



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



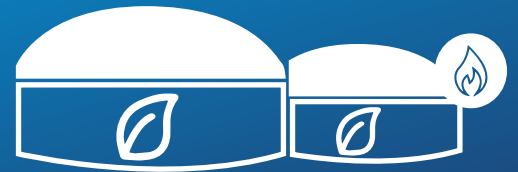
FranceAgriMer

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

Synthèse



SYNTHESE

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.....	3
Tables des figures.....	3
Abreviations.....	4
1 Methodologie de l'étude	5
1.1 Objectifs.....	5
1.2 Gouvernance.....	5
1.3 Périmètre de l'étude.....	5
1.4 Enquêtes de terrain	5
2 Estimation des potentiels déjà méthanisés	6
3 Les cultures intermediaires	7
3.1 La ressource « CIVE »	7
3.2 Impact de la mobilisation en méthanisation	8
3.3 Estimation quantitative	10
4 Les residus de cultures.....	10
4.1 Définitions	10
4.2 Impact de la mobilisation en méthanisation	11
4.3 Les résultats de l'estimation	12
5 Les autres ressources etudiees	13
5.1 Surplus fourragers.....	13
5.2 Les bandes enherbées.....	14
5.3 Les déchets verts	15
5.4 Les fauches de bord de route.....	16
6 Conclusion.....	17

TABLES DES TABLEAUX

Tableau 1 Parc français en méthanisation agricole et territoriale.....	6
Tableau 2 Tonnages de matières brutes méthanisées annuellement en 2024 en France (Estimation Solagro).....	6
Tableau 3 Synthèse des impacts de la production de CIVE d’hiver à des fins de méthanisation	8
Tableau 4 Synthèse des impacts de la production de CIVE d’été à des fins de méthanisation ...	9
Tableau 6 Tableau de synthèse des quantifications de résidus de culture.....	12
Tableau 7 Tableau de synthèse des potentiels par ressource. Les potentiels méthanogènes sont issus de la BDD des BMP de Solagro.....	18

TABLES DES FIGURES

Figure 1 Total du potentiel méthanisable en tonnes de matière sèche des résidus de culture, cultures intermédiaires, déchets verts, fauches de bord de route, bandes enherbées	19
Figure 2 Total du potentiel méthanisable en gigawattheure des résidus de culture, cultures intermédiaires, déchets verts, fauches de bord de route, bandes enherbées	20

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

UN : unité d'azote

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 et non-alimentaires, dans l'objectif d'anticiper d'éventuelles concurrences.

FranceAgriMer souhaite étendre le périmètre de cet observatoire à l'ensemble des matières végétales potentiellement méthanisables, notamment des ressources peu ou pas recensées (cf. 1.3).

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 (COPIL), 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, AGPM/AGPB.

Ils ont été réunis lors de 5 réunions de travail.

L'étude a été présentée au sein de France AgriMer 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 et un tableau de calcul.

Un rapport complet avec la méthodologie détaillée complète les livrables.

1.4 Enquêtes de terrain

30 enquêtes réalisées par Solagro et AgroSolutions ont été réalisées pour recueillir les conditions de production et de mobilisation de certaines ressources, ainsi que les rendements associés. Les enquêtes ont été équitablement réparties sur le territoire. 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-EE
- Gregory VRIGNAUD – ACE Méthanisation
- Laurent DRUOT – Dijon Céréales

2 ESTIMATION DES POTENTIELS DÉJÀ METHANISÉS

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, qui recensent les points d'injection de biométhane et d'électricité à partir d'unités de méthanisation. Dans la base des cogénérations, les unités de plus de 500kW el. après 2016 ont été écartées, ainsi que celles de plus de 4 MWel. 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 MW el.	799 unités – 350 MW el.
Biométhane	328 unités – 6 TWh/an	611 Unités – 11 TWh/an

Tableau 1 Parc français en méthanisation agricole et territoriale

Une ration moyenne a été obtenue par l'analyse des bilans établis par les DREAL Bretagne, Pays de la Loire, Grand Est, 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 et visant à évaluer la ressource déjà méthanisée sur la base des retours DREAL, SDES, CA Grand Est et Biomasse Normandie.² Ainsi, il a été établi en 2024 que 28 millions de tonnes de matières brutes sont méthanisées annuellement en France dans les unités de méthanisation agricoles en fonctionnement (individuelles, collectives ou territoriales). La répartition de ces tonnages est estimée 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 2 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.

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

3 LES CULTURES INTERMEDIAIRES

3.1 La ressource « CIVE »

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, il existe deux types de CIVE : les CIVE d'hiver et les CIVE d'été.

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).

Les CIVE d'été sont généralement implantées 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 (hors irrigation).

Le cadre de cette étude vise à estimer le potentiel de CIVE « durables » sans changement de pratiques. Le caractère de durabilité est défini comme suit :

- Pas d'itinéraire technique intensif : un nombre de passage minimum de produits phytosanitaires, un niveau de fertilisation fixé selon les recommandations d'Arvalis Institut du Végétal, de 70 à 100 UN/ha maximum ;
- Pas de date de récolte tardive impactant la mise en place de la culture principale suivante ;
- Pas d'irrigation pour les CIVE d'été.

3.2 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, 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 pour le semis au moment de la récolte de la culture principale précédente et pour la récolte au moment du semis de la culture principale suivante.</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 (15km) 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 3 Synthèse des impacts de la production de CIVE d'hiver à des fins de méthanisation

Thématiques	Impacts
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). Des 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 la réserve utile du sol pour sa croissance, mais elle permet de diminuer le drainage. L'impact des CIVE d'été sur la ressource en eau pour la culture suivante est considéré comme faible à nul, car la réserve 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 sa fertilisation, la CIVE peut capter une partie de l'azote minéral du sol résultant de la culture principale précédente, et ainsi limite 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, liées 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 pour le semis au moment de la récolte de la culture principale précédente et pour la récolte au moment du semis de la culture principale suivante. 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>En dessous de 5 tMS/ha, les coûts de production et de transport vers l'unité de méthanisation (15km) 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 4 Synthèse des impacts de la production de CIVE d'été à des fins de méthanisation

3.3 Estimation quantitative

Pour estimer le potentiel de CIVE, des rendements (minimum, moyen et maximum) ont été déterminés et associés à une distribution d'années climatiques favorable, moyenne ou défavorable. Seuls les rendements strictement supérieurs à 5 tMS/ha ont été conservés : en dessous de ce seuil, le rendement est trop faible pour justifier économiquement la récolte des CIVE (seuil de récoltabilité).

Ces rendements moyens par bassin ont été affectés aux hectares jugés aptes à recevoir des CIVE en France métropolitaine. Ceux-ci sont estimés grâce aux Registres Parcellaires Graphiques (RPG) 2020 et 2021 : les hectares de chaque succession culturale enregistrée entre 2020 et 2021 sont sommés pour la France, et le top 100 des successions majoritaires en surface est retenu. Ces successions représentent 12 Mha, soit 80 % de la SAU nationale en grandes cultures (15 Mha). Pour chacune d'elles, 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.

Ainsi, 19,6 MtMS de CIVE pourraient être dès à présent produites sur le territoire, dont 5 % (1 MtMS/an) déjà méthanisées dans le parc actuel des méthaniseurs agricoles et territoriaux. Le potentiel des CIVE se répartit comme suit :

- CIVE d'hiver précoces : 9,1 MtMS/an ;
- CIVE d'hiver tardives : 4,5 MtMS/an ;
- CIVE d'été précoces : 2,3 MtMS/an ;
- CIVE d'été tardives : 3,7 MtMS/an.

Ce résultat est cohérent avec l'étude « Quelles biomasse pour la transition énergétique » publiée par Solagro en 2024, basé sur le scénario AFTERRES2050³ 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. Les tests de sensibilité ont permis d'encadrer ce potentiel : avec 100 % d'années favorables, le potentiel de CIVE total atteint 36 MtMS ; avec 100 % d'années défavorables, le potentiel est limité 4,5 MtMS.

Dans le cas où 50 % du maïs grain du Sud-Ouest migre vers le nord, une baisse de 5 % est observée sur le potentiel total de CIVE ; en cas de remplacement de 10 % du blé par de l'orge dans le Sud-Ouest, une hausse de 1 % est observée sur le potentiel de CIVE du Sud-Ouest.

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 2018⁴.

³ SOLAGRO, 2016 – Le scénario Afterres 2050 Version 2016 - <https://afterres2050.solagro.org/>

⁴ 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

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)

4.2 Impact de la mobilisation en méthanisation

La technique de collecte pouvant être améliorée mais n'étant pas un réel frein (sauf pour les fanes de betteraves), la mobilisation tient donc en premier lieu au fait que la valorisation de cette ressource doit être techniquement possible. Ces résidus ont une teneur en matière sèche autour de 80 % (exceptées pour les fanes de betteraves et de pommes de terre), il existe un tonnage à ne pas dépasser dans la ration d'un méthaniseur pour permettre leur digestion. Les résidus trop humides ne pouvant être ensilés (< 20 %MS) pour être stockés, ils doivent donc être incorporés directement dans le méthaniseur.

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 voir 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 menue-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 en revanche 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) - Le soufre contenu dans les pailles de Colza⁵ - Le taux de matière sèche - Les techniques et volumes de stockage.
Économique	A moins de 2 tMS/ha, le coût de récolte des résidus de culture est considéré trop important par rapport au gain énergétique dans le méthaniseur. De manière général, ces résidus ne devraient pas parcourir plus de 15km pour une rentabilité économique. 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 :

⁵ ADEME 2014 – S3D, APESA – Biologie des digesteurs

	<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).
--	---

4.3 Les résultats de l'estimation

Il s'agit du potentiel le plus important après les CIVE. L'estimation quantitative se base sur l'hypothèse que seuls 60 % de la ressource est exportée en méthanisation, afin de conserver le potentiel agronomique de la parcelle, comprenant les chaumes et la matière non récoltable. La partie exportable est déduite après application de l'indice de récolte fourni par Arvalis et basé sur les retours du CITEPA⁶ et du paramètre « PSS » pour « Fraction of C in straw and stubble systematically returned to the soil »⁷ de l'outil AMG-SIMEOS.

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 5 Tableau de synthèse des quantifications de résidus de culture

Légende :

*** Mobilisation possible dès aujourd'hui sans difficultés

** Mobilisation avec contraintes non négligeables

* Difficilement mobilisable

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

⁶ ARVALIS – Institut du végétal, 2011 – Synthèse sur les indices de récolte et teneur en azote des résidus de culture réalisée pour le CITEPA, 11p.

⁷ 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>.

5 LES AUTRES RESSOURCES ETUDIEES

5.1 Surplus fourragers

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

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 – 2022⁸. Pour la présente étude, visant à calculer un potentiel maximal de ressource méthanisable, l'analyse a été menée avec le scénario le plus contrasté et présentant donc la plus forte baisse de cheptel bovin.

D'après les hypothèses fournies 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.

Parmi les productions fourragères en excédent, le maïs ensilage ou le foin (ou l'ensilage d'herbe) sont des ressources qui peuvent être entièrement affectées en méthanisation (d'un point de vue technique) ; il faut alors 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, cette approche se place dans un contexte où la méthanisation serait encouragée pour décarboner l'économie française et où la production de biogaz maximale est recherchée.

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, ...). Une estimation optimiste, à dire d'expert, considère 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) d'environ 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.

⁸ IDELE, Septembre 2023 – Etudes 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

Ce résultat est cohérent avec l'étude « Quelles biomasses pour la transition énergétique ? » publiée en 2024 par Solagro. En effet, les scénarios de décapitalisation des cheptels bovins choisis dans les 2 études sont très proches.

Thématiques	Impacts de l'export du surplus fourrager vers la méthanisation
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, en 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.

5.2 Les bandes enherbées

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

La production agricole sur ces bandes enherbées est interdite mais la fauche (laissée sur place) et le pâturage sont possibles, si distinguée de la culture attenante. La fauche et l’exportation de l’herbe en constituent le meilleur mode d’entretien⁹. Les bandes enherbées jouent un rôle agroécologique que l’unité de méthanisation ne doit pas entraver. Les calendriers de fauches définis par arrêté préfectoral doivent être respectés. 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.

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.

Le potentiel estimé est très faible : **0,290 MtMS/an**.

Thématiques	Impacts
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	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.

5.3 Les déchets verts

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.

⁹ Solagro. 2016. HERBEA - <https://www.herbea.org/fiches/405/Bande-enherb%C3%A9e>

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.

Les 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.

Les plateformes de compostage actuelles utilisent les déchets verts en tant que structurant pour composter les biodéchets et les boues de STEP, relativement liquides par ailleurs. Il faut donc veiller à ce que la méthanisation n'entre pas en compétition avec les plateformes de compostage.

Le potentiel méthanisable estimé est de **1,3 MtMS/an**.

Thématiques	Impacts
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 entre les parties ligneuses et non-ligneuses 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.

5.4 Les fauches de bord de route

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.

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.

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. Le potentiel méthanisable estimé est ainsi très faible : **0,25 MtMS/an**.

Thématiques	Impacts
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.
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 de l'herbe. Nécessite une vigilance sur les indésirable et la qualité des fauches livrées.
Temps de travail	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. Débit de chantier ralenti en conséquence.
Économiques	Réduit les coûts d'entretien des fossés (moins de curage et de débouchage des buses). Diminue la repousse de l'herbe et des adventices, et nécessite donc moins de fauchage. Nécessite un investissement et modifie l'organisation du chantier de fauche. La distance entre le chantier d'entretien et l'aire de dépôt des fauches doit être inférieure à 20 km.

6 CONCLUSION

Cette étude conclue à un potentiel certain concernant les cultures intermédiaires et les cannes de maïs, et accessible dès aujourd'hui avec les pratiques agricoles actuelles.

Il est évalué à 67 TWh PCS biométhane en France métropolitaine pour les CIVE et 11 TWh PCS pour les cannes de maïs.

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

Les autres ressources sont a priori moins faciles à mobiliser.

Tableau 6 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 :

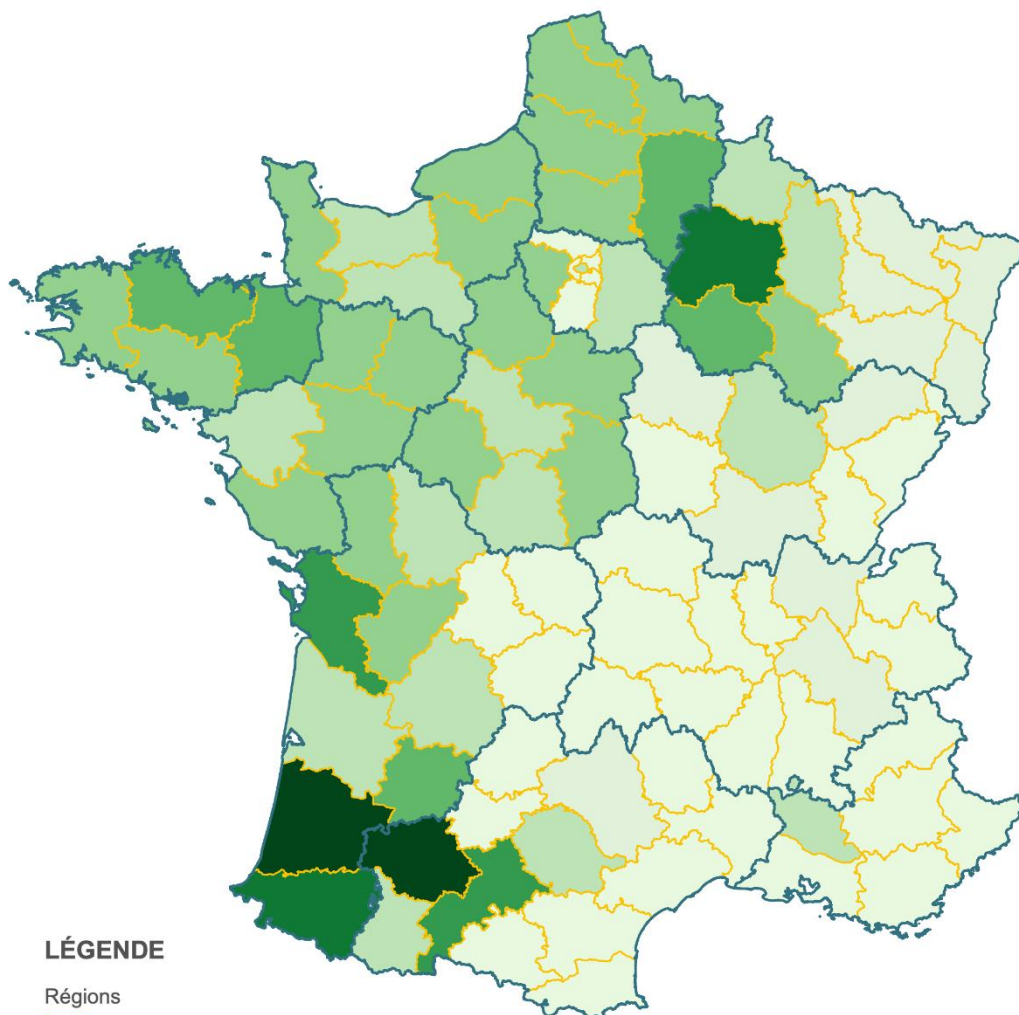
- *** Mobilisation possible dès aujourd'hui sans difficultés
- ** Mobilisation avec contraintes non négligeables
- * Difficilement mobilisable

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.

Elles comportent des biais comme toute représentation graphique. En effet, les tonnages sont sommés sur chaque département et les zones de montagnes et de forêts ne sont pas exclues. Ainsi, les piémonts montagneux ne ressortent pas alors que ces plaines peuvent être propices à la production des ressources étudiées.

D'autres cartes sont disponibles par ressource et selon des densités départementales (tonnage et GWh), dans le rapport complet.

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



LÉGENDE

Régions

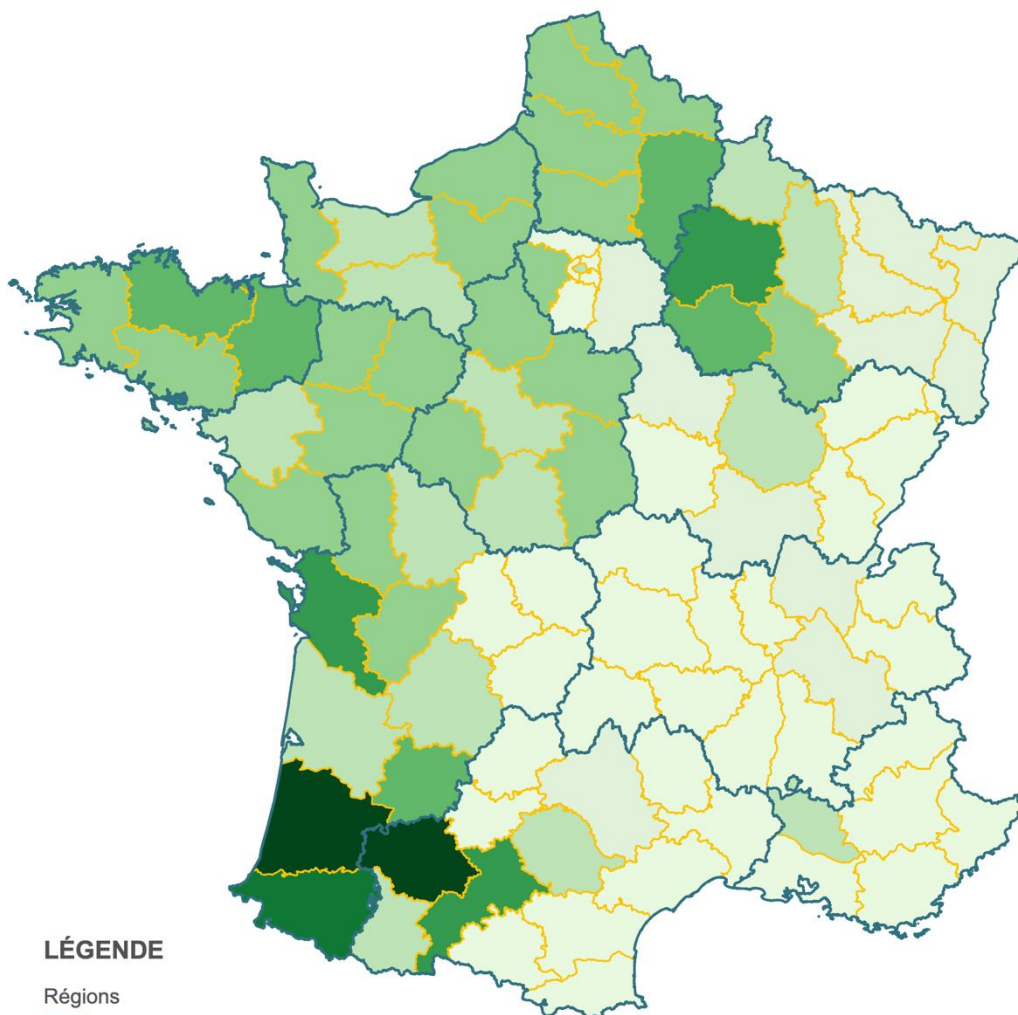
□ Départements

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


LES ÉTUDES



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