribution de l'aléas climatique pour les CIVE d'été tardives (source : d'après CANARI-France)

3.3.3 Rentabilité économique : le seuil de récoltabilité

Une dernière condition de mobilisation tient en l'intérêt ou non d'aller récolter cette CIVE. En effet, l'investissement financier pour produire, récolter et transporter cette CIVE doit être mis en regard de l'énergie produite par cette CIVE (BMP). Il est estimé qu'à moins de 5tMS/ha il y a peu d'intérêt économique à réaliser ce chantier de récolte.

⁵ Solagro, Météo-France. 2024. <https://canari-france.fr/>

Les rendements définis plus hauts qui sont inférieurs ou égaux à 5 tMS/ha, tombent dès lors à 0, et font baisser le rendement moyen évalué sur 10 ans.

3.4 Estimation quantitative

3.4.1 Méthode

Au vu des éléments précédemment posé, le calcul a donc constitué en l'application d'un rendement « moyen » par bassin pour chaque ha de chacune des 100 premières successions françaises, sur chaque département.

Le rendement moyen a été défini en distribuant les rendements strictement supérieurs à 5 tMS/ha selon la même distribution que l'aléa climatique.

L'aléa climatique pour les CIVE d'hiver a été défini en miroir des rendements grain du blé tendre observé dans la Statistique Agricole Annuelle sur 20 ans. Ainsi, il a été défini pour chaque département, le nombre d'années ayant un rendement dans les 25% les meilleurs (Q25), le nombre d'années dans les 25% les pires (Q75), le restant étant considéré comme « moyen ».

On obtient ainsi par bassin, la fréquence d'aléas climatique suivante, applicable aux CIVE d'hiver :

Bassins	Fréquence année climatique		
	Défavorable (Q75)	Favorable	Très Favorable (Q25)
Centre	17%	73%	10%
Est	14%	75%	11%
Nord	9%	83%	7%
Ouest	18%	66%	16%
Sud Est	16%	67%	17%
Sud-Ouest	19%	68%	13%

Tableau 13 Distribution de l'aléas climatique (Source : Solagro d'après SAA)

Les rendements moyens retenus par bassin sont donc obtenus après le traitement suivant :

- Les rendements strictement inférieurs ou égaux à 5 tMS/ha tombent à 0
- Application des fréquences d'aléas climatiques aux rendements min, max et moyen

Les rendements moyens obtenus par bassin pour les différentes CIVE sont donc les suivants :

Bassin	CIVE été Précocé	CIVE été Tardives	CIVE hiver Précoces	CIVE hiver Tardives
	tMS/ha	tMS/ha	tMS/ha	tMS/ha
CENTRE	5,6	1,5	4,7	5,3
EST	3,5	1,7	1,9	7,8
NORD	5,7	3,3	5,0	7,9
OUEST	5,8	2,7	4,0	6,9
SUD_EST	3,1	0,5	1,9	6,9
SUD_OUEST	3,9	2,7	6,7	8,7

Tableau 14 Rendements moyens obtenus après distribution de l'aléas climatique et application du seuil de récoltabilité

3.4.2 Résultats

Ainsi l'application de cette méthode indique que 20 millions de tonnes de matière sèche de CIVE pourraient être produites sur le territoire, dont 5 % déjà méthanisés dans le parc actuel des méthaniseurs agricoles et territoriaux. Ce résultat est cohérent avec l'étude « Quelles biomasse pour la transition

énergétique » publiée par Solagro en 2024, basé sur le scénario AFTERRES2050⁶ estimant un potentiel en CIVE de 20MtMS à l’horizon 2050. Malgré des différences de méthode, et 2 horizons temporels différents, les potentiels des 2 études sont équivalents. Cela s’explique par le fait que le scénario de transition agricole d’AFTERRES2050 a peu d’impact sur le potentiel maximal de production de CIVE

Production actuelle	Potentiel maximum « durable »	Utilisation actuelle en méthanisation Estimation Solagro 2024
Non connue	19,6 MtMS/an	1 MtMS/an

L’application du seuil de récoltabilité à 5 tMS/ha (c’est-à-dire que les CIVE ne sont pas récoltées si leur rendement n’est pas strictement supérieur à 5tMS/ha) implique également que 30 % des CIVE ne sont pas récoltées et nourrissent ainsi les micro-organismes du sol en matière fraîche en plus de la masse racinaire des CIVE dans l’ensemble et des chaumes qui restent de toute façon au sol.

Le bassin de production qui semble le plus favorable en France est le bassin Sud-Ouest comme le montre les cartes en Annexe.

Le potentiel CIVE d’hiver se situe autour de 13,6 MtMS réparti comme suit :

- CIVE d’hiver précoces : 9,1 MtMS/an.
- CIVE d’hiver tardives : 4,5 MtMS/an.

Les 5 successions majoritaires représentent 72 % du potentiel total en CIVE d’hiver :

- Maïs grain - maïs grain : 28 %
- Maïs ensilage – maïs ensilage : 12 %
- Blé tendre – maïs ensilage : 12 %
- Blé tendre – maïs grain : 11 %
- Blé tendre – tournesol : 9 %

60 % du potentiel en CIVE d’hiver se situe sur la façade ouest du territoire :

- 37 % pour les bassin Sud-Ouest,
- 24 % pour le bassin Ouest.

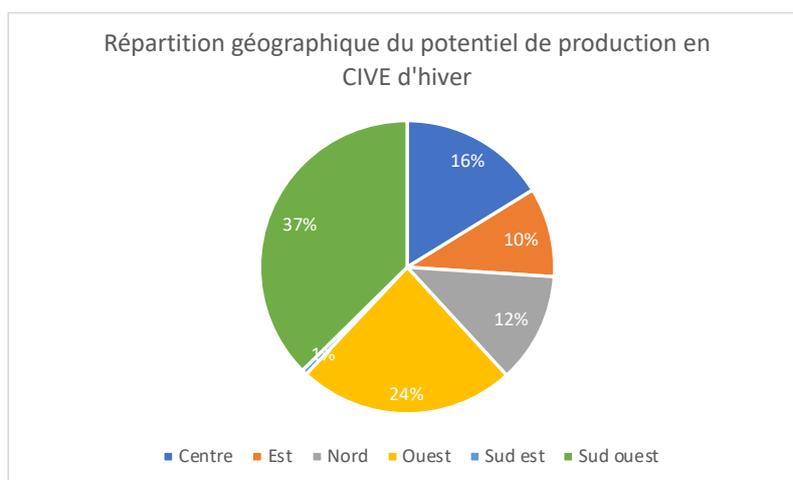


Figure 2 Répartition des CIVE d'hiver suivant les bassins

Le potentiel CIVE d’été est estimé à 6,0 MtMS/an, réparti comme suit :

⁶ SOLAGRO, 2016 – Le scénario Afterres 2050 Version 2016 - <https://afterres2050.solagro.org/>

- CIVE d'été précoces : 2,3 MtMS/an,
- CIVE d'été tardives : 3,7 MtMS/an.

Les 5 successions majoritaires représentent 68 % du potentiel total en CIVE d'été :

- Colza - blé tendre : 40 %,
- Méteil - méteil : 11 %,
- Orge d'hiver – orge d'hiver : 8 %,
- Pois de printemps – blé tendre : 4 %,
- Orge d'hiver – blé tendre : 4 %.

Le potentiel en CIVE d'été se répartie de la façon suivante :

- 41 % pour le bassin Nord,
- 15 à 16 % pour les bassins Centre, Est et Ouest
- 11 % pour le bassin Sud-Ouest
- 1 % pour le bassin Sud-Est.

Ainsi, 90% du potentiel de CIVE se situe dans la moitié nord de la France

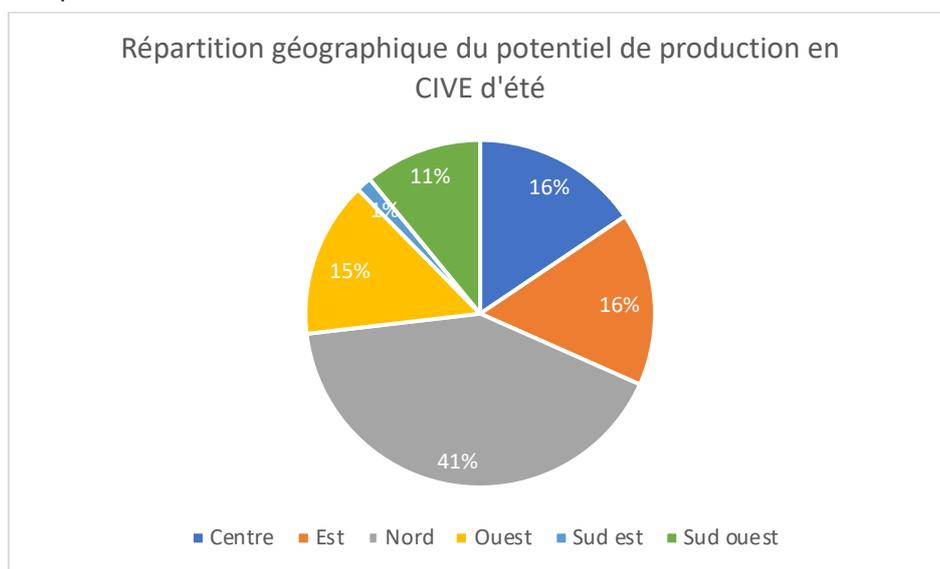


Figure 3 Répartition des CIVE d'été suivant les bassins

3.4.3 Tests de sensibilité

Afin de tester la sensibilité à différents paramètres, 4 scénarios ont été testés.

3.4.3.1 Scénarios climatiques

L'outil de modélisation a d'abord été paramétré avec 100 % d'années favorables. Dans ce cas, le potentiel de CIVE total atteint 36 MtMS.

Si l'outil est paramétré avec 100 % d'années défavorables, le potentiel atteint 4,5 MtMS.

3.4.3.2 Scénarios de modification des rotations

Dans le cas où 50 % du maïs grain du Sud-Ouest (300 000 ha) migre vers le nord, alors :

- Dans le Sud-Ouest, l'orge remplace le maïs et la moitié des surfaces qui recevaient des CIVE d'hiver tardive ne peuvent plus recevoir de CIVE (succession maïs – orge d'hiver).
- Dans le Centre, le Nord et l'Est, le maïs remplace le colza et les CIVE d'été tardives ne sont plus possibles.

Ce scénario entrainerait donc la baisse de 5 % du potentiel total de CIVE (baisse de 23 % dans le Sud-Ouest soit 1,3MtMS et augmentation de 3 % dans le Centre, le Nord et l'Est soit 300 000tMS).

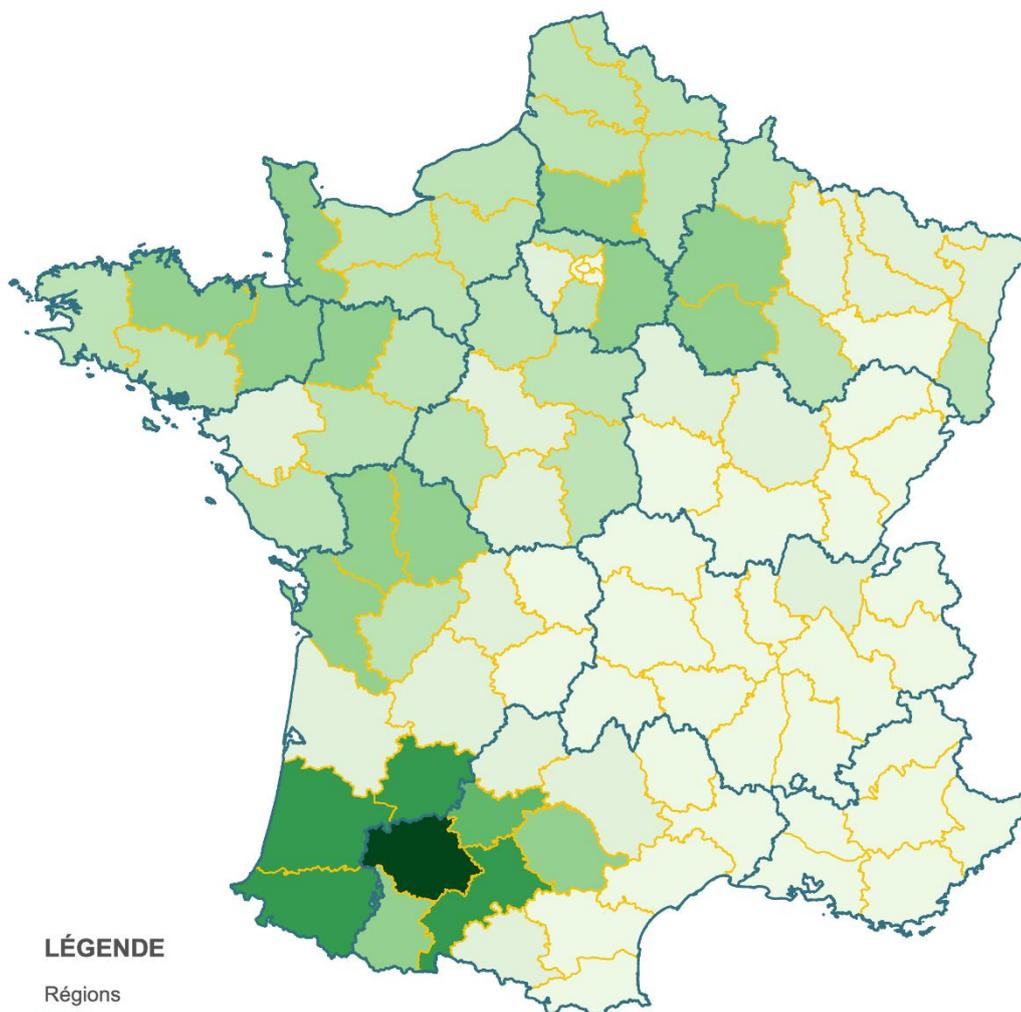
L'autre scénario testé est basé sur l'hypothèse du remplacement de 10 % du blé par de l'orge dans le Sud-Ouest, soit 45 000 ha. Dans ce cas les CIVE d'été tardives sont remplacées par des CIVE d'été précoces, entraînant une hausse du 1 % du potentiel de CIVE du Sud-Ouest (+ 50 000 tMS).

3.4.4 Répartition géographique

La carte ci-dessous représente les tonnages en matière sèche du potentiel de CIVE (été et hiver cumulées) rapportés à la surface du département. Ainsi, les résultats ne sont pas impactés par la taille des départements.

Cette cartographie est à prendre avec précaution car si certains départements semblent moins favorables, localement, sur quelques exploitations ces productions de CIVE peuvent quand même permettre la réalisation d'une unité de méthanisation.

Potentiel de production des cultures intermédiaires en France



LÉGENDE

Régions

□ Départements

Tonnages de ressources ramenés à la surface du département
En tMS/km²

□ 0 - 18

□ 18 - 36

□ 36 - 54

□ 54 - 72

□ 72 - 90

□ 90 - 108

□ 108 - 126

□ 126 - 144

Réalisation :
Solagro - juillet 2024

3.5 Impact de la mobilisation en méthanisation

Thématiques	Impacts des CIVE d'hiver
Biodiversité	<p>Les CIVE d'hiver ont un impact positif sur la biodiversité du sol.</p> <p>En effet, une CIVE d'hiver à 6 tMS/ha permet de restituer 4,5 tMS/ha selon Réflex'CIVE (0,5 TMS/ha de chaume et 4,0 tMS/ha de racine), contre seulement 1,5TMS/ha pour une CIPAN. Cette source de matière organique facilement dégradable est un vrai carburant pour les micro-organismes du sol.</p> <p>Pour la biodiversité aérienne, le programme Metha'Faune semble conclure que ces cultures ne présentent pas d'habitat particulièrement attractif pour le chevreuil ou la perdrix et ne génèrent pas de surmortalité à la récolte.</p> <p>Des investigations sur les autres espèces, l'entomofaune par exemple, doivent être menées.</p>
Eau	<p>L'impact des CIVE d'hiver sur la ressource en eau est très dépendante du contexte pédoclimatique et des pratiques culturales. Certains agriculteurs disent n'avoir aucun impact de leur CIVE sur leur système, voire un effet améliorant car la couverture hivernale du sol permet une meilleure infiltration. D'autres, à l'inverse constatent qu'une récolte particulièrement tardive, peut avoir un effet concurrentiel sur l'accès à l'eau de la culture suivante.</p>
Potentiel agronomique de la parcelle	<p>Le potentiel agronomique d'une parcelle couverte d'une CIVE d'hiver est généralement amélioré. Cette culture permet :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une protection hivernale contre la battance et l'érosion ; - Une fonction de piège à nitrate, quand elle n'est pas fertilisée à l'automne ; - Un apport de carbone stable et dégradable ; - Une meilleure gestion des adventices.
Temps de travail	<p>Le temps de travail associé à la production de CIVE est important et ne doit pas être négligé au moment de l'élaboration du projet de méthanisation. C'est une culture à part entière, qui va générer une surcharge de travail au semis notamment et à la récolte, qui sont des périodes de travail déjà chargées avec entre autres l'implantation des cultures d'été à destination de l'alimentation.</p>
Unité de méthanisation	<p>Permet l'accès à une ressource méthanogène facilement stockable sur l'année.</p> <p>Permet en plus de lisser la saisonnalité des autres matières qui ne sont pas stockables (effluents agricoles et biodéchets).</p> <p>Nécessite une vigilance sur le taux de matière sèche et la mise en tas des silos, pour une bonne conservation.</p> <p>Nécessite une vigilance sur les techniques et volumes de stockage, idéalement prévoir une année de stock d'avance quand l'approvisionnement du méthaniseur est majoritairement à base de CIVE.</p>
Économique	<p>Le seuil de récoltabilité est à 5tMS/ha : en dessous de ce seuil les coûts de production et de transport vers l'unité de méthanisation (15 km) sont trop élevés par rapport au gain en énergie produite par l'unité de méthanisation.</p> <p><u>Coût de production</u> : Selon l'itinéraire technique retenu, le coût de production d'une CIVE d'hiver est de 30 à 40 €/TMB, récolte et transport compris.</p> <p>(Semence : 20 à 100 €/ha, semis : 50 €/ha, fertilisation : 60 à 120 €/ha, récolte : 120 à 300 €/ha, transport : 30 à 50 €/ha).</p> <p><u>Prix d'achat par l'unité de méthanisation</u> : le prix d'achat de la matière rendue sur site se situe entre 100 et 130 €/TMS.</p>

Tableau 15 Synthèse des impacts de la production de CIVE d'hiver à des fins de méthanisation

Thématiques	Impacts des CIVE d'été
Biodiversité	<p>Les CIVE d'été ont des effets positifs sur la biodiversité, particulièrement en regard d'un sol nu, et selon l'intensité de leur itinéraire technique (particulièrement l'usage de produits phytosanitaires). Les effets positifs sont constatés sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La biodiversité du sol : macrofaune et micro-organismes : en lien avec la fraîcheur du sol et l'apport de matière organique racinaire ; - La biodiversité aérienne : habitat et ressource alimentaires aux oiseaux, araignées, carabes, papillons, insectes pollinisateurs (surtout lors d'une récolte post floraison).
Eau	<p>Hors irrigation, la CIVE d'été va puiser dans le réservoir utile du sol pour sa croissance, mais elle permet aussi de diminuer le drainage. Cependant l'impact des CIVE d'été sur la ressource en eau pour la culture suivante est considéré comme faible à nul, car le réservoir utile va se reconstituer avec les pluies d'automne.</p> <p>Contrairement à une culture intermédiaire enfouie après destruction, jouant un rôle d'engrais vert, la CIVE est exportée de la parcelle. Selon la conduite de leur fertilisation, la CIVE peut capter une partie de l'azote minéral du sol résultant de la culture principale précédente, et ainsi limitant les risques de lessivage.</p>
Potentiel agronomique de la parcelle	<p>Le potentiel agronomique d'une parcelle couverte d'une CIVE d'été est généralement amélioré. Cette culture permet :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une protection estivale contre la battance et l'érosion, lié aux orages d'été ; - Une augmentation des stocks de carbone du sol, par rapport à une CIPAN ou un sol nu, de part des rendements de la CIVE plus élevés et un retour au sol des digestats permettant de restituer le carbone stabilisé par la digestion anaérobie ; - Une meilleure gestion des adventices.
Temps de travail	<p>Le temps de travail associé à la production de CIVE est important et ne doit pas être négligé au moment de l'élaboration du projet de méthanisation. C'est une culture à part entière, qui va générer une surcharge de travail au semis et à la récolte, qui sont des périodes de travail chargées avec le semis et la récolte des cultures principales. L'une des clés de réussite des CIVE d'été est un semis au plus près de la récolte des céréales pour profiter de la fraîcheur encore en place.</p>
Unité de méthanisation	<p>Permet l'accès à une ressource méthanogène facilement stockable sur l'année.</p> <p>Permet en plus de lisser la saisonnalité des autres matières qui ne sont pas stockables (effluents agricoles et biodéchets).</p> <p>Nécessite une vigilance sur le taux de matière sèche et la mise en tas des silos, pour une bonne conservation.</p> <p>Nécessite une vigilance sur les techniques et volumes de stockage, idéalement prévoir une année de stock d'avance quand l'approvisionnement du méthaniseur est majoritairement à base de CIVE.</p>
Économique	<p>Le seuil de récoltabilité est à 5tMS/ha : en dessous de ce seuil les coûts de production et de transport vers l'unité de méthanisation (15 km) sont trop élevés par rapport au gain en énergie produite par l'unité de méthanisation.</p> <p><u>Coût de production</u> : variable selon l'itinéraire technique associé et la variété produite, allant de 410 €/ha à 730 €/ha :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Semence : de 50 €/ha pour une semence fermière à 200 €/ha pour une semence commerciale ; - Préparation du sol : 50 €/ha, semis : 50 €/ha, désherbage (ou autre produits phytosanitaire), fertilisation : 60 €/ha environ pour 80 U/ha avec du digestat), irrigation 0 à 5 €/TMS, récolte : 5 à 10 €/TMS ; - Marge : environ 0 à 200 €/ha. <p><u>Prix d'achat par l'unité de méthanisation</u> : entre 100 et 140 €/tMS pour une matière livrée à la méthanisation.</p>

Tableau 16 Synthèse des impacts de la production de CIVE d'été à des fins de méthanisation

4 LES RESIDUS DE CULTURES

4.1 Définitions

Les « résidus de culture » sont les parties d'une plante qui ne sont pas l'objet premier de la culture et qui ne sont donc pas récoltées en priorité ou pas récoltées du tout. Il s'agit par exemple, des plantes entières sauf le grain pour les céréales et les oléo-protéagineux ou bien des plantes entières sauf les feuilles pour les plantes fourragères.

Pailles, chaumes ,menues-paille, cannes de tournesol, des cannes de maïs grain, collets de betterave, des feuilles de pomme de terre, etc. sont des exemples de résidus de cultures.

Cette étude ne traite que des résidus de maïs, des oléagineux et des grandes cultures de maraîchage, en effet les céréales à paille ont déjà été étudiées lors d'une étude FranceAgriMer/Arvalis en 2018 ⁷.

La partie racinaire n'est pas considérée comme un résidu récoltable et sort du périmètre de cette estimation. Seule la partie aérienne de la plante est donc considérée, comprenant une partie restant toujours au sol (ex : chaumes) et une partie mobilisable (ex : cannes)

Culture	Résidus mobilisables	Partie aérienne restant toujours au sol
Maïs grain	Cannes de maïs	Rafles et chaumes
Maïs ensilage	Pas de résidus mobilisable	Rafles et chaumes
Sorgho	Cannes de sorgho	Chaumes
Colza	Pailles et menue-paille de colza	Chaumes
Tournesol	Cannes de tournesol	Chaumes
Soja	Paille de Soja	Chaumes
Betteraves	Feuilles de betteraves	Collets
Pommes de terre	Fanes de pommes de terre	Chaumes

Tableau 17 Description des résidus de culture

4.2 Les conditions de mobilisation

4.2.1 Techniques de récolte

Actuellement, ces résidus sont peu ou pas collectés. Ils nécessitent tout de même un passage de broyeur ou de rouleau et d'un déchaumeur afin de laisser le champ apte à recevoir la culture suivante.

Les techniques de récoltes ont ainsi encore un potentiel de développement et d'amélioration. De plus, une technique pertinente dans une région ne le sera pas forcément dans une autre, du fait de contraintes de terrain différentes (taille des parcelles, relief, présence de cailloux/de sable ou non par exemple).

Cannes de maïs

⁷ Pour les pailles de céréales, il sera utile de se reporter à l'étude suivante : « Réalisation d'une étude portant sur la fourniture de paramètres techniques permettant la quantification régionale de la production et de la valorisation des pailles » - France AgriMer, 2018

Il existe plusieurs retours d'expérience d'agriculteurs mettant en œuvre la collecte de cannes de maïs pour alimenter des méthaniseurs notamment⁸.

Les cannes peuvent être mises en andain puis ramassées à l'auto-chargeuse. Dans ce cas, selon la typologie du sol, une quantité de cailloux importante peut être récoltée avec les cannes. Une autre solution consiste à pratiquer 2 coupes : rafles puis tiges, avec une moissonneuse-batteuse puis d'une ensileuse (mais cette pratique est plus onéreuse).

L'humidité à la récolte varie de 70 à 80 % MS. La matière est stockée en tas comme de l'ensilage. Compte tenu d'un taux de matière sèche globalement plus élevé qu'un ensilage classique, la fermentation lactique ne se fait pas. Il est donc indispensable de bien tasser la matière, afin que le tas ne s'autoenflamme pas.

Le coût de mobilisation est d'environ 30 €/TMB rendu sur site, dans un rayon moyen de 15 km autour du site. Le prix d'achat des cannes de maïs pratiqué selon les régions est de 45 €/TMB achetée sur pied, avec un retour du digestat inclus (1 tonne de digestat liquide pour 0,5 tMS de cannes), ou alors mis à disposition gratuite en échange de 2 tonnes de digestat liquide ou solide.

Cannes de tournesol

Il existe peu de retours d'expérience sur la récolte des cannes de tournesol.

Le GIEE Opération Soleil, par exemple, a réalisé des recherches sur le développement pour la création d'une filière éco-matériaux. Des essais ont été réalisés avec les techniques suivantes :

- Passage de la moissonneuse avec barre de coupe assez haute puis andaineur, et auto-chargeuse ;
- Passage de la moissonneuse avec barre de coupe assez haute puis andaineur, et auto-chargeuse pressage en bottelage ;
- Passage de la moissonneuse avec barre de coupe assez haute puis andaineur, et ensileuse.

Les retours d'expérience ne sont pas assez variés à ce jour pour conclure à la meilleure méthode.

Contrairement aux récoltes des céréales à paille, ces techniques multiplient les passages et abaissent par leur coût le seuil économique de récoltabilité. Ce dernier est fixé à 2 tMS/ha.

Il faudrait probablement adapter les moissonneuses pour qu'elles récupèrent les tiges comme cela se pratique pour les céréales à paille et ainsi limiter le nombre de passage, nous n'avons pas connaissance à ce jour de ce type de pratique.

Pailles de Colza

Le pressage de la paille de colza se répand dans les régions d'élevage pour compléter les rations ou remplacer la paille de céréales en litière. La paille de colza se récolte comme une paille de céréales en balles (pressage) ou en vrac (auto-chargeuse). Les balles permettent une densification au transport et au stockage, mais nécessite une étape de déficelage/démêlage/broyage). A contrario, si récoltée en vrac, les volumes à manipuler seront plus importants, mais il sera plus facile de les incorporer directement dans un méthaniseur.

D'après certains exploitants, un bénéfice annexe est la limitation des populations de limace. En effet, une paille non ramassée, non éparpillée par une moissonneuse, sur une culture comme le colza qui couvre 2 ou 3 cycles de reproduction de limace, favorise leur développement.

Les menues-paille de colza peuvent également être récupérées (1,5 tMS/ha) comme sur les pailles de céréales.⁹

⁸ Suivi ADEME du méthaniseur Methachrist mobilisant des cannes de maïs dans sa ration : <https://librairie.ademe.fr/produire-autrement/4078-suivi-technique-economique-et-social-de-10-installations-de-methanisation-2020.html> (ADEME 2020)

⁹ https://www.perspectives-agricoles.com/sites/default/files/imported_files/423_3123335054392632415.pdf

Les pailles de soja pourront être traitées de la même façon.

Fanes de betteraves

Les fanes de betteraves sont des feuilles assez fraîches, autour de 15 % matière sèche (MS) seulement. La récolte de feuilles de betterave n'est pas possible après la récolte des betteraves, car les feuilles, finement broyées, ne peuvent pas être andainées pour être ramassées. La récolte doit donc avoir lieu avant la récolte de la betterave. Mais les betteraviers sont sceptiques et s'inquiètent du compactage du sol et de la racine. Il semble techniquement difficile de mettre au point cette collecte sans impacter la collecte des betteraves. Également, l'humidité des fanes ne permet pas de l'ensiler ce qui empêche le stockage sur l'unité de méthanisation. Enfin, son potentiel méthanogène avec un taux de matière sèche très faible, ne justifie peut-être pas non plus économiquement ce chantier de collecte et de transport sur l'unité de méthanisation.

Les fanes de pommes de terre

Les fanes de pommes de terre ont une teneur en MS plus élevée que les fanes de betterave (25 % MS). Elles sont donc éventuellement stockables en ensilage comme une CIVE mais avec récupération de jus. L'itinéraire technique le plus classique sur les pommes de terre, hors primeurs, est le défanage chimique ou thermique, ce qui implique que 100 % des fanes restent au sol actuellement, et qu'aucune partie de la plante ne peut être récoltée hormis les tubercules.¹⁰

Il serait probablement possible de broyer et d'aspirer les $\frac{3}{4}$ des fanes en adaptant le broyeur avec une goulotte d'aspiration et une remorque, avant de terminer le défanage chimiquement si nécessaire.

Des tests de BMP sur des fanes de pommes de terre ont été réalisés, ce qui montre que certains agriculteurs ont trouvé une possibilité de les récolter.

4.2.2 Usage actuel

Actuellement, l'essentiel de ces résidus sont laissés sur place et ne sont donc pas récoltés.

Une partie est utilisée dans la ration des unités de méthanisation.

L'étude des derniers bilans de fonctionnement des unités de méthanisation fournis par les DREAL conclue à une utilisation a minima¹¹ de 300 000 tMB de résidus de culture, incluant les pailles de céréales, en 2021. L'unité de méthanisation SAS Méthachrist (67) est un bon exemple d'une méthanisation réussie des cannes de maïs.

Le plan d'approvisionnement de l'unité de méthanisation SARL Métha du Vallage (52) prévoit également de la paille de colza provenant de 5 exploitations agricoles¹².

Des expérimentations et recherches existent sur des valorisations en tant qu'éco-matériaux ou en tant que litière. Il est possible de citer en exemple le GIEE « Opération Soleil » en Centre Val de Loire qui vise à créer une filière d'isolants à partir de tige de tournesol. Il existe également des exploitations agricoles qui utilisent de la paille de colza en litière¹³.

¹⁰ <https://www.arvalis.fr/infos-techniques/plusieurs-techniques-possibles-pour-defaner-les-pommes-de-terre>

¹¹ En effet, les régions PACA, Occitanie, et Hauts-de-France n'ont pas publié leurs bilans de fonctionnement

¹² D'après Dossier d'enregistrement ICPE déposé en préfecture de Haute-Marne- Mise en service en 2020.

¹³ INOSYS, 2020 – Le poste « paille »

4.2.3 Conditions de mobilisation

La pertinence de la récolte

La collecte des résidus de cultures, pour une valorisation avec retour au sol sous forme de fumier ou de digestat, doit permettre de préserver les qualités agronomiques de la parcelle. Pour cela, le taux de prélèvement ne doit pas être trop élevé. On estime qu'au moins la moitié de la partie aérienne des cultures hors grain doit revenir au sol sous forme fraîche afin de nourrir les micro-organismes du sol.¹⁴

Les techniques de collecte n'étant pas encore éprouvées et pouvant différer suivant les exploitations, la diffusion de bonnes pratiques quant aux moyens de collecter ces résidus sera nécessaire pour une mobilisation de plus grande ampleur de cette ressource.

S'assurer de la possibilité technique d'une valorisation

La technique de collecte pouvant être améliorée mais, n'étant pas un réel frein (sauf pour les fanes de betterave), la mobilisation tient donc en premier lieu à la possibilité de valoriser cette ressource.

Cette valorisation doit être techniquement possible. Or, l'inclusion de ces ressources dans la ration d'un méthaniseur doit être étudiée précisément afin de ne pas dépasser les limites de fonctionnement de la technologie de digestion employée, en termes de teneur en matière sèche notamment. En effet, exceptées les fanes de betterave et de pomme de terre, ces résidus de cultures ont une teneur en matière sèche autour de 80 %MS. Il existe donc un tonnage limite à ne pas dépasser dans la ration d'un méthaniseur.¹⁵

Les résidus trop humides et ne pouvant être ensilés, ne peuvent pas être stockés, et doivent donc être incorporés directement dans le méthaniseur.

S'assurer de la rentabilité économique de cette collecte de bout en bout

Cette valorisation doit être économiquement intéressante. Toutes ces ressources ont un potentiel méthanogène intéressant, compris entre 150 et 300 Nm³CH₄/tMS, exceptée la paille de colza, trop ligneuse, qui a un BMP 3 à 4 fois moins important (entre 50 et 100 Nm³ CH₄/tMS)¹⁶. Ces ressources, excepté le colza, sont donc très intéressantes pour la production de biogaz.

En revanche, les résidus de cultures étant, de façon générale, des matières peu denses, une attention particulière doit être portée au chantier logistique. Ainsi, les volumes à transporter pouvant être conséquents, les distances entre le chantier de collecte et le méthaniseur doivent être inférieure à 15 km en moyenne.

De la même façon, la surface de stockage sur l'unité de méthanisation est à considérer avec attention car elle représente un coût à l'investissement à ne pas négliger.

¹⁴ Ce ratio est guidé par les résultats de la thèse en cours de validation et qui semble indiquer que 50% des territoires pourraient méthaniser 100% de leurs résidus de cultures sans dommage, du fait du retour au sol du digestat. Sans possibilité de travailler à la parcelle dans cette étude, nous avons retenu le ratio prudent d'un retour au sol de matière fraîche de 60%. « Le rôle des résidus agricoles dans des stratégies de bioéconomie durables et comment le retour de carbone aux sols conditionne la performance environnementale de ses stratégies » Christhel Andrade diaz . <https://www.theses.fr/s253310>

¹⁵ A titre d'exemple, pour une digestion en infini mélangé, qui est la technologie la plus répandue en digestion, et une ration 100% CIVE, cela implique de ne pas dépasser 10% de paille dans la ration. Ce ratio monte à 37% pour une digestion en voie solide continue (piston) - Modélisation METHIS Solagro

¹⁶ Base de données de BMP interne Solagro. Pas de références en tiges de tournesol ni en paille de soja.

Certains résidus (canne de maïs) nécessitent généralement un prétraitement de type broyage/défibrage, qui joue également le rôle de piège à cailloux avant introduction dans le méthaniseur. Cela conduit généralement à une usure prématurée des couteaux, car cette matière est abrasive.

Ces contraintes à l'investissement et à l'exploitation sont à mettre en regard du gain en productivité énergétique. Il est ainsi établi que les résidus de cultures n'ont pas d'intérêt économique en méthanisation à moins de 2 tMS/ha.

Une mobilisation facilitée par l'implantation des CIVE

La DRAAF Centre Val de Loire, dans son Schéma Régional Biomasse, précise que « réglementairement en zones vulnérables, les cannes de maïs doivent être broyées et enfouies afin d'assurer un couvert lors d'intercultures longues »¹⁷ Cette disposition n'est plus nécessaire si l'exploitant agricole implante des couverts végétaux durant cette période.

Également, il a été montré que les rations de méthaniseur comportant des CIVE permettent d'intégrer de plus grandes quantités de résidus de cultures tout en respectant les caractéristiques d'une bonne digestion (rapport C/N et % MS).¹⁸

L'autre effet indirect de la mise en place de CIVE est l'apport de matière organique via les racines et les CIVE non récoltées (en cas de faible développement) ce qui facilite l'export des résidus de cultures sans crainte pour le taux de matière organique de la parcelle.

4.3 La méthode d'estimation

4.3.1 L'indice de récolte

Afin d'estimer la quantité de résidus de culture disponible pour la méthanisation. La partie aérienne de la plante hors grain est d'abord isolée grâce à l'indice de récolte fourni par Arvalis et basé sur les retours du CITEPA¹⁹.

Cet indice de récolte indique la part de la masse du grain sec contenu dans la plante rapporté à la masse sèche de la plante dans sa totalité hors racines. Il permet donc de retrouver à partir du rendement grain, la partie aérienne de la plante hors grain, c'est-à-dire les résidus aériens récoltés et non récoltés comprenant les tiges, cannes, pailles, chaumes, spathes, menues-paille, rafles etc.

Blé tendre	Blé dur	Triticale	Orge	Avoine	Sorgho	Seigle	Maïs grain	Maïs ensilage	Betterave	Pomme de terre	Tournesol	Colza	Soja
49%	44%	44%	50%	43%	42%	50%	49%	90%	75%	80%	33%	29%	32%

Tableau 18 Indices de récolte (Irv) pour chaque type de culture (source : CITEPA, Arvalis)

4.3.2 La partie aérienne restant toujours au sol

Une partie des résidus aériens avec un itinéraire technique classique reste toujours au sol. Il s'agit par exemple des chaumes, des rafles, des menues-pailles, des spathes... L'outil SIMEOS-AMG est un outil de simulation de l'évolution des teneurs et des stocks en carbone (C) organique du sol fondé sur le modèle AMG, développé puis maintenu depuis 2012 par le Consortium AMG²⁰. Cet outil utilise le paramètre

¹⁷ Arrêté du 19 décembre 2011 relatif au programme d'actions national à mettre en œuvre dans les zones vulnérables afin de réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole et arrêté du 30 janvier 2023 relatif au programme d'action national « nitrates, chapitre VII 2° : obligation de couverture du sol pour les intercultures longues

¹⁸ N. Mallet, S.Pellerin, T.Nesme – (INARE, ADEME) - Agricultural biomethane production in France : a spatially-explicit estimate

¹⁹ ARVALIS – Institut du végétal, 2011 – Synthèse sur les indices de récolte et teneur en azote des résidus de culture réalisée pour le CITEPA, 11p.

²⁰ Rassemblant l'INRAE, Agro-Transfert RT, Arvalis, le LDAR et avec la collaboration de Terres Innovia depuis 2016.

« PSS » pour « Fraction of C in straw and stubble systematically returned to the soil ».²¹ Ce paramètre indique précisément la fraction des résidus aériens jamais récoltés. Combiné à l'indice de récolte, il nous donne les résidus théoriquement récoltables.

Blé tendre	Blé dur	Triticale	Orge	Avoine	Sorgho	Seigle	Maïs grain	Maïs ensilage	Betterave	Pomme de terre	Tournesol	Colza	Soja
50%	50%	50%	50%	50%	30%	50%	50%	100%	10%	100%	20%	40%	40%

Tableau 19 Indice "PSS" extrait des paramètres de SIMEOS-AMG (source : Solagro d'après SIMEOS-AMG)

Cette étude visant à définir un potentiel maximum, la valeur de cet indice pour le cas de la pomme de terre a été modifiée. En effet, habituellement, les fanes des pommes de terre sont détruites chimiquement avant la récolte (sauf pour les pommes de terre nouvelles). Cependant, il est possible d'imaginer broyer et récupérer 75 % de ces fanes, en adaptant légèrement les engins de récolte. L'indice de la pomme de terre a donc été modifié de 100 % à 25 %.

4.3.3 Le maintien du potentiel agronomique de la parcelle

La collecte des résidus de cultures, pour une valorisation avec retour au sol sous forme de fumier ou de digestat, doit permettre de préserver les qualités agronomiques de la parcelle. Pour cela, le taux de prélèvement ne doit pas être trop élevé. On estime qu'au moins la moitié de la partie aérienne des cultures hors grain doit revenir au sol sous forme fraîche afin de nourrir les micro-organismes du sol.²²

Il a ainsi été pris pour hypothèse que 60 % des résidus de cultures récoltables pouvaient être exportés vers une unité de méthanisation à condition d'avoir un retour au sol via le digestat par la suite. Cette hypothèse conduit à ce que 64 % des résidus aériens totaux (récoltables et restant toujours au sol tels que les chaumes) restent au sol sans être méthanisés ou utilisés en litière.

4.4 Les résultats de l'estimation

Les résultats de l'estimation font état d'un potentiel théoriquement mobilisable de 9 MtMS/an. Sur ces 9 MtMS/an, il faut exclure les feuilles de betterave (0,8 MtMS/an) qui d'après les retours des betteraviers ne sont pas récoltables sans impact sur la collecte de la racine. **Également**, les fanes de pomme de terre et les cannes de tournesol nécessitent une modification des techniques de récolte. La question des pailles de colza et de soja **risque** de ne pas **rencontrer** de rentabilité économique du fait du faible potentiel méthanogène. Cette ressource nécessiterait une étude approfondie.

Les rendements semblent tous dépasser les 2 tMS/ha donc ce critère ne permet pas d'éliminer une ressource en particulier, néanmoins les fanes de pomme de terre semblent proches de cette limite et ce point serait à approfondir.

Ainsi, le potentiel se situe **davantage** sur les cannes de maïs et les cannes de sorgho soit 3,4 MtMS/an.

Il n'a pas été possible d'estimer la part de chaque type de résidus de culture méthanisés. Ainsi, il est estimé que 0,58 MtMS/an de résidus de cultures y compris les pailles de céréales sont méthanisés aujourd'hui.

²¹ Clivot, Hugues, Annie Duparque, Fabien Ferchaud, Hélène Lagrange, Florent Levavasseur, Maxime Levert, Sylvain Marsac, et al. « AMGv2 parameters ». Recherche Data Gouv, 7 juin 2023. <https://doi.org/10.57745/MEQQIX>.

²² Pour aller plus loin se reporter à la thèse suivante : « Le rôle des résidus agricoles dans des stratégies de bioéconomie durables et comment le retour de carbone aux sols conditionne la performance environnementale de ses stratégies » Christhel Andrade diaz . <https://www.theses.fr/s253310>

Résidus de culture	Production (partie aérienne hors grain)	Potentiel maximum mobilisable	Rendement des résidus	Intérêt/facilité de récolte	Utilisation actuelle en méthanisation Estimation Solagro 2024
	MtMS/an	MtMS/an	tMS/ha		MtMS
Cannes de maïs	10,1	3,3	3,4	***	0,58 MtMS/an y compris les pailles de céréales
Cannes de sorgho	0,27	0,12	4,6	***	
Pailles de colza	9,5	3,4	4,2	**	
Pailles de soja	0,17	0,06	2,8	**	
Cannes de tournesol	2,6	1,3	3,3	*	
Fanes de betteraves	1,5	0,8	3,8	*	
Fanes de pommes de terre	0,39	0,17	2,1	*	
TOTAL	24,5	9			

Tableau 20 Tableau de synthèse des quantifications de résidus de culture

*** Mobilisation possible dès aujourd'hui sans difficultés

** Mobilisation avec contraintes non négligeables

* Difficilement mobilisable

4.5 Impact de la mobilisation en méthanisation

Thématiques	Impacts
Biodiversité	Un taux suffisant de retour au sol de résidus frais doit être maintenu pour assurer une diversité suffisante des micro-organismes du sol.
Eau	Nécessite une vigilance pour les résidus récoltés avant l'été (colza), concernant l'évaporation en eau du fait d'une moindre couverture des sols.
Potentiel agronomique de la parcelle	Conservé voire amélioré si résidus de cultures laissés au sol pour moitié et retour de digestat et/ou des fumiers. Dans le cas d'une récupération des menues-pailles, les graines d'adventices qui restent au sol sont moins nombreuses.
Temps de travail	La récolte des résidus de culture nécessite un temps de travail supplémentaire (plus ou moins important selon la situation de référence). Il faudra cependant dans tous les cas passer un broyeur ou un rouleau et déchaumeur sur la parcelle avant l'implantation de la culture suivante. Nécessite de bien prévoir le calendrier des travaux car les délais sont courts pour implanter une CIVE ensuite.
Unité de méthanisation	Nécessite un broyage de qualité : les brins trop longs vont former une croûte sur le digesteur. Améliore le bilan énergétique de l'unité grâce au pouvoir méthanogène. Technique de récolte très variable selon le type de sol : <ul style="list-style-type: none"> - Fauchage + andaineur à tapis + remorque autochargeuse (hauteur de coupe élevée – grosse quantité de chaume laissée au sol) ; - Cueilleur à maïs qui fait l'andain puis autochargeuse ; - Broyeur andaineur + autochargeuse. Nécessite une vigilance sur : <ul style="list-style-type: none"> - Les indésirables et la qualité des pailles livrées (cailloux) ;

	<ul style="list-style-type: none"> - Le soufre contenu dans les pailles de Colza²³ ; - Le taux de matière sèche ; - Les techniques et volumes de stockage.
Économique	<p>On estime qu'à moins de 2 tMS/ha, le coût de récolte des résidus de culture est trop important par rapport au gain énergétique dans le méthaniseur. De manière général, ces résidus ne devraient pas parcourir plus de 15 km pour une rentabilité économique.</p> <p>Pour la canne de maïs, qui est le principal résidu de culture valorisé à ce jour en méthanisation, plusieurs retours donnent des conditions économiques de mobilisation et d'achat par la méthanisation assez variable :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Certains considèrent que le coût de récolte n'est pas plus élevé qu'un broyage classique au sol, seul le coût de transport vers la méthanisation est à ajouter, d'autres estiment le coût de récolte supplémentaire à 8 €/tMS ; - Le prix moyen d'achat par la méthanisation est de 35 €/tMS, pour un rayon de collecte de 10 à 15 km en moyenne – avec parfois une base d'échange supplémentaire de 2 t de digestat (liquide ou selon la demande de l'agriculteur par tonne de canne récoltée).

²³ ADEME 2014 – S3D, APESA – Biologie des digesteurs

5 LES SURPLUS FOURRAGERS

5.1 Production actuelle

L'herbe est par définition la production végétale provenant des prairies, qu'elles soient permanentes, temporaires ou artificielles (à base de légumineuses). Elle rentre dans la catégorie des fourrages, composante essentielle de l'alimentation des herbivores (bovins, ovins, caprins, équins).

Un surplus de fourrage est défini comme l'écart entre les besoins cumulés des herbivores et la production fourragère totale.

Tous les fourrages ne sont pas issus des prairies ; il y également des cultures fourragères annuelles (maïs ensilage, ray grass, dérobées...). Les fourrages issus d'une même source peuvent prendre plusieurs formes : pâturage, conservation voie sèche (foin), conservation voie humide (ensilage, enrubannage).

La production de fourrages en France s'élève à près de 75 MtMS par an pour une surface fourragère de 14 Mha (50 % de la SAU). Les trois principales ressources proviennent des prairies permanentes, puis des prairies temporaires et enfin du maïs ensilage.

Culture	Surfaces (kha)	Production (MtMS) / type de fourrages	% de la production
Prairies permanentes productives	7 000	35 (pâturage, foin, ensilage, enrubannage)	47 %
Prairies temporaires	2 800	16,8 (pâturage, foin, ensilage, enrubannage)	22 %
Maïs ensilage	1 338	14,7 (ensilage)	20 %
Prairies permanentes peu productives (estives)	2 200	3,3 (pâturage)	4 %
Ray-grass	410	2,5 (ensilage)	3 %
Prairies artificielles	407	2,4 (foin, ensilage)	3 %
Total	14 000	75	100 %

Tableau 21 Estimation de la production de fourrage à partir de la SAU en France

Les besoins en fourrages des herbivores de France s'élèvent à près de 62 MtMS. Les bovins (lait et viande) à eux seuls, consomment près de 56 MtMS de fourrages soit 90% des besoins totaux.

Cheptels	Cheptel (nb de mères)	Besoins en fourrages (MtMS)	% des besoins
Bovins viande	3 600 000	27	44 %
Bovins lait	3 500 000	29	47 %
Ovins (lait et viande)	4 500 000	4	6 %
Caprins	900 000	1	2 %
Équins	300 000	1	2 %
Total	12 800 000	62	100 %

Tableau 22 Estimation des fourrages en fonction du cheptel

Les bovins sont de très loin les principaux consommateurs de fourrages en France. Les bovins lait consomment annuellement 29 MtMS de fourrages dont :

- 13 MtMS d'ensilage de maïs (44 %)
- 8,5 MtMS d'herbe de prairies pâturées (29 %)
- 7,5 MtMS de foin (ou d'ensilage) d'herbe de prairies (27 %)

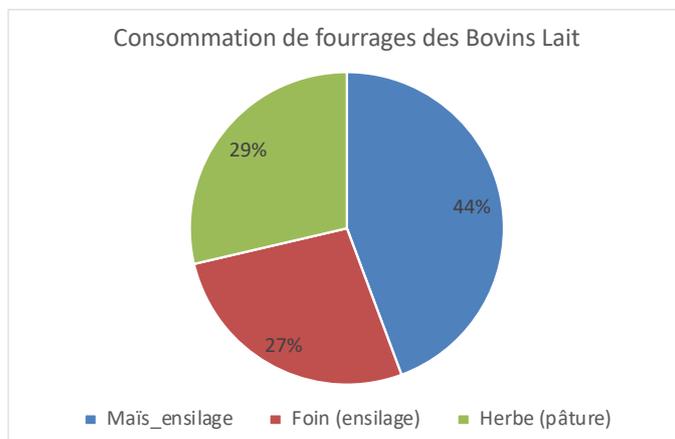


Figure 4 Répartition des consommations actuelles de fourrages pour les bovins lait (Source : SOLAGRO)

Les bovins viande consomment annuellement 26 MtMS de fourrages dont :

- 15,5 MtMS d'herbe de prairies pâturées (59 %)
- 8,5 MtMS de foin (ou d'ensilage) d'herbe de prairies (32 %)
- 2,5 MtMS d'ensilage de maïs (9 %)

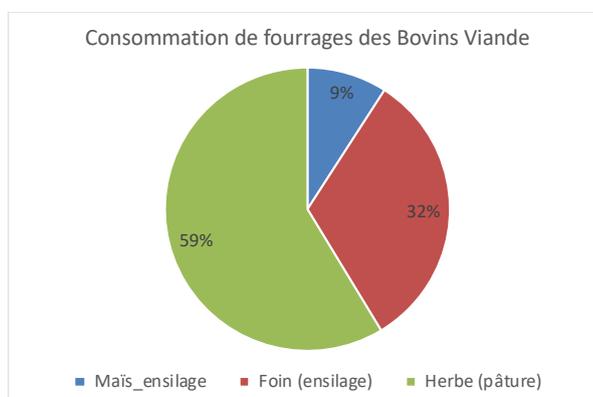


Figure 5 Répartition des consommations actuelles de fourrages pour les bovins viande (Source : SOLAGRO)

A la lecture de ces données, on comprend d'une part que les évolutions des troupeaux bovins ont une forte influence sur les quantités de fourrages « en surplus » ; et d'autre part que la situation sera différente en fonction du type de bovins qui évoluera. Par exemple, si le nombre de bovins lait baissait, à pratiques d'élevage constantes, c'est en grande partie des surfaces de maïs ensilage (et de prairies temporaires) qui seront « libérées ». A contrario, si le nombre de bovins viande baisse, à pratiques d'élevage constantes, c'est en grande partie des surfaces de prairies permanentes qui seront « libérées ».

Le surplus fourragère actuel est de l'ordre de 10 à 12 MtMS par an, soit environ 15 % de la ressource fourragère. Ce surplus de 10 à 15 % est incompressible. Il est nécessaire :

- **Pour passer les mauvaises années (stock de report interannuel) ;**
- **Parce que toutes les surfaces de prairies permanentes (et estives) ne sont pas 100 % accessibles toutes les années ;**

- Parce qu'il y a des pertes de fourrages lors du stockage et qu'une partie (faible) des productions fourragères sont exportées (ex. : foin de Crau).

5.2 Estimation d'un surplus fourrager

L'IDELE et Interbev ont travaillé sur différents scénarios. L'un d'entre eux, dit de « décapitalisation », fait évoluer le cheptel bovin à la baisse à l'horizon 2035 en prenant pour hypothèse un maintien d'un rythme de décapitalisation par rapport à la période 2020 – 2022.²⁴ Pour la présente étude, visant à calculer un potentiel maximal de ressource méthanisable, nous avons travaillé avec le scénario le plus contrasté et présentant donc la plus forte baisse de cheptel bovin.

D'après les hypothèses qui nous ont été fournis par l'IDELE concernant ce scénario :

- Le nombre de mères en **bovins lait** baisserait de **23%** pour passer à 2,7 millions de mères ;
- Le nombre de mères en **bovins viande** baisserait de **30%** pour passer à 2,5 millions de mères ;

Dans ce scénario, les besoins des bovins en fourrages seraient de 41 MtMS.

Fourrages	Besoin (KtMS) Bovins Viande	Besoin (KtMS) Bovins Lait	Total Besoin (KtMS)
Maïs ensilage	1 698	9 949	11 647
Foin (ensilage)	6 024	6 058	12 082
Herbe (pâturation)	10 955	6 429	17 384
Total	18 678	22 436	41 113

Tableau 23 Répartition des besoins en fourrage en France suivant les types de fourrage

Si on considère que les autres cheptels d'herbivores ne changent pas les besoins en fourrages totaux seraient de 47 MtMS.

Là encore, si on considère que la production de fourrages est constante, le surplus dans ce scénario serait de 28 MtMS soit un surplus additionnel (toutes choses égales par ailleurs : SAU, pratiques d'élevage...) de près de **14,5 MtMS** par rapport à aujourd'hui dont :

- **3,7 MtMS de maïs ensilage**
- **4,5 MtMS de foin (ou d'ensilage d'herbe)**
- **6,5 MtMS d'herbe prélevée aujourd'hui à la pâturation**

5.3 Impact sur des ressources additionnelles pour la méthanisation

Parmi les productions fourragères en excédent, le maïs ensilage ou le foin (ou l'ensilage d'herbe) sont des ressources que l'on peut entièrement affecter en méthanisation (d'un point de vue technique) ; bien évidemment il faut imaginer que ces surfaces « en excès » ne changent pas d'usage (notamment les surfaces affectées au maïs ensilage qui pourraient « passer » en maïs grain). En effet, on se place ici dans un contexte où la méthanisation serait encouragée pour décarboner l'économie française et où on cherche donc à estimer la production de biogaz maximale que l'on pourrait espérer.

²⁴ IDELE, Septembre 2023 – Études des mécanismes entre dynamiques de cheptels et de production bovine. Résumé de l'étude.

Accessible ici : https://idele.fr/en/?eID=cmis_download&oID=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2Fdf49d479-5489-46c9-8973-1aa03a1e8c91&cHash=9b2b40072e791a791a1bfe019a49e2db

Pour les ressources fourragères excédentaires associées à de la pâture, la totalité de la ressource ne peut être affectée à la méthanisation. En effet, une partie importante de ces surfaces ne sont pas mécanisables (pentes, distances...). De façon optimiste, on peut estimer, à dire d'expert, que 50 % de cette ressource serait récoltable et donc méthanisable.

In fine, une réduction de cheptel de 23 % pour les bovins lait et de 30 % pour les bovins viande, générerait une biomasse additionnelle accessible à la méthanisation (toutes choses égales par ailleurs) de l'ordre de près de 11,5 MtMS se décomposant en :

- 3,7 MtMS de maïs ensilage
- 4,5 MtMS de foin (ou d'ensilage d'herbe)
- 3,2 MtMS d'herbe prélevée aujourd'hui à la pâture

Ce potentiel de 11,5 MtMS, peut fortement varier et tendre vers zéro si :

- Le maïs ensilage excédentaire devient du maïs grain ;
- Les prairies temporaires se convertissent en grandes cultures ;
- Les prairies permanentes « non utilisées ou sous utilisées » se convertissent en landes puis en forêts.

Ce résultat est proche de l'estimation publié dans l'étude « Quelles biomasses pour la transition énergétique ? » publiée en 2024 par Solagro et basée sur AFTERRRES2050²⁵

En effet, les scénarios de décapitalisation des cheptels bovins choisis dans les 2 études sont très proches.

²⁵ SOLAGRO, 2016 – Le scénario Afterres 2050 Version 2016 - <https://afterres2050.solagro.org/>

5.4 Impacts de l'export pour un usage méthanisation

Thématiques	Impacts de l'export en méthanisation du surplus fourrager
Biodiversité	<p>L'objectif de la valorisation de ce surplus fourrager en méthanisation, particulièrement pour le surplus d'herbe lié aux prairies pâturées et fauchées, est de leur trouver une valorisation financière, en l'absence de débouché fourrager, et de générer un intérêt économique pour leur maintien, au lieu de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les retourner pour les parcelles au potentiel agronomique le plus favorable, et ainsi produire à la place des grandes cultures ; - les abandonner pour les parcelles les moins accessibles, et de les laisser se refermer. <p>Le fait de maintenir ces prairies permet avant tout une diversité d'habitat/paysage pour la faune et la flore et de conserver tous les effets positifs d'une prairie fauchée sur la biodiversité.</p>
Qualité de l'eau	<p>Le maintien de prairie permanente ou temporaire, permet de limiter le recours aux produits phytosanitaires par rapport à une culture de vente. Et donc de limiter l'impact agricole sur la qualité de l'eau.</p>
Potentiel agronomique de la parcelle	<p>Permet de valoriser agronomiquement certaines parcelles en zone humide par exemple.</p>
Unité de méthanisation	<p>Permet l'accès à une ressource méthanogène facilement stockable sur l'année, de 25 à 30 %MS, voir beaucoup plus pour une récolte d'automne (jusqu'à 50 %MS).</p> <p>Permet en plus de lisser la saisonnalité des autres matières qui ne sont pas stockables (effluents agricoles et biodéchets) afin d'avoir une production de biogaz constante sur l'année et de rentabiliser les ouvrages de valorisation du biogaz (cogénération ou épurateur).</p> <p>Cette ressource est transportée en moyenne sur un rayon de 3 à 5 km. Les rendements sont très variables selon le type de prairie (permanente ou temporaire) et leur niveau de fertilisation : variable de 3 à 10 tMS/an.</p> <p>Pour les prairies temporaires, certains agriculteurs pratiquent le semis de la prairie en même temps qu'un semis de CIVE d'hiver. Il est également possible de faire des sursemis de CIVE d'hiver sur une prairie temporaire en place.</p>
Temps de travail	<p>Pas plus que pour la production fourragère – avec moins de contrainte car la qualité fourragère n'est pas un enjeu et que la récolte est à favoriser en ensilage, plus qu'en foin, pour faciliter la logistique d'incorporation sur l'unité de méthanisation.</p>
Économie	<p>Coût de production :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Seulement un coût de récolte pour les prairies permanentes : estimé à 30 €/tMS, transport compris ; - Cout classique pour une prairie temporaire. <p>Prix d'achat par l'unité de méthanisation, pour une prairie temporaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un retour terrain donne un prix d'achat de la matière sur pied : 55 € /tMS et 30 €/tMS pour la récolte et le transport ; - Un autre indique un prix de vente au méthaniseur équivalent à un prix de vente pour une valorisation fourragère, afin de ne pas créer de concurrence d'usage.

6 LES BANDES ENHERBÉES

6.1 Production de la ressource

Les bandes enherbées relèvent de deux types d'aménagement :

- **Les bords de champs** : bandes végétales longeant un champ ;
- **Les bandes tampons** : bandes de végétation permanentes à couvert d'herbage, de buissons, d'arbustes ou autres, établies aux abords de cours d'eau, plans d'eau, source ou zone humide.

Elles ne doivent recevoir ni fertilisation, ni traitement chimique et sont considérées comme des Surfaces d'Intérêt Écologique (SIE).

Dans le cadre de la Politique Agricole Commune (PAC), un exploitant doit maintenir ou établir des SIE sur l'équivalent de 5 % de sa surface de terres arables afin de prétendre au « paiement vert ». Une liste des éléments considérés comme SIE a été arrêtée, et pour chaque type de SIE, un critère d'équivalence en surface a été défini. Les bandes enherbées (bandes tampons ou bords de champ) font partie de ces SIE.

La bande enherbée doit répondre aux exigences de dimensions, d'usage (couverts environnementaux) et de règles d'entretien requises par la PAC, via les Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales (BCAE), qui constituent une partie des conditionnalités.

Chaque agriculteur est par exemple tenu de protéger les cours d'eau par une bande tampon d'au moins 5 m de large (haie et/ou bande enherbée), et pouvant atteindre 10 m au titre des BCAE.

La production agricole sur ces bandes enherbées est interdite mais la fauche (laissée sur place) et le pâturage sont possibles, si distingués du couvert attenant. Ces surfaces ne peuvent donc pas être utilisées comme fourrage, sauf dérogation. Cependant, la fauche et l'exportation de l'herbe en constituent le meilleur mode d'entretien²⁶. L'emploi de produits phytosanitaires (engrais minéral, insecticides, fongicides, herbicides...) est interdit.

En tant que linéaire, les bandes enherbées sont aptes à connecter les Infrastructures Agroécologiques (IAE). Le rôle de corridor écologique est donc à rechercher au travers d'un positionnement adéquat. Il est également recommandé de chercher à mettre en place une haute diversité de plantes à valeur écologique sans qu'il n'y ait de dominance de l'une ou plusieurs d'entre elles. Pour cela, il est indispensable d'exporter l'herbe pour diminuer la teneur en azote du sol, de maîtriser la végétation pour éviter les barrages, notamment de végétaux morts qui encourent à la libre circulation de l'eau²⁶.

Néanmoins, il est préférable de réaliser une fauche **tardive (au moins après le 15 juillet)** afin de respecter les périodes principales de nidification de l'avifaune, et par la suite, favoriser le succès de la nichée.

6.1.1 Le cas de la silphie

La Silphie perfoliée est une espèce de plantes à fleurs herbacées, de la famille des astéracées, comme le tournesol. Cette vivace, à fleurs jaunes, haute, est pérenne pour 10 à 20 ans en monoculture. Cette plante présente de nombreux atouts :

- Elle est parfaitement adaptée au dérèglement climatique : elle est résistante à la sécheresse grâce à son système racinaire de 2 à 3 m de profondeur, elle résiste également très bien au gel (-40



²⁶ Solagro. 2016. HERBEA - <https://www.herbea.org/fiches/405/Bande-enherb%C3%A9e>

- °C), aux fortes pluies et aux périodes d'inondation de plusieurs semaines ;
- Elle peut servir d'alimentation pour les cheptels, de plante mellifère et de biomasse pour alimenter les méthaniseurs.

Mais peut-elle être installée sur ces bandes enherbées ?

D'un point de vue réglementaire, elle ne fait a priori pas partie des espèces autorisées par la PAC (VCAE 4²⁷) concernant les cours d'eau.

D'autre part, après une première année d'implantation sous couvert de maïs (afin d'assurer un revenu lors de la première année d'installation de la culture), il faut tout de même prévoir un désherbage la première année pour permettre une bonne installation. Ensuite, il n'y a plus besoin de passages de produits phytosanitaires. Néanmoins, pour atteindre les rendements prévisionnels de 15 tMS/ha, il faut prévoir un apport de fertilisant au printemps de 120 uN/an. Cette productivité est indispensable pour amortir un coût d'implantation très onéreux : 1800 €/ha. Pour ces raisons (désherbage la première année et fertilisation annuelle de printemps), l'implantation de cette culture n'est pas possible sur une bande tampon caractérisée SIE.

6.1.2 Le cas des jachères

Les jachères, mellifères ou non, sont éligibles aux SIE. La fauche y est alors autorisée en suivant un calendrier défini par arrêté préfectoral. De façon générale, il est interdit de valoriser le couvert (ni fauche, ni pâture²⁸) pendant une période de 6 mois (du 1er mars au 31 août).²⁹

Par définition, la jachère sans fertilisation ne permet pas l'export sans risquer de diminuer le potentiel agronomique de la parcelle.

Dans le cas où certaines jachères ne seraient pas utiles en tant que SIE sur l'exploitation agricole, elles peuvent alors être exploitées, mais par définition elles perdent dès lors leur statut de jachère pour devenir des prairies permanentes.

Ainsi, les jachères ne sont pas considérées comme une ressource méthanisable dans cette étude.

6.2 Conditions de mobilisation

Respect des fonctions agroécologiques

Les bandes enherbées et les jachères jouent un rôle agroécologique que l'unité de méthanisation ne doit pas entraver. Les calendriers de fauches définis par arrêté préfectoral doivent être respectés.

²⁷ MASA. 2023 Bandes tampons le long des cours d'eau.

https://isis3.telepac.agriculture.gouv.fr/telepac/pdf/conditionnalite/2023/technique/Conditionnalite-2023_fiche-technique_BCAE4_bandes_tampons.pdf

²⁸ Hors dérogation Ukraine

²⁹ Chambre d'agriculture de la Marne. 2023. La PAC 2023-2027. Les BCAE à respecter dans la Marne. <https://marne.chambre-agriculture.fr/gestion-de-lentreprise/aides-et-financements/pac-2023-2027/conditionnalite-des-aides-pac/>

MASA. 2023. Déclaration des éléments favorables à la biodiversité BCAE 8 – Ecorégime

https://isis.telepac.agriculture.gouv.fr/telepac/pdf/tas/2023/Dossier-PAC-2023_notice_elements-biodiversite.pdf

Contraintes logistiques

Les bandes tampons étant assez étroites, le chantier peut rallonger le nombre d'allers-retours à effectuer si tous les engins ne peuvent pas accéder à la parcelle.

Équilibre économique

Bien qu'il n'y ait pas de coût annuel de semis, contrairement aux CIVE, le chantier de collecte et de transport jusqu'à l'unité de méthanisation a un coût à mettre en regard du potentiel méthanogène de l'herbe et du rendement (2,5 tMS/ha par coupe). Ainsi, on estime que ces fauches ne doivent pas parcourir plus de 4 à 5 km. On estime qu'il faudrait 2 ha de bandes enherbées sur un chantier de collecte pour que les bennes d'auto-chargeuses puissent faire les trajets à plein.

Ration de l'unité de méthanisation

L'herbe issue de la fauche des bandes enherbées, n'est pas considérée comme une culture principale (Décret n° 2022-1120 du 4 août 2022 relatif aux cultures utilisées pour la production de biogaz et de biocarburants). Elle peut donc constituer plus de 15 % de la ration d'un méthaniseur.

6.3 Impacts de l'export pour un usage méthanisation

Thématiques	Impacts de l'export en méthanisation des bandes enherbées
Biodiversité	Réduit la multiplication des espèces invasives (renouée du Japon). Enrichit le nombre d'espèces, contrairement au broyage et retour au sol qui favorise particulièrement le développement des espèces nitrophiles.
Qualité de l'eau	Maîtrise de la végétation par l'export de l'herbe de fauche et meilleure circulation de l'eau. Diminution de la teneur en azote du sol.
Potentiel agronomique de la parcelle	Non concerné.
Unité de méthanisation	La logistique ne doit pas être sous-estimée : les bandes étroites ne permettent pas à tous les engins de passer et les A/R sont plus fréquents pour un rendement faible. Elle ne se justifie que pour une surface importante, centralisée et proche de l'unité de méthanisation (<5 km). Améliore le bilan énergétique de l'unité grâce au pouvoir méthanogène de l'herbe. La saisonnalité de la matière est à prendre en compte, sachant que l'herbe se dégrade vite. Il faut alors l'ensiler.
Temps de travail	Le temps de collecte sur ces bandes étroites doit être bien planifié.
Économie	On estime que ces fauches ne doivent pas parcourir plus de 4 à 5 km pour trouver une rentabilité économique. Également, il faudrait 2 ha de bandes enherbées sur un chantier de collecte pour que les bennes d'auto-chargeuses puissent faire les trajets à plein et ne pas dégrader le bilan économique de l'opération.

6.4 Estimation du potentiel

Les surfaces de bandes enherbées entrant dans le champ des SIE sont déclarées dans le RPG sous le code « BTA » et totalisent 58 081 ha sur la France.

Il existe également des bandes enherbées autour des zones de captages d'eau par exemple, qui restent difficile à recenser.

Le rendement moyen de ces bandes enherbées est de 2,5 tMS/ha par coupe. Nous avons considéré 2 coupes dans cette estimation.

Tableau 24 Résultats de l'estimation du potentiel méthanisable dans bandes enherbées en France métropolitaine (Solagro)

Production actuelle	Potentiel maximum	Utilisation actuelle en méthanisation
Très faible	0,290 MtMS/an	Très faible

7 LES DÉCHETS VERTS

7.1 Production de la ressource

Les déchets verts sont des déchets biodégradables issus des travaux d'entretiens publics ou privés.

Il peut s'agir des communes entretenant leurs espaces verts (pelouse, haies ou arbres), des particuliers jardinant ou des paysagistes professionnels travaillant de la même façon pour des commanditaires privés ou publics.

Peu importe le producteur, on trouvera toujours en mélange une partie fermentescible qui peut être méthanisée et une partie ligneuse qui n'est pas méthanisable. La partie ligneuse comprendra plutôt les branches et les souches, la partie fermentescible les tontes et les feuilles. On appelle aussi « fraction fine » la partie fermentescible car de fait elle est plus fine et peut être isolée au besoin au moyen d'un crible par exemple.

Les déchets verts sont actuellement collectés en déchèteries avant d'être compostés en quasi-totalité, non triés : fraction fermentescible et fraction ligneuse en mélange.

7.2 Conditions de mobilisation

Qualité du tri

Seule la partie non-ligneuse est méthanogène. Il faut donc pouvoir séparer les tontes des branchages.

Le tri peut s'effectuer en déchèterie si la place est suffisante pour ajouter des bennes et à condition de former les apporteurs. Sinon, il faut utiliser un crible qui permettra d'isoler la fraction fine des déchets verts qui correspond également à la partie la plus méthanogène (feuilles et tontes).

Les retours d'expérience des exploitants d'unité de méthanisation estiment que le tri est de meilleure qualité lorsqu'il provient de paysagistes, ce qui correspond à environ 50 % des volumes compostés.

Contraintes d'exploitation

Comme toutes les matières végétales, il existe une saisonnalité qui implique de stocker ces déchets verts qui se dégradent relativement facilement. Il faut donc prévoir de les ensiler sur l'unité de méthanisation.

Concurrence d'usage

Les plateformes de compostage actuelles utilisent les déchets verts en tant que structurant pour compostier les biodéchets et les boues de STEP, relativement liquides par ailleurs. Il faut donc veiller à ce que ces ressources puissent toujours être compostées ou les méthaniser le cas échéant.

7.3 Impacts de l'export pour un usage méthanisation

Thématiques	Impacts de l'export en méthanisation des déchets verts
Biodiversité	Pas d'impact, les déchets verts étant déjà collectés et compostés.
Qualité de l'eau	Pas d'impact, les déchets verts étant déjà collectés et compostés.
Potentiel agronomique de la parcelle	Non concerné.
Unité de méthanisation	Le tri doit être bien réalisé en amont. Et la plateforme de compostage ne peut être intégralement remplacée par une unité de méthanisation car il reste toujours à valoriser la partie ligneuse. La saisonnalité de la matière est à prendre en compte, sachant que l'herbe se dégrade vite. Il faut alors l'ensiler.
Temps de travail	Pas d'impact, les déchets verts étant déjà collectés et compostés. Au lieu d'être amenés sur une plateforme de compostage, ils sont amenés sur un méthaniseur.
Économiques	Un équilibre est à trouver entre ce que la collectivité payait déjà pour valoriser les déchets verts, et les nouveaux coûts de transport du fait du trajet vers l'unité de méthanisation. En règle générale, les unités de méthanisation se font rémunérer pour la valorisation de ces déchets verts.

7.4 Estimation du potentiel

L'étude « Audit des plateformes de compostage de déchets organiques en France » publiée en 2008 par le consortium ADEME, CEDEN, Biomasse Normandie a permis d'estimer sur un bassin de 5 millions d'habitants la quantité de déchets verts amenés chaque année en déchèterie. Par extrapolation, et en tenant compte de l'impact du climat sur la production végétale, cette étude propose une déclinaison de ratios. Il s'agit uniquement des déchets verts réceptionnés dans les plateformes de compostage. Ainsi, les composts individuels ou autre forme de valorisation in situ ne rentrent pas dans le périmètre de ce ratio.

Ces ratios sont établis par zone climatique et vont de 160 kg de déchets verts bruts par habitant dans les zones océaniques à 45 kg de déchets verts bruts pour les zones montagneuses.

Les objectifs locaux des plans de réduction de production de déchets verts ne sont pas pris en compte dans cette étude nationale.

Également, il n'a pas été décidé de scénarios visant à estimer si la pousse des végétaux allait plutôt augmenter ou diminuer et dans quelles zones géographiques. Il n'y a donc pas d'hypothèse concernant ce point dans cette étude.

Anciennes Régions	Climat	Kg DV/hab./an
ILE-DE-FRANCE	Océanique dégradé	109
CHAMPAGNE-ARDENNE	Océanique dégradé	109
PICARDIE	Océanique	161
HAUTE-NORMANDIE	Océanique	161
CENTRE-VAL DE LOIRE	Océanique dégradé	109
BASSE-NORMANDIE	Océanique	161

BOURGOGNE	Continental	52
NORD-PAS-DE-CALAIS	Océanique	161
LORRAINE	Continental	52
ALSACE	Continental	52
FRANCHE-COMTE	Continental	52
PAYS-DE-LA-LOIRE	Océanique	161
BRETAGNE	Océanique	161
POITOU-CHARENTES	Océanique	161
AQUITAINE	Océanique	161
MIDI-PYRENEES	Océanique dégradé	109
LIMOUSIN	Océanique dégradé	109
RHONE-ALPES	Montagnard	45
AUVERGNE	Montagnard	45
LANGUEDOC-ROUSSILLON	Méditerranéen	96
PROVENCE-ALPES-COTE-D'AZUR	Méditerranéen	96
CORSE	Méditerranéen	96

Tableau 25 Climat des anciennes-régions (source : Solagro) et ratios de production de déchets verts bruts ramenés aux habitants (source : ADEME, CEDEN, Biomasse Normandie, 2008. Audit national des plateformes de compostage.)

Le résultat de l'application de ce ratio à la population INSEE 2024 de chaque département mène au résultat de 1,3 MtMS de déchets verts non ligneux.

Production actuelle	Potentiel maximum	Utilisation actuelle en méthanisation
1,3 MtMS (non ligneux)	1,3 MtMS/an	0,07 MtMS/an

Tableau 26 Résultats de l'estimation du potentiel de déchets verts méthanisables (Solagro)

8 LES FAUCHES DE BORD DE ROUTE

8.1 Production de la ressource

Les bas-côtés des routes départementales et communales sont entretenus grâce aux chantiers de fauches en bord de route qui ont lieu plusieurs fois par an. Bien que la collecte de l'herbe coupée ne soit pas obligatoire, la fauche reste essentielle pour garantir la visibilité.

Collecter l'herbe permet à la fois de limiter la propagation des espèces invasives et de réduire les travaux de curage des fossés.

Pour cela, il est nécessaire de disposer d'un matériel spécifique « broyeur-aspireur » ou « rotofaucheuse avec aspiration », et de mettre en place une procédure particulière pour pouvoir s'assurer d'une qualité de produit cohérente avec les exigences d'une unité de méthanisation (et notamment du retour au sol de la matière) : il s'agira d'organiser un ramassage manuel des déchets de bord de route (ex. bouteilles, sacs plastiques, etc.) avant le fauchage.

Il existe 2 types de systèmes de collecte du broyat issu du « broyeur-aspireur » :

- Une remorque classique attelée à un tracteur ou directement au « broyeur-aspireur » ;
- Un porte caisson amovible, dans ce cas un bras de levage permet de charger et décharger le caisson.



Figure 6 : Source : « Livrable Combine - Revue technique et économique des chantiers d'entretien des accotements »

La production de matière dépend largement de la stratégie adoptée en termes de fréquence de passage, de la largeur de la bande de coupe et de la hauteur de coupe. Elle dépend également de la zone climatique du territoire considéré. Les retours d'expérience ont montré qu'une coupe haute préserve la biodiversité, diminue la consommation de carburant et l'usure du matériel, tandis qu'une coupe rase favorise une croissance plus rapide des végétaux.³⁰



Figure 7 Variabilité dans les stratégies de fauches – Source : Étude COMBINE 2015

³⁰ Livrable Combine Revue technique et économique des chantiers d'entretien des accotements routiers par broyage, collecte des résidus produits et leur livraison sur site de valorisation – 2015 – CD Côtes d'Armor, COMBINE, AILE

8.2 Conditions de mobilisation

Les contraintes inhérentes à la collecte sont importantes et explique qu'elle n'est que rarement mis en œuvre aujourd'hui. Il faut que les densités de production et les gains d'entretien soient suffisantes pour justifier économiquement les investissements et les charges nécessaires. Les retours d'expérience insistent également sur l'importance d'avoir une fauche de qualité ce qui nécessite un ramassage manuel des indésirables avant le chantier de fauche.

Le surcoût d'un fauchage avec collecte pour valorisation par rapport à un simple fauchage d'entretien est estimé entre 15 et 34 €/km d'acotement suivant les différents retours d'expérience (essentiellement en Bretagne).

Néanmoins, les collectivités et départements qui ont mis en place cette collecte s'y retrouvent grâce aux économies réalisées sur l'entretien des fossés (moins de curage des fossés et débouchage des buses).

La distance entre le chantier d'entretien et l'aire de dépôt des fauches doit être inférieure à 20 km pour une valorisation en méthanisation.

Le tri manuel avant la fauche (3 agents 1 à 2 jours avant) est une condition indispensable à l'obtention d'un flux de qualité, acceptable par l'unité de méthanisation.

Le projet ADEME « CARMEN » a précisément étudié en juin 2018 la présence de composés organiques polycycliques et métaux lourds dans l'herbe de fauche de bords de route. Il conclut à l'innocuité de ces fauches de bord de route avec des niveaux de contamination des herbes de 10 % à 20 % des valeurs limites prescrites par la norme des composts NF U44-051. Aucune corrélation n'a été démontrée entre le niveau de contamination et l'importance du trafic routier.³¹

Toutes les routes ne peuvent pas être fauchées et collectées, suivant leur taux d'urbanisation et leur sinuosité. Le département de Mayenne estime que 20 % maximum des routes départementales sont mobilisables pour un chantier de fauche avec export.

8.3 Impacts de l'export pour un usage méthanisation

Thématiques	Impacts de l'export en méthanisation des fauches de bord de route
Biodiversité	Réduit la multiplication des espèces invasives (renouée du Japon). Enrichit le nombre d'espèces (limite le développement des espèces nitrophiles). Moins d'impact sur les polluants plastiques sur la faune et la flore. Lutte contre les incendies en zones sensibles.
Qualité de l'eau	Diminue le transfert de la matière organique et des nutriments vers les eaux des fossés.
Potentiel agronomique de la parcelle	Non concerné.

³¹ Isabelle Zdanevitch (1), Jeanne Lencauchez, L. Duffo, C. Pineau, T. Ribeiro, L. Andre. Caractérisation des fauchages de bord de route pour la méthanisation (CARMEN). Juin 2018. INERIS, ADEME, CEREMA, UniLaSalle

Unité de méthanisation	<p>Nécessite un broyage de qualité : les brins trop longs vont former une croûte sur le digesteur.</p> <p>Améliore le bilan énergétique de l'unité grâce au pouvoir méthanogène de l'herbe.</p> <p>Nécessite une vigilance sur les indésirables et la qualité des fauches livrées.</p>
Temps de travail	<p>La valorisation des herbes de fauche de bord de route nécessite en amont le passage d'un ou de plusieurs agents techniques afin de nettoyer manuellement les fossés.</p> <p>Débit de chantier ralenti en conséquence.</p>
Économiques	<p>Réduit les coûts d'entretien des fossés (moins de curage et de débouchage des buses).</p> <p>Diminue la repousse de l'herbe et des adventices, et nécessite donc moins de fauchage.</p> <p>Nécessite un investissement et modifie l'organisation du chantier de fauche.</p>

8.4 Estimation du potentiel

L'ensemble des retours d'expérience convergent vers un ratio de production de 2,8 tMB/km de route.

Le ratio issu de l'outil interne Solagro BACUS (2,6 tMB/km) a été mis à jour avec les retours récents de l'association AILE, membre du COPIL de l'étude.

L'ensemble des études et projets qui ont été pris en compte pour l'évaluation de ce ratio sont donnés en annexe

Le potentiel de production maximum est évalué en appliquant ce ratio à 20 % des routes départementales et 50 % des routes communales en France Métropolitaine. L'estimation s'établit autour de 1,1 MtMB à 25 % MS soit 0,25 MtMS.

Production actuelle	Potentiel maximum	Utilisation actuelle en méthanisation
Très faible	0,25 MtMS/an	Très faible

Tableau 27 Résultats de l'estimation du potentiel méthanisable de fauches de bord de route en France (Solagro)

9 CONCLUSION

Cette étude conclut à un potentiel certain concernant les cultures intermédiaires et les cannes de maïs. Il est évalué à 67 TWhPCS biométhane en France métropolitaine pour les CIVE et 11 TWhPCS pour les cannes de maïs.

Les surplus fourragers sont également une ressource importante mais qui dépend fortement des stratégies des agriculteurs sur leur exploitation.

Tableau 28 Tableau de synthèse des potentiels par ressource. Les potentiels méthanogènes sont issus de la BDD des BMP de Solagro

Ressource	Facilité de mobilisation	Tonnage annuel mobilisable en France métropolitaine En MtMS/an	Potentiel méthanogène retenu En m3CH4/tMS	Energie biométhane en France métropolitaine En TWh PCS/an	% de la ressource déjà méthanisée chaque année (Estimation Solagro 2024)
Cultures intermédiaires à vocation énergétique	***	19,6	310	67	5 %
Cannes de maïs	***	3,3	290	11	7 % En incluant les pailles de céréales (blé, triticale etc...)
Pailles de colza	*	3,4	90	3	
Cannes de tournesol	**	1,3	290 ¹	4	
Fanes de betteraves	*	0,8	260	2	
Cannes de sorgho	***	0,12	290	0,4	
Paille de soja	*	0,06	90	0,1	
Fanes de pomme de terre	*	0,17	210	0,4	
Bandes enherbées	*	0,29	210	1	Négligeable
Déchets verts	**	1,3	210	3	5 %
Fauches de bord de route	**	0,25	210	1	Négligeable
Surplus fourrager (maïs)	***	0 à 3,7	310	0 à 13	Négligeable
Surplus fourrager (foin)	***	0 à 4,5	210	0 à 10	Négligeable
Surplus fourrager (pâturage)	***	0 à 3,2	210	0 à 7	Négligeable

¹Aucun BMP n'est disponible pour les cannes de tournesol, il est donc estimé égale à celui des cannes de maïs

Légende :

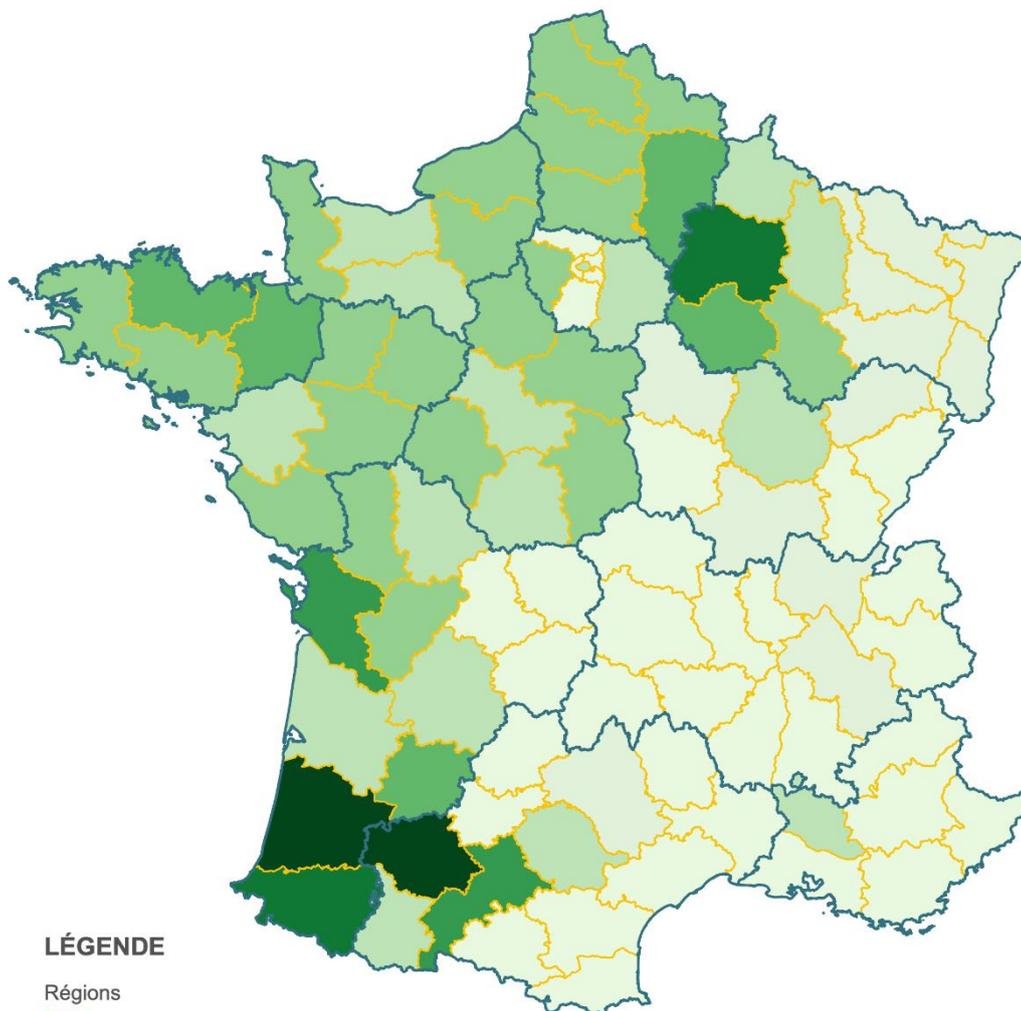
*** Mobilisation possible dès aujourd'hui sans difficultés

** Mobilisation avec contraintes non négligeables

* Difficilement mobilisable

Les deux cartes ci-dessous indiquent les tonnages totaux par département de l'ensemble des ressources estimées en tonnes de matière sèche puis en GWh. Les cartes de chaque ressource est donnée en annexe.

Total du potentiel méthanisable des résidus de culture, cultures intermédiaires, déchets verts, fauches de bord de route, bandes enherbées.



LÉGENDE

Régions

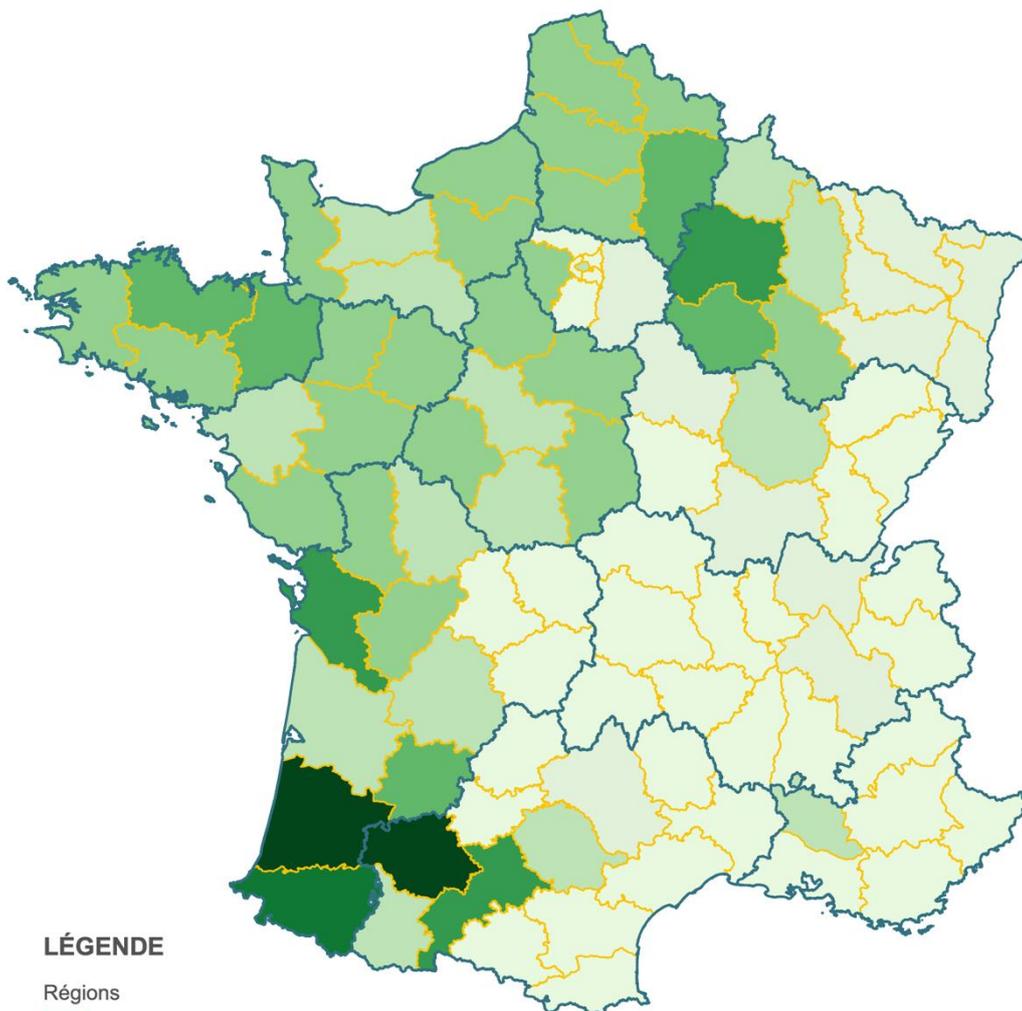
□ Départements

Tonnages de ressources
En tMS

- 0 - 150000
- 150000 - 310000
- 310000 - 460000
- 460000 - 610000
- 610000 - 760000
- 760000 - 910000
- 910000 - 1060000
- 1060000 - 1220000

Réalisation :
Solagro - juillet 2024

Total du potentiel méthanisable des résidus de culture, cultures intermédiaires, déchets verts, fauches de bord de route, bandes enherbées.



LÉGENDE

Régions

□ Départements

Contenu en énergie des ressources
En GWh/an

□ 0 - 500

□ 500 - 1000

□ 1000 - 1500

□ 1500 - 2000

□ 2000 - 2500

□ 2500 - 3000

□ 3000 - 3400

□ 3400 - 3900

Réalisation :
Solagro - juillet 2024

10 ANNEXE – BILANS DES DREALS SUR LE PARC DE MÉTHANISEURS

Tableau 29 Ration moyenne observée dans les méthaniseurs agricoles en Bretagne en 2021 (Source : DREAL Bretagne)

Ration type dans les méthaniseurs agricoles	Cogénération	Injection
Effluents	68 %	57 %
Matière végétale agricole	17 %	34 %
Matière végétale non agricole	4 %	5 %
Autres	11 %	4 %

Tableau 30 Ration moyenne observée dans les méthaniseurs agricoles en Bretagne en 2021 (Source : DREAL Pays de la Loire)

Ration type dans les méthaniseurs agricoles	Cogénération	Injection
Effluents d'élevage	61 %	65 %
CIVE	3 %	8 %
Cultures principales	4 %	2 %
Résidus cultures	2 %	5 %
IAA	23 %	18 %
Déchets verts	0 %	0 %
Biodéchets	7 %	1 %

Tableau 31 Ration moyenne observée dans les méthaniseurs en 2021 (Source : DREAL Grand Est)

Ration type dans les méthaniseurs agricoles	Cogénération	Injection
Effluents d'élevage	67 %	37 %
Matière végétale	19 %	39 %
IAA	9 %	9 %
Déchets verts	0 %	0 %
Biodéchets	3 %	11 %

Tableau 32 Bilan des tonnages annuels de ressources méthanisées en 2021 d'après les différents retours des DREAL³²

³² Préfète de la région AURA, RAEE, 2023. Synthèse régionale du fonctionnement des unités de méthanisation en Auvergne Rhône Alpes – Année 2021

Préfète de la région Centre Val de Loire, 2024. Schéma Régional Biomasse. Les gisements potentiels agricoles et forêt-bois : définitions, données mobilisables et premières estimations.

Préfet de la région Bretagne, AILE, 2023. Synthèse des bilans de fonctionnement des unités de méthanisation sur l'année 2021 en Bretagne.

Methanaqion, AREC, 2023. État du développement de la méthanisation en Nouvelle-Aquitaine. Année de production 2021.

AREC IDF, Institut Paris Région, Novembre 2022. Bilan de fonctionnement 2021 des unités de méthanisation en Ile-de-France.

Préfet de la région Pays de la Loire, AILE, TEO, Décembre 2023. Analyse des bilans de fonctionnement 2021 des installations de la filière biogaz en Pays de la Loire.

Préfet de la région Grand Est, ADEME, Edition 2021. Observation régionale de la méthanisation en région Grand Est.

Région En tMB/an	TOTAL	AURA	CVL	Bretagne	NA	IDF	PDL	Grand Est	Hauts de France	Occitanie	PACA
Date		2021	2024	2021	2021	2021	2021	2021			
Source		DREAL AURA	SRB/DREAL	DREAL	DREAL	DREAL/TE O	DREAL/TE O	DREAL			
Unité		tMB	tMB	tMB	tMB	tMB	tMB	tMB			
Ressource tMB/Nb d'unités			20 351	12 200	13 145	10 382	20 000	13 508			
TOTAL	12 839 830	666 505	915 794	1 768 931	1 446 000	342 600	1 800 000	5 900 000			
Effluents d'élevage	4 595 969	430 790	282 430	987 078	679 620	20 500	896 993	1 298 558			
Ensilage de végétaux	1 516 715	96 149	112 611	274 878	209 460	246 600	119 632	457 385			
Dont CIVE	891 702	73 418	99 632	130 901	195 000	107 100	70 453	215 198			
Dont cultures principales et prairies temporaires	324 929	15 921	12 980	93 576	14 460	12 700	49 179	126 113			
Résidus de culture	296 723	7 972	28 423	50 415	101 220	200	36 597	71 896			
Biodéchets	6 159 424	129 361	414 512	507 035	1 065 909	150 400	384 755	3 198 452	Bilan non encore diffusé	Bilan non encore diffusé	Bilan non encore diffusé
Dont Distribution- Restauration hors foyer	339 656	28 801		18 928	115 680	42 700	75 237	58 310			
Dont Déchets carnés des IAA	1 464 850	18 289	99 632	163 980	950 229	3 300	229 421				
Dont Déchets laitiers des IAA	40 498	31 498				9 000					
Dont Déchets végétaux des IAA	629 975	50 581	314 880	89 862		95 400	79 252				
Divers (boues de papeterie, glycérine...)	3 143 220	2 233					845	3 140 142			
Boues de STEP	254 439		25 539	228 900	cf. Biodéchets						
Déchets verts	47 029		12 679	5 484	cf. Biodéchets	4 800	3 930	20 136			
Déchets des ménages et collectifs	41 446		12 920					28 526			

11 ANNEXE – LIBELLÉS DES CODES RPG

Les libellés des codes RPG indiqués dans les Annexes 11 et 12 sont issus du document :
IGN, Registre Parcellaire Graphique. Août 2020. Descriptif de contenu et de livraison.

Code RPG	Libellé
CZH	Colza d'hiver
PTR	Autre prairie temporaire de 5 ans ou moins
BTH	Blé tendre d'hiver
MIS	Maïs
MIE	Maïs Ensilage
TRN	Tournesol
ORH	Orge d'hiver
BTN	Betterave non fourragère
LUZ	Autre Luzerne
MLG	Mélange de légumineuses prépondérantes au semis et de graminées fourragères de 5 ans ou moins
PTC	Pomme de terre de consommation
PPR	Pois de printemps semé avant le 31/05
LIF	Lin fibres
ORP	Orge de printemps
RGA	Ray-grass de 5 ans ou moins
SOJ	Soja
BDH	Blé dur d'hiver
TTH	Triticale d'hiver
SOG	Sorgho
LUD	Luzerne déshydratée
CEE	Chênaie entretenue par des porcins ou des petits ruminants
FVL	Fèverole semée avant le 31/05
TRE	Autre trèfle
LAV	Lavande
PHI	Pois d'hiver
MLF	Mélange de légumineuses fourragères (entre elles)
PPO	Petit pois
PRL	Prairie en rotation longue (6 ans ou plus)
MLT	Millet
MCR	Mélange de céréales
LEC	Lentille cultivée (non fourragère)
AVP	Avoine de printemps
PPH	Prairie permanente - herbe prédominante (ressource fourragères ligneuses absentes ou peu présentes)

12 ANNEXE – POSSIBILITES D’IMPLANTATION DES CIVE EN ZONE NORD

Légende : les successions notées « 0 » ne peuvent recevoir cette CIVE.

Exemple : la successions « Colza d’hiver - CZH puis Blé tendre d’hiver - BTH » peut recevoir une CIVE été tardive en culture intermédiaire en zone « Nord »

Code RPG culture précédente	Code RPG culture suivante	Date récolte Précédent	Date implantation Suivant	Cive_ete_precoce	Cive_ete_tardive	Cive_hiver_precoce	Cive_hiver_tardive
CZH	BTH	15/7	1/11	0	1	0	0
PTR	PTR	NC	1/11	0	0	0	0
BTH	ORH	30/7	15/11	0	0	0	0
MIS	MIS	31/10	1/5	0	0	1	0
MIE	BTH	20/9	1/11	0	0	0	0
MIS	BTH	31/10	1/11	0	0	0	0
TRN	BTH	30/9	1/11	0	0	0	0
BTH	BTH	30/7	1/11	0	0	0	0
BTH	CZH	30/7	25/8	0	0	0	0
BTH	MIE	30/7	1/5	0	0	1	0
MIE	MIE	20/9	1/5	0	0	1	0
BTH	MIS	30/7	1/5	0	0	1	0
ORH	CZH	30/6	25/8	0	0	0	0
BTN	BTH	30/9	1/11	0	0	0	0
BTH	BTN	30/7	30/3	0	0	0	0
LUZ	LUZ	NC	1/3	0	0	0	0
BTH	TRN	30/7	30/4	0	0	1	0
BTH	ORP	30/7	1/3	0	0	0	0
MLG	MLG	30/5	15/11	1	0	0	0
PTC	BTH	1/10	1/11	0	0	0	0
PPR	BTH	15/7	1/11	0	1	0	0
LIF	BTH	15/8	1/11	0	0	0	0
ORP	CZH	15/7	25/8	0	0	0	0
RGA	RGA	15/10	NC	0	0	0	0
ORH	MIE	30/6	1/5	0	0	1	0
ORH	TRN	30/6	30/4	0	0	1	0
BTH	PTC	30/7	15/4	0	0	0	0
PTR	MIE	NC	1/5	0	0	0	0
ORP	ORP	15/7	1/3	0	1	0	0
TRN	BDH	30/9	15/11	0	0	0	0
SOJ	BTH	30/9	1/11	0	0	0	0
ORP	TRN	15/7	30/4	0	0	1	0
ORP	BTH	15/7	1/11	0	1	0	0
MIS	TRN	31/10	30/4	0	0	1	0
PTR	PRL	NC	NC	0	0	0	0
ORH	MIS	30/6	1/5	0	0	1	0
BTH	TTH	30/7	15/11	0	0	0	0
ORP	ORH	15/7	15/11	0	1	0	0
BTH	LIF	30/7	1/4	0	0	0	0
ORH	ORH	30/6	15/11	1	0	0	0
BTH	PTR	30/7	1/11	0	0	0	0
MIE	ORH	20/9	15/11	0	0	0	0
MIE	PTR	20/9	1/11	0	0	0	0
ORP	BTN	15/7	30/3	0	1	0	0
MIE	TTH	20/9	15/11	0	0	0	0
ORH	BTH	30/6	1/11	1	0	0	0
BDH	TRN	30/7	30/4	0	0	1	0
TTH	TTH	30/7	15/11	0	0	0	0
SOG	BTH	30/9	1/11	0	0	0	0
LUD	LUD	NC	NC	0	0	0	0
BTH	PPR	30/7	15/1	0	0	0	0
ORP	MIS	15/7	1/5	0	0	1	0
CEE	CEE	NC	NC	0	0	0	0
MIS	BDH	31/10	15/11	0	0	0	0
MIS	SOJ	31/10	15/5	0	0	0	1
RGA	MIE	15/10	1/5	0	0	0	0
FVL	BTH	30/7	1/11	0	0	0	0
TRE	TRE	NC	NC	0	0	0	0

TTH	PTR	30/7	1/11	0	0	0	0
ORH	ORP	30/6	1/3	1	0	0	0
ORH	PTR	30/6	1/11	1	0	0	0
PTR	BTH	NC	1/11	0	0	0	0
BTH	SOJ	30/7	15/5	0	0	0	1
TTH	MIE	30/7	1/5	0	0	1	0
CZH	BDH	15/7	15/11	0	1	0	0
BTN	ORP	30/9	1/3	0	0	0	0
BTH	RGA	30/7	NC	0	0	0	0
LAV	LAV	NC	NC	0	0	0	0
TRN	MIS	30/9	1/5	0	0	1	0
MIS	ORH	31/10	15/11	0	0	0	0
PHI	BTH	15/7	1/11	0	1	0	0
BDH	MIS	30/7	1/5	0	0	1	0
MLF	MLF	NC	NC	0	0	0	0
LUZ	BTH	NC	1/11	0	0	0	0
PPO	BTH	15/6	1/11	1	0	0	0
PTR	PPH	NC	NC	0	0	0	0
SOJ	SOJ	30/9	15/5	0	0	0	1
ORH	BTN	30/6	30/3	1	0	0	0
MLG	PTR	30/5	1/11	1	0	0	0
ORP	MIE	15/7	1/5	0	0	1	0
SOJ	MIS	30/9	1/5	0	0	1	0
MIS	ORP	31/10	1/3	0	0	0	0
ORH	PPR	30/6	15/1	1	0	0	0
PRL	MIE	NC	1/5	0	0	0	0
BTH	PHI	30/7	30/11	0	0	0	0
ORH	TTH	30/6	15/11	1	0	0	0
ORP	PPR	15/7	15/1	0	1	0	0
BTH	FVL	30/7	1/12	0	0	0	0
BTH	PPO	30/7	27/2	0	0	0	0
MLT	BTH	20/9	1/11	0	0	0	0
BTH	SOG	30/7	15/5	0	0	0	1
MIS	MIE	31/10	1/5	0	0	1	0
BTH	LUZ	30/7	1/3	0	0	0	0
MIE	RGA	20/9	NC	0	0	0	0
MCR	MCR	30/7	15/11	0	0	0	0
MCR	PTR	30/7	1/11	0	0	0	0
MIS	TTH	31/10	15/11	0	0	0	0
LEC	BTH	7/7	1/11	0	0	0	0
TRN	ORH	30/9	15/11	0	0	0	0
AVP	BTH	30/7	1/11	0	0	0	0

13 ANNEXE – POSSIBILITES D’IMPLANTATION DES CIVE EN ZONE SUD

Légende : les successions notées « 0 » ne peuvent recevoir cette CIVE.

Exemple : la successions « Colza d’hiver - CZH puis Blé tendre d’hiver - BTH » peut recevoir une CIVE été précoce en culture intermédiaire en zone « Sud »

Code RPG culture précédente	Code RPG culture suivante	Date récolte Précédent	Date implantation Suivant	Cive_ete_precoce	Cive_ete_tardive	Cive_hiver_precoce	Cive_hiver_tardive
CZH	BTH	15/6	1/11	1	0	0	0
PTR	PTR	NC	1/11	0	0	0	0
BTH	ORH	30/6	15/11	0	1	0	0
MIS	MIS	1/10	1/5	0	0	0	1
MIE	BTH	1/9	1/11	0	0	0	0
MIS	BTH	1/10	1/11	0	0	0	0
TRN	BTH	15/9	1/11	0	0	0	0
BTH	BTH	30/6	1/11	0	1	0	0
BTH	CZH	30/6	25/8	0	0	0	0
BTH	MIE	30/6	1/5	0	0	0	1
MIE	MIE	1/9	1/5	0	0	0	1
BTH	MIS	30/6	1/5	0	0	0	1
ORH	CZH	15/6	25/8	0	0	0	0
BTN	BTH	30/9	1/11	0	0	0	0
BTH	BTN	30/6	30/3	0	1	0	0
LUZ	LUZ	NC	1/3	0	0	0	0
BTH	TRN	30/6	30/4	0	0	1	0
BTH	ORP	30/6	1/3	0	1	0	0
MLG	MLG	1/5	15/11	1	0	0	0
PTC	BTH	1/10	1/11	0	0	0	0
PPR	BTH	1/7	1/11	0	1	0	0
LIF	BTH	15/8	1/11	0	0	0	0
ORP	CZH	15/6	25/8	0	0	0	0
RGA	RGA	15/10	NC	0	0	0	0
ORH	MIE	15/6	1/5	0	0	0	1
ORH	TRN	15/6	30/4	0	0	1	0
BTH	PTC	30/6	15/4	0	1	0	0
PTR	MIE	NC	1/5	0	0	0	0
ORP	ORP	15/6	1/3	1	0	0	0
TRN	BDH	15/9	15/11	0	0	0	0
SOJ	BTH	30/9	1/11	0	0	0	0
ORP	TRN	15/6	30/4	0	0	1	0
ORP	BTH	15/6	1/11	1	0	0	0
MIS	TRN	1/10	30/4	0	0	1	0
PTR	PRL	NC	NC	0	0	0	0
ORH	MIS	15/6	1/5	0	0	0	1
BTH	TTH	30/6	15/11	0	1	0	0
ORP	ORH	15/6	15/11	1	0	0	0
BTH	LIF	30/6	1/4	0	1	0	0
ORH	ORH	15/6	15/11	1	0	0	0
BTH	PTR	30/6	1/11	0	1	0	0
MIE	ORH	1/9	15/11	0	0	0	0
MIE	PTR	1/9	1/11	0	0	0	0
ORP	BTN	15/6	30/3	1	0	0	0
MIE	TTH	1/9	15/11	0	0	0	0
ORH	BTH	15/6	1/11	1	0	0	0
BDH	TRN	15/6	30/4	0	0	1	0
TTH	TTH	30/6	15/11	0	1	0	0
SOG	BTH	15/9	1/11	0	0	0	0
LUD	LUD	NC	NC	0	0	0	0
BTH	PPR	30/6	15/1	0	1	0	0
ORP	MIS	15/6	1/5	0	0	0	1
CEE	CEE	NC	NC	0	0	0	0
MIS	BDH	1/10	15/11	0	0	0	0
MIS	SOJ	1/10	15/5	0	0	0	1
RGA	MIE	15/10	1/5	0	0	0	0
FVL	BTH	15/7	1/11	0	0	0	0
TRE	TRE	NC	NC	0	0	0	0

TTH	PTR	30/6	1/11	0	1	0	0
ORH	ORP	15/6	1/3	1	0	0	0
ORH	PTR	15/6	1/11	1	0	0	0
PTR	BTH	NC	1/11	0	0	0	0
BTH	SOJ	30/6	15/5	0	0	0	1
TTH	MIE	30/6	1/5	0	0	0	1
CZH	BDH	15/6	15/11	1	0	0	0
BTN	ORP	30/9	1/3	0	0	0	0
BTH	RGA	30/6	NC	0	0	0	0
LAV	LAV	NC	NC	0	0	0	0
TRN	MIS	15/9	1/5	0	0	0	1
MIS	ORH	1/10	15/11	0	0	0	0
PHI	BTH	7/6	1/11	1	0	0	0
BDH	MIS	15/6	1/5	0	0	0	1
MLF	MLF	NC	NC	0	0	0	0
LUZ	BTH	NC	1/11	0	0	0	0
PPO	BTH	1/8	1/11	0	0	0	0
PTR	PPH	NC	NC	0	0	0	0
SOJ	SOJ	30/9	15/5	0	0	0	1
ORH	BTN	15/6	30/3	1	0	0	0
MLG	PTR	1/5	1/11	1	0	0	0
ORP	MIE	15/6	1/5	0	0	0	1
SOJ	MIS	30/9	1/5	0	0	0	1
MIS	ORP	1/10	1/3	0	0	0	0
ORH	PPR	15/6	15/1	1	0	0	0
PRL	MIE	NC	1/5	0	0	0	0
BTH	PHI	30/6	30/11	0	1	0	0
ORH	TTH	15/6	15/11	1	0	0	0
ORP	PPR	15/6	15/1	1	0	0	0
BTH	FVL	30/6	1/12	0	1	0	0
BTH	PPO	30/6	27/2	0	1	0	0
MLT	BTH	20/9	1/11	0	0	0	0
BTH	SOG	30/6	1/5	0	0	0	1
MIS	MIE	1/10	1/5	0	0	0	1
BTH	LUZ	30/6	1/3	0	1	0	0
MIE	RGA	1/9	NC	0	0	0	0
MCR	MCR	30/6	15/11	0	1	0	0
MCR	PTR	30/6	1/11	0	1	0	0
MIS	TTH	1/10	15/11	0	0	0	0
LEC	BTH	7/7	1/11	0	0	0	0
TRN	ORH	15/9	15/11	0	0	0	0
AVP	BTH	15/7	1/11	0	0	0	0

14 ANNEXE – BIBLIOGRAPHIE CIVE

Thèses :

Launay C. ; Insertion de cultures intermédiaires énergétiques dans les systèmes de cultures en France : évaluation multi-échelles du potentiel de production et des impacts eau–azote–carbone ; Thèse de Doctorat ; université Paris-Saclay ; Soutenance le 03/07/2023

Articles scientifiques et web :

Levasseur F et al. (2023). Land cover changes with the development of anaerobic digestion for biogas production in France. *GCB Bioenergy* (2023 ; 15), 630–641

Marsac S. et al. (2021). Méthanisation – L’humidité des CIVE à la récolte : un critère clé pour une bonne conservation ?

Levasseur F. et al (2023). CarboCIMS – Stockage du carbone et cultures intermédiaires à vocation énergétique

Rapports d’études :

El-Akkari M. et Al. ; INRAE Transfert. (2023). Impacts environnementaux et enjeux technico-économiques et sociétaux associés à la mobilisation de biomasse agricole et forestières pour la production d’énergie en France à l’horizon 2050, Étude Bibliographie

Association des Agriculteurs méthaniseurs de France. (2021). Enquête AAMF « État des lieux CIVE »

Association des Agriculteurs méthaniseurs de Bretagne. (2021). Produire des CIVE en Bretagne – Synthèse des essais et des retours d’expérience du groupe de travail CIVE (2016-2019)

Programmes de recherche et développement :

Chambre Agriculture Nouvelle Aquitaine. (2020-2023). PAMPA : Promouvoir Agroécologie et Méthanisation Par les Associations culturelles.

Arvalis Institut du Végétal. (2019-2023). RECITAL : Capitaliser et valoriser les informations sur les Cultures Intermédiaires à Vocation Énergétique.

Chambre Agriculture de Bretagne. (2022-2023). Reflex’CIVE : capitaliser, outiller et former à la production des CIVE.

Chambre Agriculture Pays de la Loire. (2019-2021). VALOCIVE : Valoriser les CIVE pour l’approvisionnement des installations de méthanisation dans les Pays de la Loire. – Guide de réussite des CIVE.

Chambre Agriculture AURA. (2020-2022). PEPIT AURA-CIVE : Clés de réussite pour des CIVE durables en Auvergne Rhône Alpes.

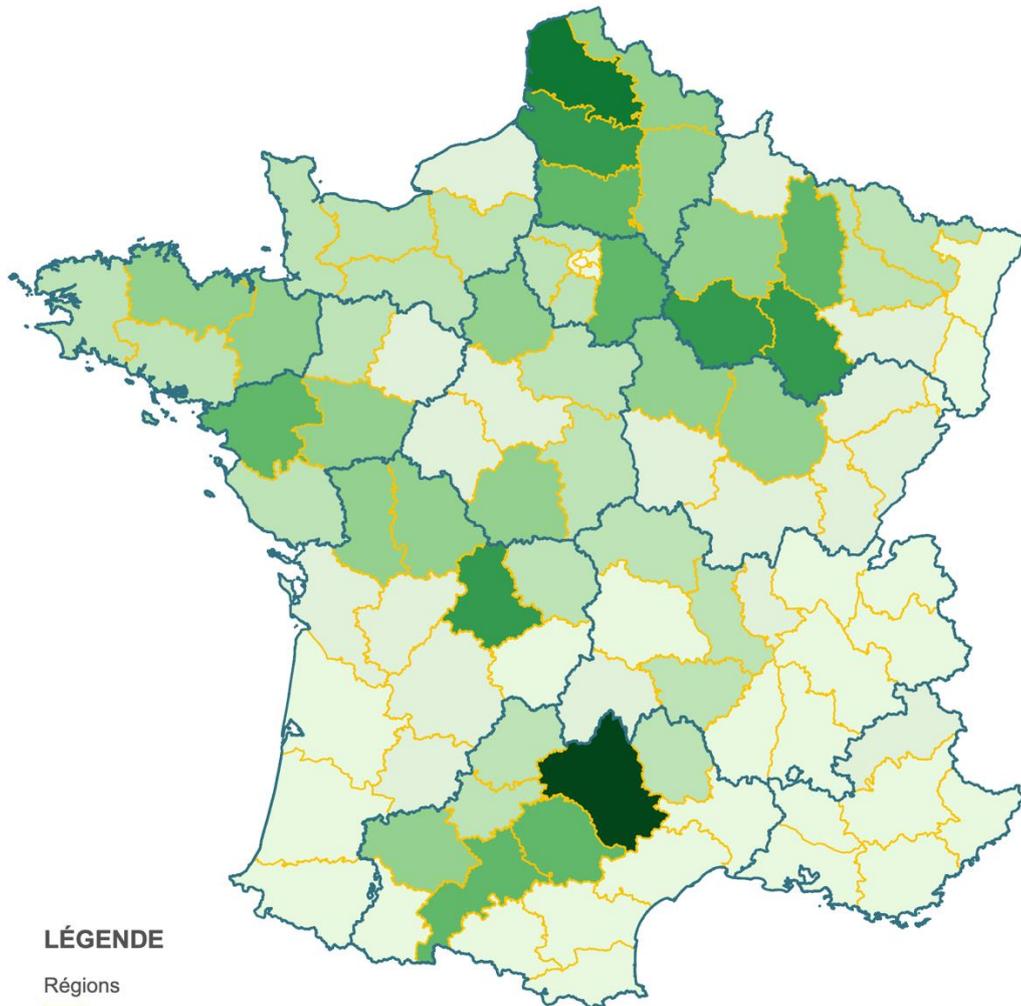
15 ANNEXE – BIBLIOGRAPHIE SUR LES FAUCHES DE BORD DE ROUTE

1. Une nouvelle approche de la gestion des bords de route – 2019 – Couesnon Marche de Bretagne & Syndicat Mixte Bassin de la Flume - <https://www.couesnon-marchesdebretagne.fr/vie-pratique/mobilites/la-voirie/fauchage-des-bords-de-route/>
2. Livrable Combine Revue technique et économique des chantiers d’entretien des accotements routiers par broyage, collecte des résidus produits et leur livraison sur site de valorisation – 2015 – CD Côtes d’Armor, COMBINE, AILE
3. CARMEN CARactérisation des HAP et des métaux dans les herbages fauchés en bord de routes pour la MEthanisation – Juin 2018 – ADEME, AILE, CEREMA, UniLaSalle
4. La gestion raisonnée des dépendances vertes – Bilan récupération et valorisation des déchets verts – 2012/2013 – Conseil Départemental Mayenne
5. Expérimentation de fauchage avec exportation de la matière des bords de route sur le canton du Coglais – 2012 – CC Couesnon Marche de Bretagne
6. L’herbe des accotements pour alimenter les méthaniseurs – ENSAIA, CG54, NOREMAT
7. Valorisation des produits d’entretien du territoire. Suivi du chantier d’exportation des fauches de la voie verte – Décembre 2014 – COMBINE, CG22, AILE
8. Récolter et valoriser les fauches de bords de route – 2015 – AILE Combine, CG22

16 ANNEXE – CARTES DÉPARTEMENTALES DES RÉSULTATS DES ESTIMATIONS

Les cartes ci-après représentent les ressources par km², en ramenant la production de ressource à la surface du département, on s'affranchit de la taille du département.

Potentiel de production des cultures intermédiaires d'été précoces en France métropolitaine



LÉGENDE

Régions

□ Départements

Tonnages de ressources,
ramenés à la surface du département
En tMS/km²

□ 0 - 2

□ 2 - 4

□ 4 - 6

□ 6 - 7

□ 7 - 9

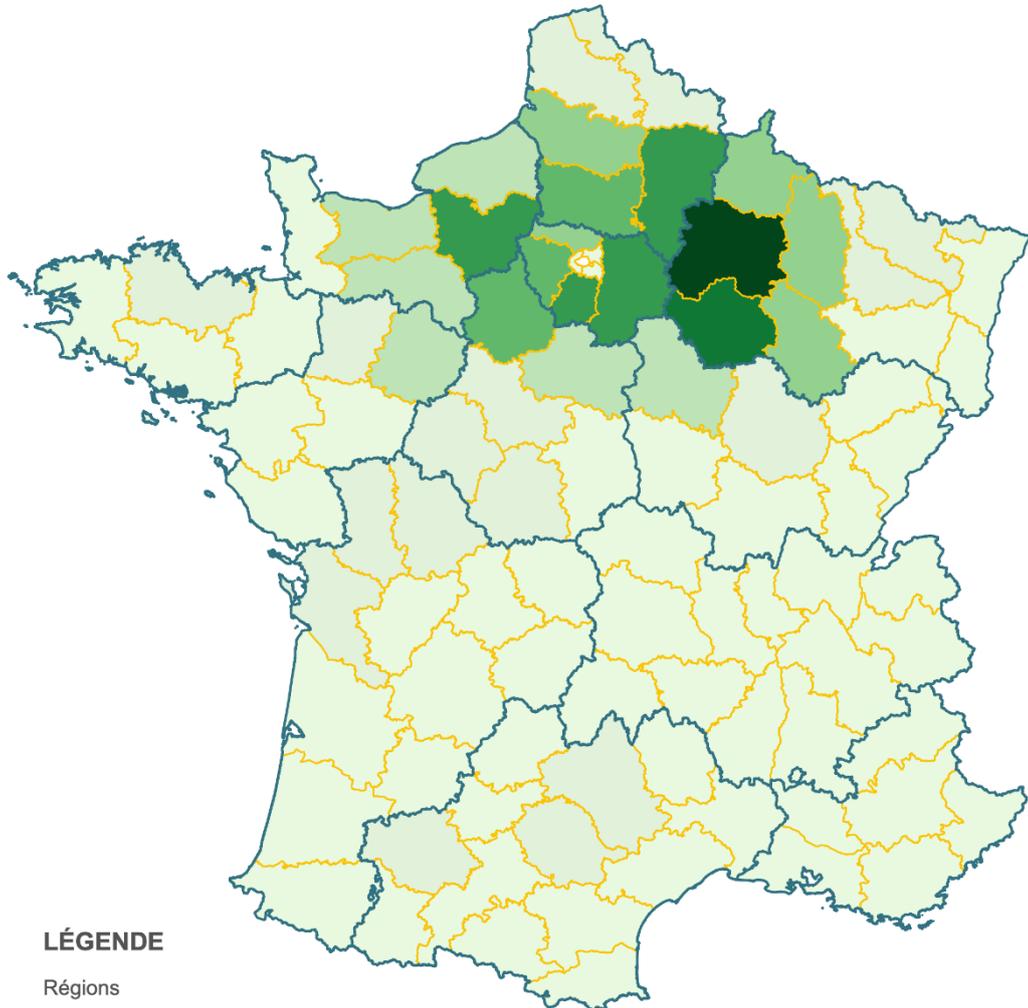
□ 9 - 11

□ 11 - 13

□ 13 - 15

Réalisation :
Solagro - juillet 2024

Potentiel de production des cultures intermédiaires d'été tardives en France métropolitaine



LÉGENDE

Régions

□ Départements

Tonnages de ressources,
ramenés à la surface du département
En tMS/km²

□ 0 - 5

□ 5 - 11

□ 11 - 16

□ 16 - 21

□ 21 - 27

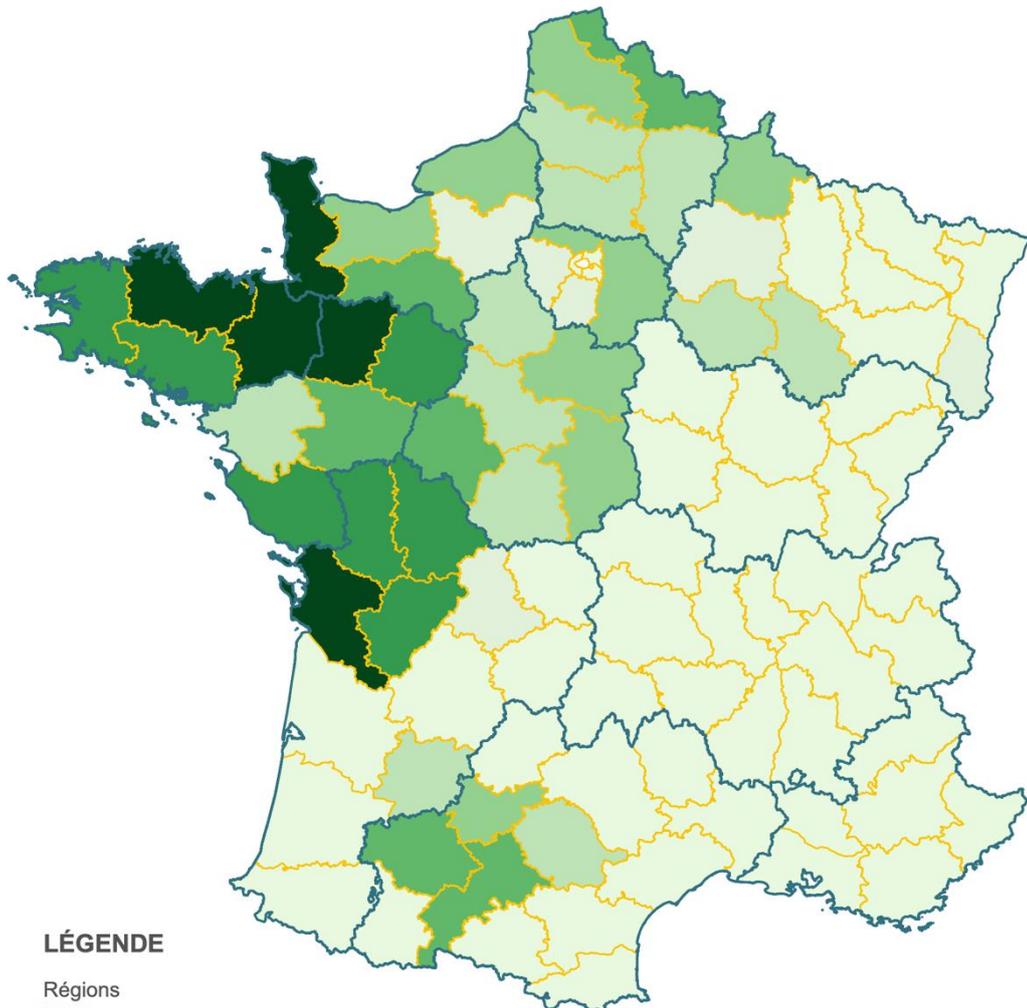
□ 27 - 32

□ 32 - 37

□ 37 - 43

Réalisation :
Solagro - juillet 2024

Potentiel de production des cultures intermédiaires d'hiver précoces en France métropolitaine



LÉGENDE

Régions

□ Départements

Tonnages de ressources,
ramenés à la surface du département
En tMS/km²

□ 0 - 9

□ 9 - 17

□ 17 - 26

□ 26 - 35

□ 35 - 44

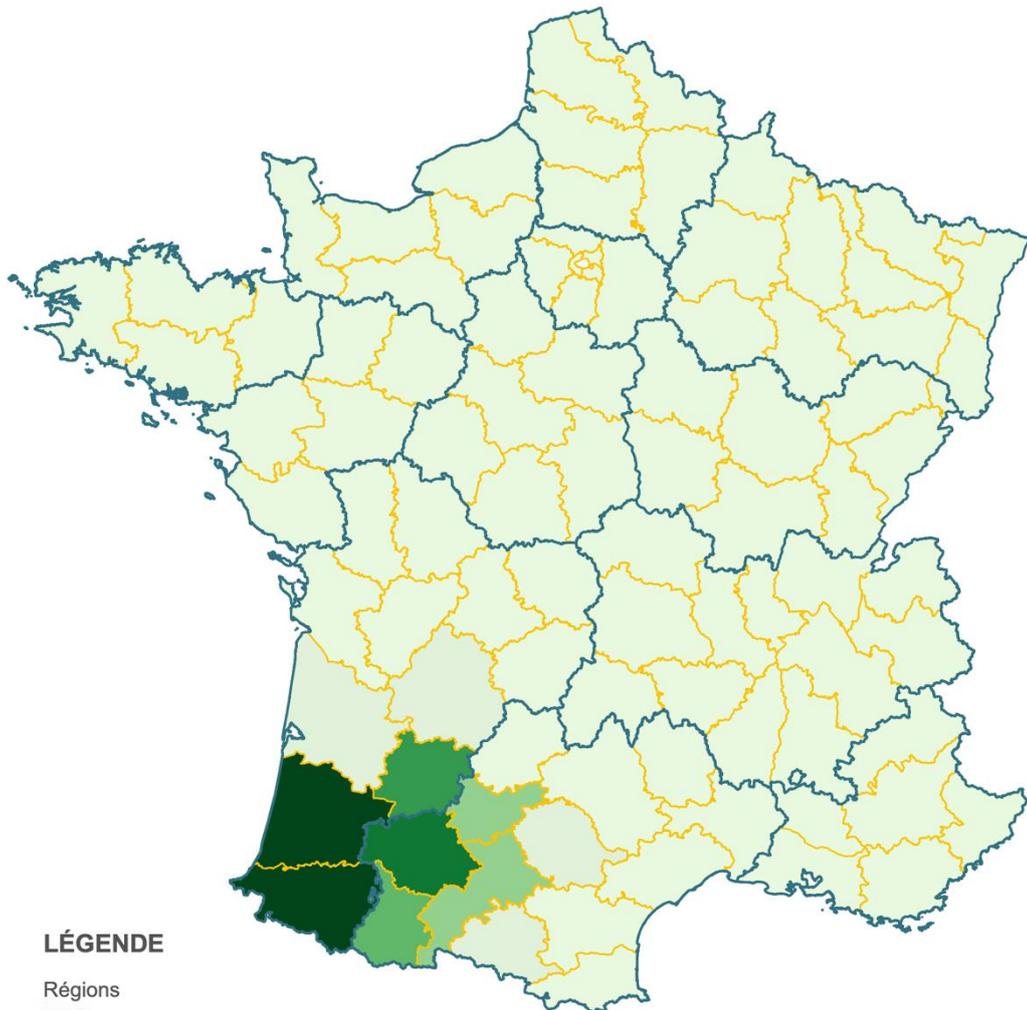
□ 44 - 52

□ 52 - 61

□ 61 - 70

Réalisation :
Solagro - juillet 2024

Potentiel de production des cultures intermédiaires d'hiver tardives en France métropolitaine



LÉGENDE

Régions

□ Départements

Tonnages de ressources,
ramenés à la surface du département
En tMS/km²

□ 0 - 13

□ 13 - 26

□ 26 - 38

□ 38 - 51

□ 51 - 64

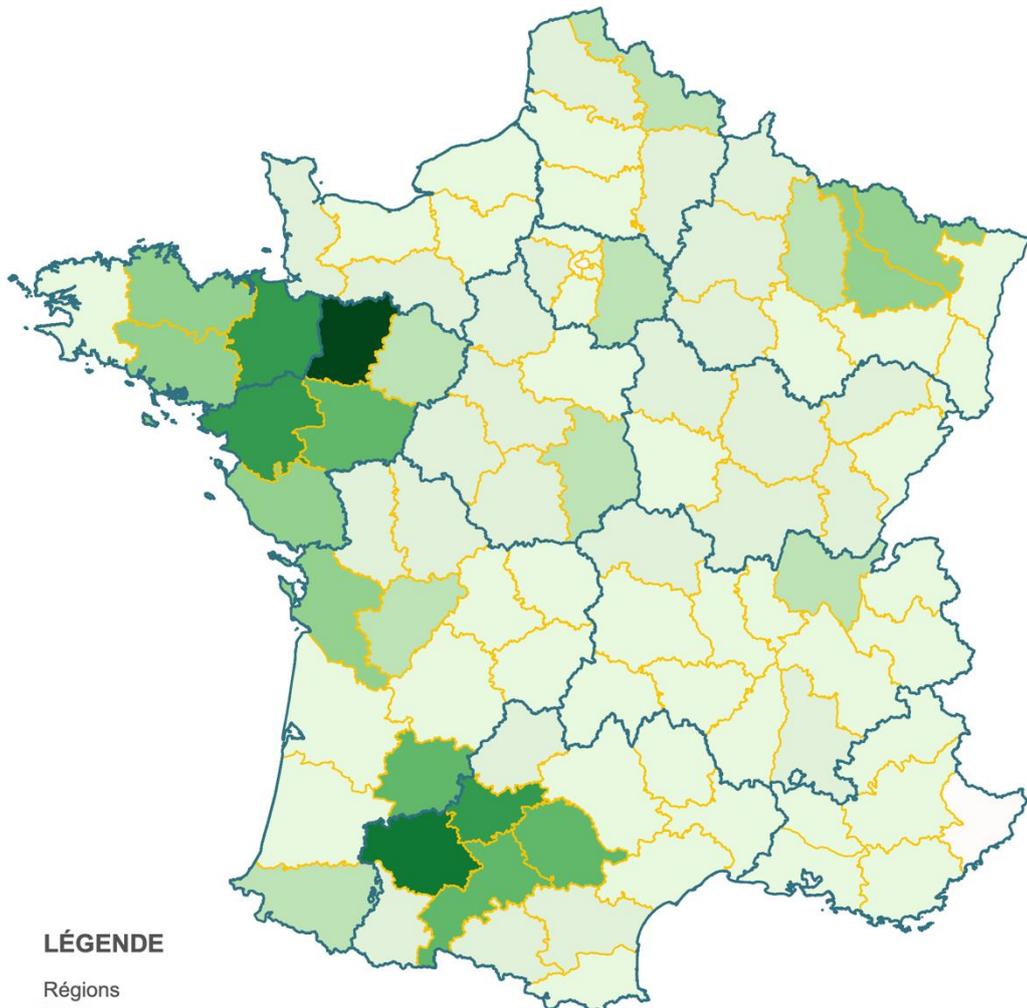
□ 64 - 77

□ 77 - 89

□ 89 - 102

Réalisation :
Solagro - juillet 2024

Potentiel maximum de production des bandes enherbées à des fins de méthanisation en France métropolitaine



LÉGENDE

Régions

□ Départements

Tonnages de ressources,
Ramenés à la surface du département
En tMS/km²

□ 0 - 0,3

□ 0,3 - 0,6

□ 0,6 - 1

□ 1 - 1,3

□ 1,3 - 1,6

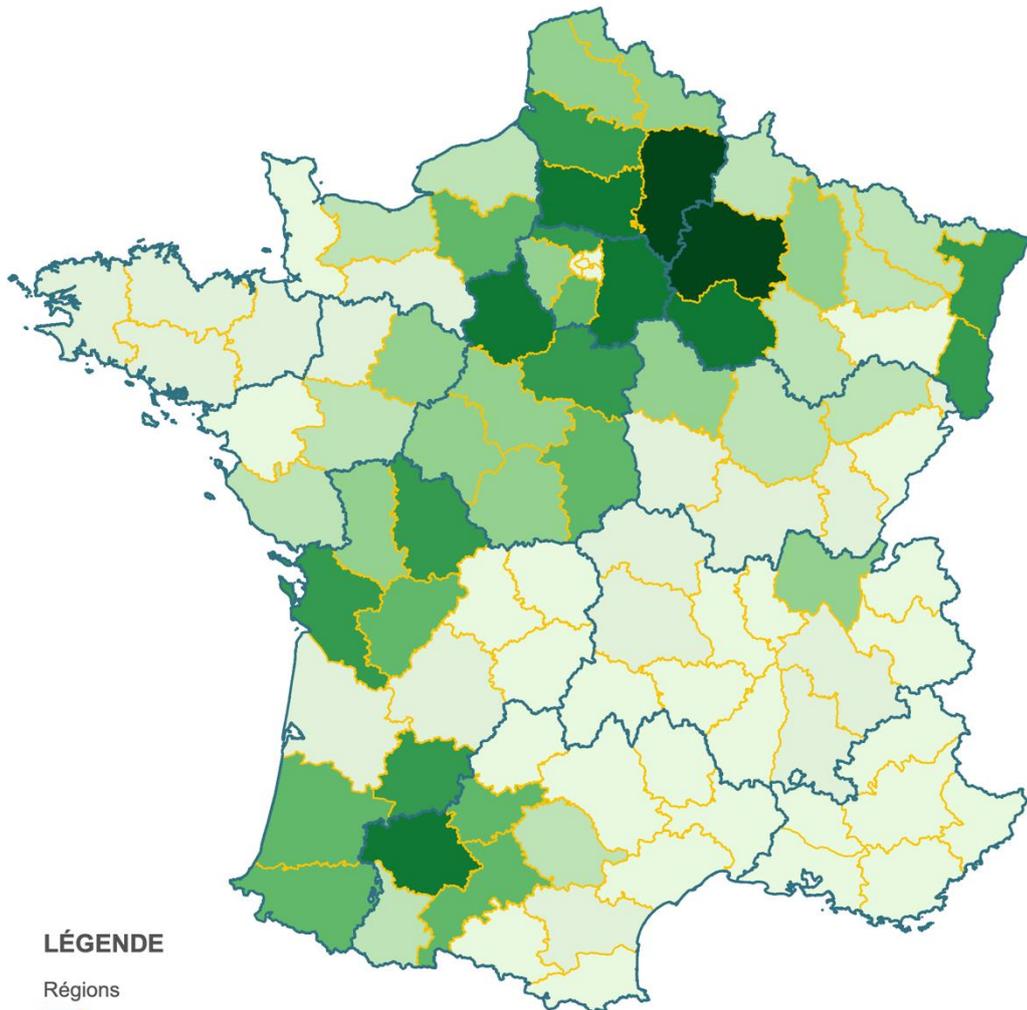
□ 1,6 - 1,9

□ 1,9 - 2,3

□ 2,3 - 2,6

Réalisation :
Solagro - juillet 2024

Potentiel maximum de production de résidus de cultures (hors pailles de céréales) à des fins de méthanisation en France métropolitaine



LÉGENDE

Régions

□ Départements

Tonnages de ressources,
ramenés à la surface du département
En tMS/km²

□ 0 - 7

□ 7 - 15

□ 15 - 22

□ 22 - 29

□ 29 - 37

□ 37 - 44

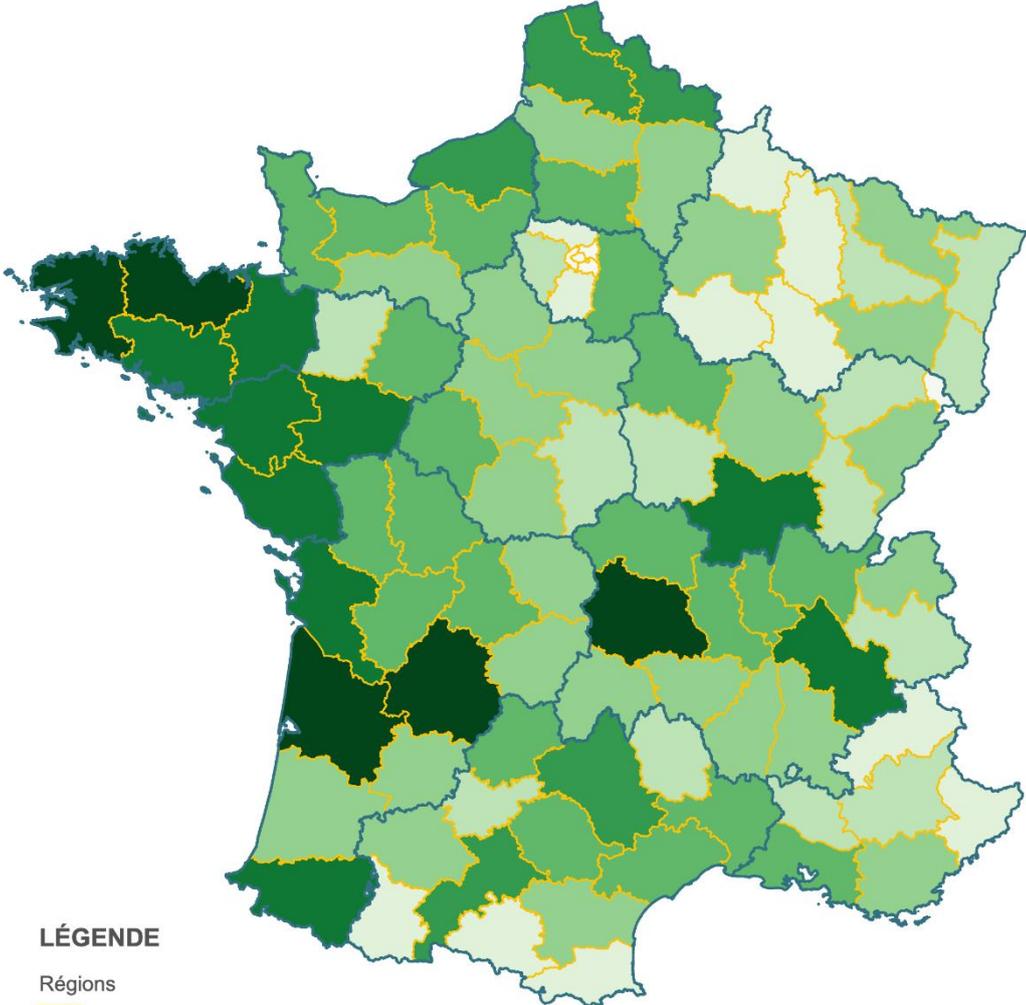
□ 44 - 51

□ 51 - 59

Réalisation :
Solagro - juillet 2024

Les cartes ci-après représentent les ressources en tMS par département. Il n'a pas été possible de représenter correctement les densités de production de ressource car la petite couronne parisienne, dense en population et en km de routes, ressortait de façon trop importante.

Potentiel maximum de production des déchets verts à des fins de méthanisation en France métropolitaine



LÉGENDE

Régions

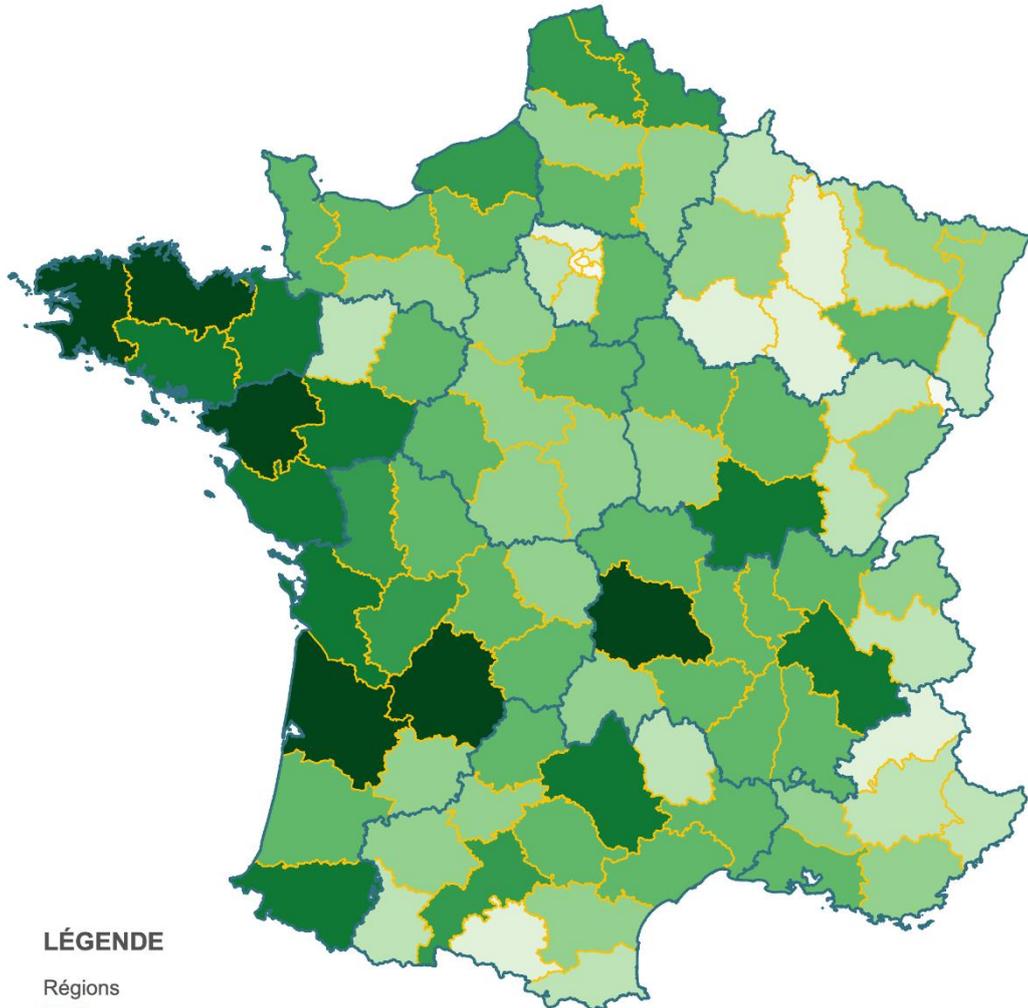
Départements

Tonnages de ressources par département
En tMS

- 1000 - 4000
- 4000 - 7000
- 7000 - 10000
- 10000 - 13000
- 13000 - 16000
- 16000 - 19000
- 19000 - 22000
- 22000 - 24000

Réalisation :
Solagro - juillet 2024

Potentiel maximum de production des fauches de bord de route à des fins de méthanisation en France métropolitaine



LÉGENDE

Régions

Départements

Tonnages de ressources par département
En tMS

- 0 - 3000
- 3000 - 6000
- 6000 - 9000
- 9000 - 12000
- 12000 - 15000
- 15000 - 18000
- 18000 - 21000
- 21000 - 24000

Réalisation :
Solagro - juillet 2024

LES ÉTUDES



Étude de nouveaux gisements de biomasse végétale fermentescible, et des conditions de leur mobilisation pour la méthanisation - Rapport
édition septembre 2024

Directrice de la publication : Christine Avelin
Rédaction : direction Marchés, études et prospective
Conception et réalisation : service Communication / Impression : service Arborial

12 rue Henri Rol-Tanguy - TSA 20002 / 93555 MONTREUIL Cedex
Tél. : 01 73 30 30 00 ■ www.franceagrimer.fr

 FranceAgriMer
 @FranceAgriMerFR