

# UTILISATION DES RESIDUS DE CULTURE EN METHANISATION

---

Etude comparative du gisement à horizon 2050  
Intérêts, freins et leviers à leur mobilisation

---

**RAPPORT FINAL**

Septembre 2024



**EXPERTISES**

# REMERCIEMENTS

Julien THUAL (ADEME), Niels TRUBERT (ADEME) et Emmanuel GIOVANONI (ADEME)

## CITATION DE CE RAPPORT

Céline POBEL (ADEME) 2024. Utilisation des résidus de culture en méthanisation. 55 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr/>

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

**Ce document est diffusé par l'ADEME**

**ADEME**

20, avenue du Grésillé

BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

**Coordination technique - ADEME** : THUAL Julien ingénieur méthanisation

Direction Bioéconomies et Energies Renouvelables / Service Agriculture Forêt Alimentation

## Résumé

Sortir des énergies fossiles d'ici 2050 implique notamment l'augmentation de la production de biogaz. La méthanisation est actuellement la filière de production de ce gaz la plus mature. Pour poursuivre son développement, un des enjeux sera de trouver suffisamment de biomasse pour alimenter les méthaniseurs. Les résidus de culture (pailles, cannes de maïs, menues pailles, ...) sont une ressource sur laquelle s'appuient beaucoup les scénarios de transition. Actuellement, les résidus de culture sont peu utilisés en méthanisation et encore mal connus : selon les hypothèses retenues, cette ressource pourrait contribuer entre 4% à 34% du potentiel de production de biogaz (contre 6,4 % en 2024). En effet, la quasi-absence de tensions sur les intrants n'incite pas les agri-méthaniseurs à aller chercher ce gisement plus difficilement accessible. Cette étude contribue à mieux connaître la ressource résidus de culture pour la méthanisation. La 1<sup>ère</sup> partie précise, en analysant et comparant les hypothèses utilisées dans 16 scénarios et études prospectives, les potentiels de production et de mobilisation pour la méthanisation des résidus de culture à 2050. La 2<sup>ème</sup> partie, à travers des enquêtes auprès de différents acteurs de la filière et des agri-méthaniseurs utilisant des résidus, a permis de comprendre les freins et les avantages à leur utilisation en méthanisation. Les quatre principaux freins identifiés sont : la crainte de dégrader le taux de matière organique des sols en exportant les résidus de culture, leur coût de mobilisation, leur teneur en matière sèche et leur rapport carbone sur azote qui nécessitent un rééquilibrage de la ration et les prétraitements nécessaires avant incorporation dans le méthaniseur. En 3<sup>ème</sup> partie, des pistes pour lever ces freins ont été creusées en lien avec une mobilisation durable de la ressource. Les actions que pourraient mettre en place l'ADEME pour actionner certains leviers ont également été explorées. Ces étapes successives ont permis de préciser qu'un taux de mobilisation des résidus de culture pour la méthanisation de 30 à 35% comme l'envisageaient certains scénarios pour arriver aux objectifs de mix énergétiques décarbonés ne semble pas réaliste. L'évolution de ce taux dépend à la fois des arbitrages qui seront faits entre la séquestration du carbone dans les sols (donc la limitation de l'exportation des résidus de culture), les autres usages de ces résidus (notamment biomatériaux et énergétiques) et de notre capacité à lever certains freins à leur utilisation en méthanisation. A horizon 2050, 20 à 25% de mobilisation des résidus de culture à l'échelle nationale serait déjà un objectif ambitieux.

## Abstract

Moving away from fossil fuels by 2050 means increasing biogas production. Methanization is currently the most mature method of producing this gas. To continue its development, one of the challenges will be to find sufficient biomass to feed the biogas plants. Crop residues (straw, corn stalks, chaff, etc.) are a resource on which many transition scenarios are based. Depending on the assumptions made, this resource could contribute between 4% and 34% of biogas production potential (compared with 6.4% in 2024). Indeed, the near-absence of pressure on inputs is not encouraging agri-methanizers to seek out this more difficult-to-access resource. This study contributes to a better understanding of the crop residue resource for methanization. By analyzing and comparing the assumptions used in 16 scenarios and prospective studies, the 1st part specifies the production and mobilization potential for methanization of crop residues in 2050. Part 2, based on surveys of various players in the sector and of agri-methanizers using residues, enabled us to understand the obstacles and advantages to their use in methanization. The four main obstacles identified are: the fear of lowering soil organic matter levels by exporting crop residues, the cost of mobilizing residues, their dry matter content and their carbon-to-nitrogen ratio, which require a rebalancing of the ration and the necessary pre-treatments before incorporation into the methanizer. In part 3, we looked at ways of overcoming these obstacles, in conjunction with sustainable resource mobilization. The actions that ADEME could take to activate certain levers were also explored. The actions that ADEME could take to activate certain levers were also explored. These successive stages have made it clear that a 30-35% mobilization rate of crop residues for methanization, as envisaged in some scenarios, does not seem realistic if we are to achieve our decarbonized energy mix objectives. The evolution of this rate depends both on the trade-offs that will be made between carbon sequestration in soils (thus limiting the export of crop residues), other uses for these residues (notably biomaterials and energy) and our ability to remove certain obstacles to their use in methanization. By 2050, 20 to 25% mobilization of crop residues on a national scale would already be an ambitious target.

## SOMMAIRE

<b>1. Introduction : Contexte &amp; Enjeux .....</b>	<b>6</b>
<b>2. L'évolution de la ressource résidus de culture et son utilisation en méthanisation.....</b>	<b>9</b>
2.1 L'utilisation actuelle des résidus de culture en méthanisation.....	9
2.2 La ressource résidus de culture à horizon 2050.....	11
2.2.1. Les scénarios et études prospectives analysés .....	11
2.2.2. Méthode générale utilisée pour quantifier les gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation .....	18
2.2.3. Le Gisement Brut de Production de résidus de culture dans les différents scénarios .....	20
2.2.4. Le Gisement de résidus de culture Mobilisable en Méthanisation : .....	21
2.2.5. Potentiel de Production de Biogaz issu de la méthanisation des résidus de culture méthanisés.....	22
<b>3. Leviers et freins à la mobilisation des résidus de culture en méthanisation.....</b>	<b>27</b>
3.1. Les avantages à la mobilisation des résidus de culture en méthanisation .....	28
3.2. Les freins à la mobilisation des résidus .....	29
3.3. Vue d'ensemble des enjeux de la mobilisation des résidus de culture.....	31
3.4. Quels leviers pour atténuer les principaux freins ? .....	31
<b>4. Avis ADEME sur les projections et recommandations d'actions.....</b>	<b>38</b>
4.1 Avis sur les projections de mobilisation du gisement de résidus de culture .....	38
4.2 Les actions possibles de l'ADEME pour soutenir la mobilisation durable des résidus de culture .....	39
<b>5. Conclusion .....</b>	<b>42</b>
<b>Liste des Abréviations.....</b>	<b>43</b>
<b>Références Bibliographiques .....</b>	<b>44</b>
<b>Index des tableaux et figures .....</b>	<b>47</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>48</b>

# 1. Introduction : Contexte & Enjeux

## L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources. Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse. Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions. À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques. L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, du ministère de la Transition énergétique et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

## CONTEXTE DE L'ETUDE

La filière méthanisation connaît un fort développement depuis les 15 dernières années avec près de 1450 unités en fonctionnement en janvier 2024 et 12.8 TWh de biométhane injectés au 30 juin 2024 (cf. Annexe 1). Sous réserve de mise en place d'une politique de sobriété énergétique généralisée, la méthanisation pourrait représenter près de 2/3 du gaz consommé en France en 2050. Pour répondre à ces objectifs d'augmentation de la production d'énergies renouvelables, les technologies progressent et se diversifient en parallèle de travaux sur les ressources méthanisables. La disponibilité de la biomasse nécessaire à la méthanisation constitue à moyen et long terme un déterminant de son développement. Les exercices de planification écologique montrent que les besoins de biomasse à des fins énergétiques excéderont les disponibilités. Dans son étude de juillet 2024 sur le Bouclage biomasse : enjeux et orientations, le Secrétariat Général à la Planification Ecologique a ainsi identifié une insuffisante disponibilité de biomasse pour la méthanisation dès 2030, qui serait susceptible d'entraîner une sous-réalisation de 11 TWh de l'objectif si celui-ci était porté à 53 TWh par la nouvelle SFEC (Stratégie Française de l'Energie et du Climat, cf. annexe 2). Ceci est susceptible d'accroître les conflits entre les usages de la biomasse, tels que la concurrence possible entre le développement du biogaz et la production alimentaire ou celui de certains biocarburants. **La connaissance des gisements de biomasse disponibles et de leur capacité de mobilisation au profit de divers usages énergétiques est donc primordiale.**

Les résidus de culture (pailles et menues pailles, cannes de maïs, ...) sont une ressource de biomasse agricole méthanisable peu mobilisée actuellement mais qui pourrait selon les scénarios prospectifs fournir 26 à 33 TWh de biométhane à l'horizon 2050. L'ADEME souhaite mieux appréhender cette ressource notamment comprendre pourquoi les scénarios prospectifs diffèrent autant dans la quantification de la ressource, quels sont les freins à leur mobilisation durable et y a-t-il des leviers d'actions possibles au niveau de l'ADEME ?

Cette étude va tenter de répondre à ces questions à travers :

- L'analyse des différents scénarios et études prospectives afin de comprendre les hypothèses retenues qui expliquent les différences dans les volumes et les potentiels méthanisables des résidus de culture.
- Des enquêtes auprès d'acteurs de la filière et d'agri-méthaniseurs pour identifier les freins techniques et économiques ainsi que les leviers d'une mobilisation durable de cette ressource dans les territoires.
  - Des propositions d'actions que pourrait mener l'ADEME et la formulation de recommandations pour une mobilisation durable des résidus de culture.

## DEFINITIONS

**Méthanisation :** processus biologique de dégradation par des micro-bactéries qui consiste à transformer des matières organiques fermentescibles (incluent notamment les déchets, animaux et végétaux, des cultures agricoles ou leurs résidus, des boues de station d'épuration des eaux usées, ou encore les déchets organiques municipaux ou industriels) en l'absence d'oxygène (digestion anaérobie). Ce qui la distingue du compostage (digestion aérobie). Cette dégradation produit du biogaz composé d'environ 50 à 70 % de méthane (CH<sub>4</sub>), de 20 à 50 % de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et de quelques gaz à l'état de traces (NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S). Ce biogaz peut être utilisé soit directement, notamment pour la production d'électricité ou de chaleur, soit après un processus d'épuration visant à produire du biométhane, dont les propriétés thermodynamiques et la composition permettent de l'injecter dans le réseau de gaz naturel. Le bioGNV (gaz naturel véhicule) constitue également une des bioénergies issues de la méthanisation. La méthanisation produit une source d'énergie renouvelable et durable (La production de biogaz et de biométhane est soumise à certification de durabilité de la directive « REDII »), qui se substitue au gaz fossile ou à un carburant classique et contribue à accroître la souveraineté énergétique française.

La digestion anaérobie produit également un résidu humide riche en matière organique et en nutriments, le digestat, qui a vocation à être retourné au sol après une phase de traitement.

**Gisement vs Ressource :** le terme de **gisement** est utilisé de façon abusive par la plupart des études pour parler des **ressources** agricoles en méthanisation. En effet, un gisement est limité et figé alors qu'une ressource est présente à un instant donné et doit entrer dans une logique de mobilisation et de filière. Nous avons cependant gardé ce terme lorsque nous citons une étude ou dans la méthode de quantification des gisements.

**Résidus de culture :** les résidus de culture sont les parties aériennes des végétaux non récoltées et laissées sur le sol dans les champs ou les vergers au moment de la récolte : les tiges et les chaumes, feuilles et les gousses par exemple. Certaines études y associent les issues de céréales (qui proviennent du triage et nettoyage des céréales pour la consommation ou pour les semences).

La SNMB (Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse) et l'ONRB (Observatoire National de la Ressource en Biomasse) intègrent dans la catégorie « Résidus de cultures annuelles » les pailles de céréales, les pailles de protéagineux, les pailles d'oléagineux, les fanes de betteraves et les cannes de maïs (tiges, feuilles, spathes et rafles). Dans notre étude, nous sommes proches de la définition de l'ONRB et de la SNMB en y intégrant également les menues pailles (pour nous, ceux sont des résidus qui restent au champ mais qui sont récoltables). Voici donc les différents types de résidus de culture retenus :

- Les pailles de céréales (essentiellement blé dur, blé tendre, orge et triticale)
- Les pailles d'oléagineux (essentiellement du tournesol et du colza)
- Les menues pailles : mélange de débris de paille, de balles, de grains entiers ou cassés, de tiges et de graines d'adventices extrait au moment de la moisson. On parle souvent de menue paille pour le blé, l'orge, le colza ou le pois.
- Les cannes de maïs (cannes, feuilles, spathes et rafles).
- Les fanes de betterave (correspondent aux feuilles).

**Biogaz et Biométhane :** le biogaz est le produit direct sortant d'une unité de méthanisation. Il est composé à 60% de méthane et à 40% de CO<sub>2</sub>. Il peut être utilisé pour cogénérer de la chaleur et de l'électricité. Le biométhane est un biogaz dont on a retiré le dioxyde de carbone, le sulfure d'hydrogène et l'eau. Grâce à ce procédé d'épuration, le biométhane possède les mêmes caractéristiques que le gaz naturel et peut être injecté dans le réseau. Excepté un scénario (Agrosolutions-EIFER), les autres études utilisent le terme « Biogaz ». C'est donc celui-ci que nous utiliserons dans notre étude.

Le biogaz peut également être produit par :

- pyrogazéification (chauffage à + de 1000°C en présence d'une faible quantité d'oxygène), procédé et perspectives de développement précisés en Annexe 3.
- gazéification hydrothermale (conversion de la biomasse humide en gaz via un procédé thermochimique à haute pression et haute température
- méthanation (recombinaison d'hydrogène « vert » avec du gaz carbonique). Ces trois modes de production sont toutefois encore embryonnaires.

## 2.L'évolution de la ressource résidus de culture et son utilisation en méthanisation

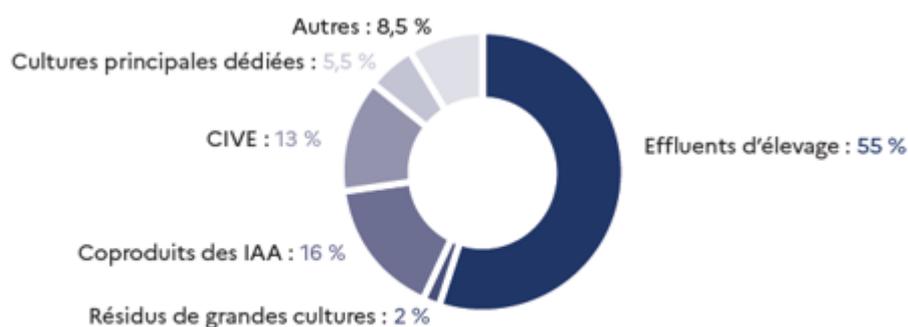
### 2.1 L'utilisation actuelle des résidus de culture en méthanisation

Malgré un grand nombre d'études et de données sur les intrants en méthanisation, il est difficile de se faire une idée précise des volumes de résidus de culture utilisés en méthanisation. Trois raisons principales expliquent cette difficulté :

- Le terme « résidus de culture » est mal défini et beaucoup d'enquêtés incluent des sous-produits de l'IAA (notamment pulpes de betteraves, issues de silos, restes d'ensilages, ... ) dans les résidus de culture.
- Des études utilisent le terme « volume actuel mobilisé » alors qu'il s'agit en réalité de volume potentiellement mobilisable
- Les données sont issues d'enquête auprès des agri-méthaniseurs ou des déclarations annuelles auprès des DREAL ou de la base [SEAMETHA](#) (pour les projets ayant reçu des financements ADEME). Ces données sont donc non exhaustives et déclaratives.

Quatre études récentes estiment les % de résidus utilisés en méthanisation :

1. FranceAgriMer, dans son étude « Ressources en biomasse et méthanisation agricole : quelles disponibilités pour quels besoins ? » estime à partir des synthèses de bilans de fonctionnement annuel des unités de méthanisation des DREAL (5 régions sur 13 réalisent un bilan) la proportion de chaque type d'intrants dans la ration annuelle totale des méthaniseurs français. Ces synthèses sont réalisées sur la base des déclarations des exploitants de méthanisation. Selon cette étude, les résidus de culture représenteraient 2% des rations. Les besoins des 1900 unités agricoles (individuelles, collectives et centralisées et centralisées en fonctionnement et en projet au 31/12/2024) sont estimés à 36,2 Mt MB. Les résidus de cultures représenteraient donc **723 500 t de MB**.



Sources : SDES ; DREALs Bretagne, Pays de la Loire, AURA ; Chambagri Grand Est ; Biomasse Normandie

Figure 1 Estimation de la proportion de chaque type d'intrants dans la ration annuelle des méthaniseurs.

Source : étude FranceAgriMer

2. Dans une autre étude de FranceAgriMer, « Les retombées économiques des valorisations agricoles non alimentaires (VANA) pour les exploitations agricoles », les résidus de culture représenteraient 5% (en cogénération) et 15% (en injection) des rations des méthaniseurs agricoles soit **838 000 t de MB**.

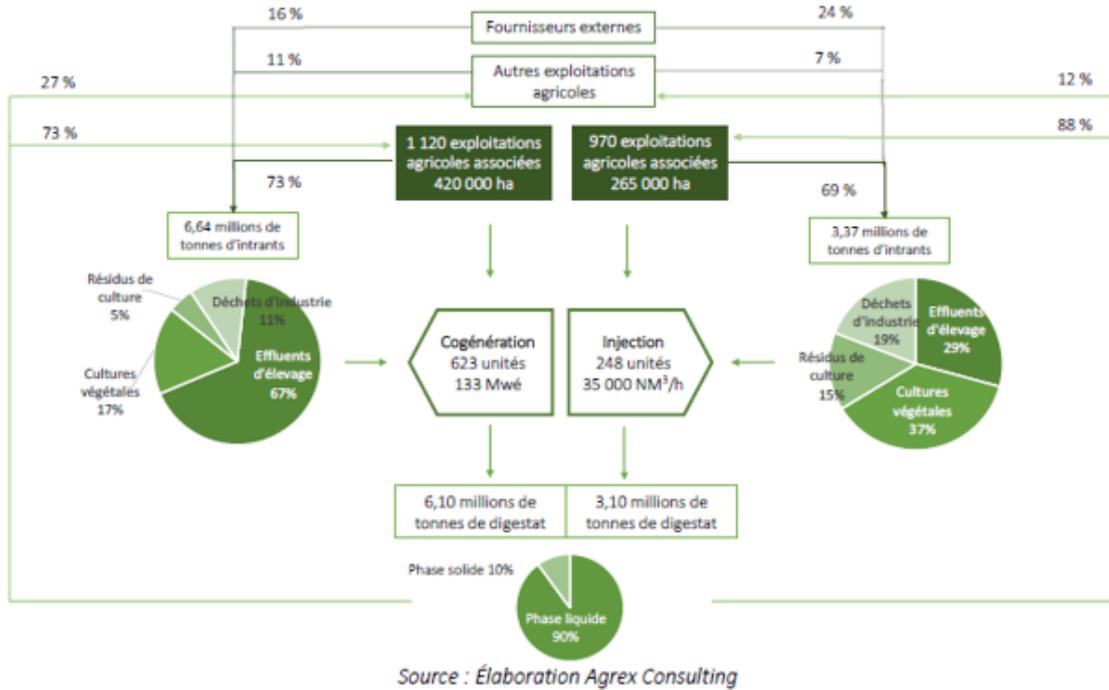


Figure 2 : Schéma de la filière méthanisation en France au 31/12/2021 – Source : étude VANA FranceAgriMer

- D'après la base de données de SEAMETHA (Suivi d'Exploitation Annuel de METHAnisation), sur 517 installations ayant renseigné leurs intrants dans la base entre 2020 et 2023 (1238 bilans au total sur ces 4 années), les résidus de culture représentent 3,33% des intrants en matières brutes sur 5,89 millions de tonnes d'intrants. Ces installations représentent 35% des 1478 installations agricoles et centralisées en fonctionnement fin 2023. On peut donc estimer à **560 500 t de MB** de résidus de culture.
- Dans une étude de 2024, Solagro estime que 680 000 t MS de résidus de culture sont actuellement utilisées en méthanisation.

### Conclusion :

Pour la suite de notre étude, nous avons retenu 562 000 tonnes de MB de résidus de culture utilisées actuellement (correspond à la moyenne des données de SEAMETHA et FranceAgriMer 2022 ramenées au nombre d'installations en fonctionnement au 01/01/2024 (560 500 t pour SEAMETHA et 562 800 t pour FranceAgriMer 2022). Nous n'avons pas retenu les données de l'étude VANA car le chiffre de 15% de résidus utilisés en cogénération nous semble vraiment excessif compte tenu des enquêtes DREAL et des données de SEAMETHA.

Ces 562 000 tonnes de MB représenteraient 1,12 TWh PCS de biogaz produit par les résidus de culture (88% de MS et coefficient de transformation de la biomasse en énergie de 2,26 GWh PCS/t de MS). Les résidus de culture contribueraient à 6,4 % du biogaz produit par méthanisation au 1/01/2024.

La Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse (SNMB) publiée par décret en mars 2018 prévoyait une mobilisation des résidus de culture pour la méthanisation deux fois plus élevée (cf tableau 1).

Résidus de cultures méthanisés	2018	2023	2026	Prospective	
				2030	2050
en Mtep	0,17	0,58	0,9	1,05	1,05
en TWh	0,65	<b>2,23</b>	3,45	4,03	4,03

Tableau 1 : Production de biogaz issue de la méthanisation des résidus de culture (source : SNMB).

## 2.2. La ressource résidus de culture à horizon 2050

### 2.2.1. Les scénarios et études prospectives analysés

Au cours de notre recherche bibliographique et en interrogeant des personnes ressources à l'ADEME sur les questions de biomasse, nous avons retenu pour notre étude sur la ressource de résidus de culture mobilisables en méthanisation 8 scénarios et 8 études. Les scénarios d'anticipation (scénarios normatifs) produisent une image d'un futur possible voire souhaitable et construisent un cheminement entre le présent et l'image du futur. Une étude à caractère prospectif identifie une situation future possible à partir des tendances lourdes actuelles qui se continuent dans l'avenir.

Les scénarios et études de prospectives agricoles retenus sont présentés par ordre chronologique de parution. L'Annexe 4 en détaille les commanditaires et auteurs. Nous pouvons noter que plusieurs nouveaux scénarios et études prospectives sont publiés fin 2021 (rapport WWF France, Négawatts 2022, rapport France Stratégie et les scénarios Transitions ADEME 2050) ; ceci s'explique par le besoin d'alimenter les travaux de révision de la SFEC (Stratégie Française pour l'Énergie et le Climat).

Titre du Scénarios et Etudes	Scénario /Etude	Date de l'étude	Commanditaire	Auteurs (si différent de commanditaire)
Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation	E	2013	ADEME	Solagro et Indiggo
Scénarios Afterres 2050	S	2016	Solagro (Couturier C, Charru M, Doublet S et Pointereau P)	
Un mix de gaz 100% renouvelable en 2050 ?	S	2018	ADEME, GRDF, GRT gaz	
Scénarios Négawatt 2022	S	2021	Association Négawatt	
Transitions 2050	S	Janv-22	ADEME	
Evolution des systèmes agricoles en France : quels impacts sur la disponibilité et les flux de biomasse méthanisable	S	Juil-22	Agrosolutions EIFER (Europäisches Institut für Energieforschung)	
Biomasse : un réel potentiel pour la transition énergétique ?	S	Janv-22	Démarche collaborative menée conjointement par le WWF France et le bureau d'études Solagro.	
ELBA : un outil de référence pour l'évaluation de ressource en biomasse agricole en France	E	Mai-18	ADEME	
Etude France Stratégie : biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel	S	2021	France Stratégie (auteurs : Mourjane et Fosse)	
Ressources en biomasse et méthanisation agricole : quelles disponibilités pour quels besoins ?	E	Oct-22	FranceAgriMer	
Impacts environnementaux et Enjeux technico économique et sociétaux associés à la mobilisation de biomasse agricole et forestière pour la production d'énergie à horizon 2050	E	Juil-23	INRAE transfert	Groupe INRAe (T. Caquet, M Axelos, JF Soussana, E Martin, ...)

VANA: Les retombées économiques des valorisations agricoles non alimentaires pour les exploitations agricoles	E	Oct-23	FranceAgriMer	
Enjeux agronomiques, techniques et économiques d'une mobilisation accrue des différents gisements de biomasse et de leur transfo en bio énergie	E	Avr-24	Demande du Directeur général de la Performance économique et environnementale des entreprises du ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire	Groupe d'experts de l'INRAe (de juillet et octobre 2023): Thierry Caquet, Monique Axelos, Jean-François Soussana, Eric Martin, Pierre Renault, Laurent Augusto, René Baumont, Nicolas Bernet, Julie Constantin, Luc Fillaudeau, Lorie Hamelin, Nathalie Korboulewsky, Nicolas Marron, Thomas Nesme, Sylvain Pellerin.
Evaluation du potentiel de production d'énergies renouvelables à partir de la biomasse agricole et forestière française à l'horizon 2050	E	déc. 2023	Rapport interministériel IGEDD, CGAAER et CGE	Emmanuel Clause – CGE Pascal Dupuis – CGE Philippe Follenfant - IGEDD Philippe Guignard – IGEDD Michel Hermeline – CGAAER Françoise Lavarde – CGAAER Michel Rostagnat – IGEDD
SFEC-16 / SNBC – 3 (2024-2028)	S	Soumis à consultation publique fin 2023	Pilote : DGEC	

NB : il existe également le scénario TYFA (Ten Years For Agroecology) de l'IDDRI datant de 2018 (scénario qui envisage 45% d'AB et 45% production intégrée) mais nous n'avons pas pu l'intégrer dans notre étude faute de données suffisantes sur les résidus de culture.

## A. Description des scénarios prospectifs :

### 1. 2016 – Afterres 2050 de Solagro - Données de références : 2010

Objectif d'Afterres 2050 : le scénario Afterres2050 est un scénario normatif, visant à décrire un chemin de transition écologique équilibré permettant de répondre aux enjeux auxquels sont confrontés les agriculteurs, les forestiers et l'ensemble de la société française : ralentir la course du dérèglement climatique (évolution des températures, augmentation des phénomènes extrêmes), décarboner les usages énergétiques, faire face à la stagnation des rendements et à la perte des terres agricoles, lutter contre les pollutions (eau, air, sol) et la perte de biodiversité. Il décrit comment il est possible de maintenir une production végétale primaire à un niveau proche de celui d'aujourd'hui en divisant par 3 l'ensemble des intrants et impacts. A travers :

- Une assiette plus saine et équilibrée (régime alimentaire plus proche du « régime méditerranéen, diminution des surconsommations, pertes et gaspillages)
- Une artificialisation limitée des terres agricoles, des espaces naturels et la forêt préservés
- Le maintien des prairies naturelles permanentes.
- Une agroécologie généralisée
- Une profonde mutation de l'élevage (généralisation des signes de qualité, diminution de la consommation et de la production de viande et de lait).
- Une production agricole performante : Production végétale à un niveau équivalent à celui de la production actuelle: diversification des productions, augmentation du maraichage et de l'arboriculture.
- Des échanges plus équilibrés avec le reste du monde : augmentation de 60% des exportations de céréales alimentaires vers l'espace Méditerranée / Moyen Orient – Division par 2 des exportations de céréales fourragères vers l'Europe – suppression des importations de soja et du déficit de la filière forêt – bois.
- Une contribution majeure des bioénergies au bilan énergétique national: augmentation des prélèvements forestiers dans le cadre d'une sylviculture durable, production conjointe de bois matériau (construction) et de bois-énergie – **Fort développement de la méthanisation agricole, conçue comme un outil de la transition agroécologique et énergétique – Multiplication par 3 des bioénergies (incluant biomasses non agricoles) produites de façon durable.**

S scénarios envisagés	Description
Tend	Prolongation des tendances passées, sous des contraintes extérieures identiques à celles adoptées dans Afterres 2050
Afterres 2050	La SAU (Surface Agricole Utile) diminue de 5.7%. Les rendements en céréales baissent de 36%.
SAB (Santé, Alimentation, Biodiversité)	Généralise l'agriculture biologique et les systèmes de production sans phytosanitaires
REP (Résilience & Production)	Privilégie la production photosynthétique pour augmenter le captage du carbone.

### 2. 2018 - ADEME GRDF GRT Gaz

L'objet principal de cette étude est d'analyser les conditions de faisabilité technico-économique d'un système gazier basé à 100 % sur du gaz renouvelable à 2050. L'ADEME y a exploré en collaboration avec GRDF et GRTgaz, la faisabilité technico-économique d'un gaz d'origine 100 % renouvelable en 2050 en se fondant sur le scénario énergie-climat de l'ADEME 2035-2050. **Il ne s'agit pas ici de donner**

**une trajectoire pour atteindre un gaz 100 % renouvelable en 2050 mais bien d'explorer les conditions de la faisabilité, mais également les freins, d'une telle ambition.** Elle tente notamment de répondre à la question « Quelles pourraient être les ressources en gaz renouvelable ou de récupération » ?

Scénarios envisagés	Description
La situation actuelle	Basée sur les statistiques agricoles (moyenne des dernières années)
Scénario A « compatible Facteur 4 »	De type scénario énergie-climat ADEME 2035-2050 ou Afterres2050 où les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture sont divisées par 2 environ. Rendements : -30% - Surfaces céréales : -8%
Scénario B, « tendanciel »	Conçu à partir de la prolongation des principales tendances actuelles en termes d'utilisation des terres et de rendements. Rendements : -20% - Surfaces céréales : -3.2%.

### 3. 2021 – France Stratégie

France Stratégie essaye à travers cette étude de répondre à la question : « La biomasse agricole pourrait-elle contribuer aux différents besoins en matériaux et en bioénergie tout en permettant une production agricole plus durable ? »

Scénarios envisagés	Description
Scénario tendanciel	SAU : -1.3 MHa - Surfaces en AB : 20% -17% de cheptel bovin par rapport à 2019
Scénario « agroécologique »	SAU : -1.3 MHa – Surface en AB : 60%. -35% de cheptel bovin par rapport à 2019 - Ratio de récolte de résidus supérieur de 15%

### 4. 2022 - EIFER et Agrosolutions

Objectif du scénario : face aux ambitions de réduction de GES, faire des scénarios de transition possibles en tenant compte des contraintes terrains (de l'amont agricole) et des conditions de réussites possibles « vues du terrain ». En posant des hypothèses issues d'un « réalisme de terrain » sur les dimensions techniques et économiques de cette transition l'étude analyse le potentiel de biomasse que l'agriculture pourra destiner au secteur énergétique selon 3 grandes trajectoires de transition possibles. Pour chacun des 3 scénarios, le potentiel de production de biogaz/biométhane que peut dégager l'agriculture est estimé dans les limites d'une gestion pérenne du « capital naturel sol » et compte tenu des limites que le contexte technique et économique actuel impose à l'amont agricole dans sa transition.

Scénarios envisagés	Description
S1: une agriculture multifonctionnelle et régénératrice	Equilibre économique assuré en partie par les services écosystémiques rendus. Rendements: -24% - Surfaces céréales (dont maïs grain) : -10%
S2 : une agriculture spécialisée sur l'alimentation, productiviste et exportatrice	Rendements : -3% - Surfaces céréales : -3.5%

S3 : une agri multifonctionnelle productive mais isolationniste	Equilibre économique assuré par différents débouchés (alimentation, énergie, biomatériaux) Rendements : -18% - Surfaces céréales : -10.4%
---	--

## 5. 2022 – Transitions 2050 ADEME

Ce travail propose quatre chemins « types », cohérents et contrastés, pour conduire la France vers la neutralité carbone en 2050.

Scénarios envisagés	Description
Tend (tendancier)	Consommation de viande (g/jour) : -10% de la consommation actuelle (2020). SAU : -13% Surfaces Grandes cultures (céréales + oléo protéagineux + cultures fourragères) = -12 % par rapport à l'actuel Rendement blé tendre : 6,8 t/Ha (-1% de l'actuel)
S1 Génération frugale	Conso de viande : -70% – Part du bio : 70% SAU : -11% - Surfaces Grandes cultures = +6% de l'actuel Rendement Blé tendre : -25% de l'actuel Scénario où la méthanisation se développe le moins.
S2 Coopération territoriales	Conso de viande divisée par 2 – part du bio : 50% SAU (la + élevée des 4 sc):27,7M : -3.6%. Surfaces Céréales+oléo+protéagineux = +6,5% de l'actuel. <i>Pas de données de rendement !</i>
S3 Technologies vertes	Baisse de 30% de la conso de viande – part du bio : 30% SAU : -6%. Surfaces Grandes cultures : -14 % de l'actuel Rendement (tMS/Ha de SAU) : +20% du TEND. Fort développement de la métha avec de grosses unités
S4 Pari réparateur	Baisse de 10% de la conso de viandes. SAU : -7%. Surfaces Grandes cultures = -4% de l'actuel Rendement (tMS/Ha de SAU : +14% du TEND)

## 6. Négawatt – revu en 2022

Exercice prospectif de transition énergétique pour la France de l'Association NégaWatt mené tous les cinq ans. En plus des questions de l'énergie et du climat, l'exercice 2022 intègre l'accès aux matières et l'objectif d'un redéploiement industriel. Le scénario NégaWatt 2022 atteint la neutralité carbone en 2050 en s'appuyant à 96 % sur des ressources énergétiques renouvelables, tout en réduisant fortement l'extraction de matières premières dans la croûte terrestre. **Le potentiel de production de biogaz est issu du scénario Aferres.** Ce scénario ne consacre pas de terres à la seule production d'énergie. Le biogaz est produit par méthanisation à partir de résidus de cultures, de déjections d'élevage, de biodéchets et de couverts végétaux. Les installations de méthanisation jouent également un rôle clé dans la transition agroécologique, notamment dans la substitution de l'azote de synthèse (actuellement produit à partir de gaz fossile) par de l'azote d'origine biologique. 20% des résidus de culture produits sont affectés à la méthanisation.

## 7. 2022 - WWF avec Solagro

L'étude se base sur les travaux prospectifs d'alimentation et l'agriculture durables (scénario WWF Pulse Fiction 2021) d'un côté, et de gestion forestière durable (scénario Fern Canopée 2020) de l'autre. L'étude Pulse fiction (menée par le WWF et Solagro sur la question de la durabilité du système alimentaire et du rôle particulier que doivent jouer les légumineuses (pulse = légume sec en anglais) pour fournir une alimentation saine et bas carbone en France d'ici 2050) explore les conséquences sur l'agriculture d'un régime alimentaire avec 40% de végétariens (dont 14% de végétariens) et 60% de flexitariens.

Ce rapport présente une étude prospective réalisés par le WWF et Solagro et basés sur deux scénarios existants et ambitieux pour la France métropolitaine de 2050. L'évolution du système alimentaire permet de dégager les surplus de biomasse mobilisables (ressources fourragères, fumier, résidus de culture et déchets de l'industrie agroalimentaire). Au total, il estime entre 45 et 50 mégatonnes la quantité de biomasse (matière sèche) mobilisable par an, soit environ un tiers du surplus produit. Cette quantité peut être utilisée dans différents secteurs : énergie, construction, chimie, etc. En 2050, la biomasse restante serait principalement fléchée vers le développement d'unités de méthanisation (pour 100 à 110 TWh/an). Sous certaines conditions de durabilité que le WWF France a étudiées en 2019, la méthanisation peut permettre la production d'une énergie renouvelable et utilisable localement, s'insérant dans des systèmes de production compatibles avec une transition agroécologique.

### *B. Descriptions des études utilisées dans ce rapport qui apportent une expertise complémentaire sur la ressource en résidus :*

- ADEME 2013 : objectif de l'étude : fournir des données nationales sur l'ensemble des matières et d'afficher une régionalisation de ces données et établir une méthode d'estimation valable à l'échelle nationale et de présenter des données à l'échelle régionale voire départementale quand les données sources de calculs sont disponibles. Une prospective à échéance 2030 est proposée en conclusion au travail d'évaluation des gisements bruts et disponibles. Cette étude porte sur la mise en place d'une méthode d'estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation.
- Projet ELBA 2018 : objectifs du projet : construire un outil dynamique, facilement accessible et actualisable, permettant de quantifier et cartographier des ressources durablement disponibles en biomasse agricole (effluents d'élevage, co-produits des grandes cultures, cultures dédiée) du canton à la région d'évaluation. A l'heure de la construction des schémas régionaux Biomasse, l'outil ELBA offre un cadre méthodologique de référence et des évaluations de ressources spatialisées largement diffusables. Ces résultats constituent une base commune pour la construction de mesures de soutien local ou régional pour le développement de projets. La représentation fine (cantonale) de ces ressources agricoles permet par ailleurs de coconstruire avec les acteurs du territoire des modes d'approvisionnement et de développement d'une bioéconomie territorialisée. Il est issu de la collaboration de plusieurs instituts techniques agricoles : GIE GAO associant Arvalis – Institut du végétal, Terres Inovia et Terres Univia, IDELE, IFIP et ITAVI, avec le soutien de l'ADEME. ELBA est disponible en ligne à l'adresse suivante : <https://elba.arvalis-ext.com>
- 2 études de INRAe :
  - o **« Propositions d'hypothèses pour le scénario AMS<sup>1</sup> de la SNBC 3 pour le secteur Agriculture » Avril 2023** : Ce texte correspond au travail d'un groupe d'experts INRAE réuni à la demande du MASA. Il précise des hypothèses en vue de la construction du scénario Avec Mesures Supplémentaires (AMS) de la SNBC3 (Stratégie Nationale Bas Carbone), principalement à l'horizon 2050. Le groupe a analysé les évolutions des variables d'intérêt et de leurs incertitudes à l'horizon 2050 et a cherché à mettre en cohérence ces évolutions. Il s'agit d'éléments de réflexion produits par le groupe d'experts en vue de la construction d'un scénario AMS SNBC3. Par ailleurs, ces travaux portent uniquement sur la faisabilité technique et agronomique des évolutions.

---

<sup>1</sup> Cf Glossaire

- **« Enjeux agronomiques, techniques et économiques d'une mobilisation accrue des différents gisements de biomasse et de leur transformation en bioénergies » Avril 2024 :** étude réalisée à la demande d'appui du Directeur général de la Performance économique et environnementale des entreprises du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire à l'INRAe pour préciser les enjeux d'une mobilisation accrue des différents gisements de biomasse et de leur transformation en bioénergies.
- 2 études de France AgriMer :
  - **Ressources en biomasse et méthanisation agricole : quelles disponibilités pour quels besoins ? (Octobre 2022) :** Objectif de l'étude : estimer le taux d'utilisation de la biomasse agricole fermentescible par la méthanisation agricole dans les cinq années à venir, et repérer les potentielles tensions sur la disponibilité des gisements.
  - **Les retombées économiques des valorisations agricoles non alimentaires (VANA) pour les exploitations agricoles – Synthèse (octobre 2023) :** les différents débouchés liés à ces cultures ou coproduits commencent à être bien connus et des premières estimations quantitatives existent. Néanmoins, peu de données existent concernant la valorisation de ces débouchés non alimentaires et de leur impact réel sur le revenu des exploitations. FranceAgriMer a souhaité déployer une étude assez large sur les aspects économiques des valorisations agricoles non alimentaires (VANA), dans l'objectif d'éclairer les professionnels.
- **Rapport de la Mission interministérielle: « Evaluation du potentiel de production d'énergies renouvelables à partir de la biomasse agricole et forestière française à l'horizon 2050 ».** Afin de vérifier que le potentiel de la biomasse agricole et forestière pouvait répondre aux besoins identifiés pour la stratégie nationale bas carbone 3 (SNBC 3) au sein de la Stratégie française énergie-climat (SFEC), les ministres chargés de l'agriculture, de l'écologie, de l'énergie et de l'industrie ont diligencé une mission interministérielle. Ce rapport en expose les résultats.
- **Rapport Solagro : « Quelles biomasses pour la transition énergétique ? » (juin 2024).** Ce rapport a été réalisé par Solagro avec le soutien financier de GRDF. Cette étude propose d'évaluer les différentes ressources, aujourd'hui et à horizon 2050 en prenant appui sur le scénario Afterres2050, puis d'évaluer les différentes technologies de valorisation énergétique de cette biomasse à travers une grille de critères (11 critères au total : technico-économiques, environnementaux, intégration territoriale). L'objectif est ainsi d'éclairer le débat sur les options pour mobiliser efficacement cette biomasse dans le contexte de transition énergétique, sans pénaliser les usages prioritaires de la biomasse que sont l'alimentation, le maintien de la fertilité des sols et la production de matériaux.

### **2.2.2. Méthode générale utilisée pour quantifier les gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation**

L'ADEME avec Solagro dans son étude de 2013 sur les gisements a décrit une méthode pour quantifier les gisements qui a été largement utilisée par la suite pour la plupart des études prospectives (avec quelques variantes notamment dans la hiérarchie des usages et l'introduction du taux de pénétration de la méthanisation).

Le tableau ci-dessous reprend les étapes de la démarche générale de quantification des ressources en biomasse.

## Démarche générale de quantification des ressources en biomasse

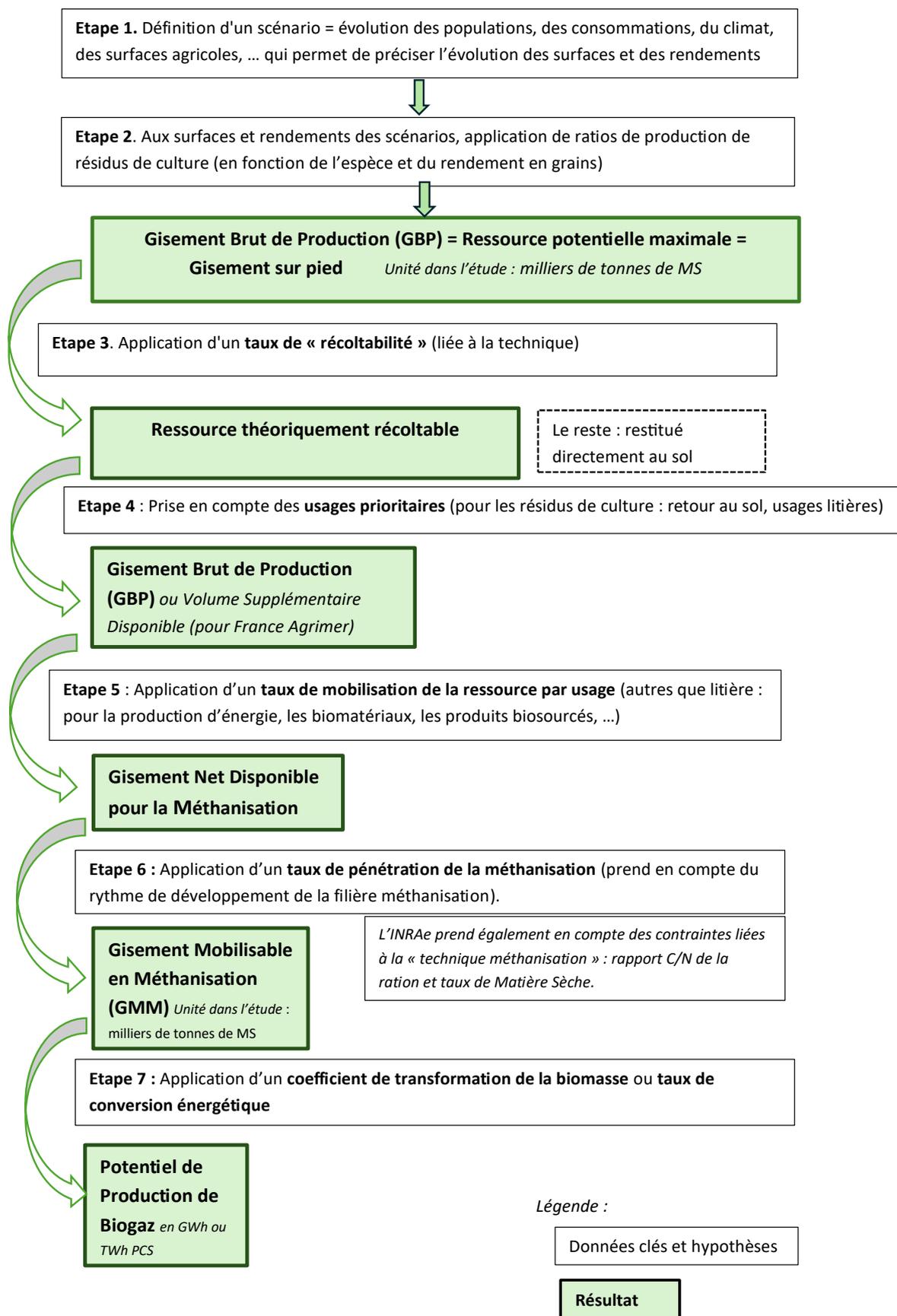


Figure 3 : Démarche générale de quantification d'une biomasse

### Difficultés rencontrées pour comparer les études et mises en garde :

Les unités et coefficients utilisés présentent une grande hétérogénéité entre les études : raisonnement en MS ou MB, coefficients de conversion énergétique très variables (de 1,8 à 2,8 MWh/tMS pour la méthanisation), utilisation du PCS ou du PCI (différence de 11% entre les 2 unités). Il existe également un flou sur la définition des résidus de culture (la moitié des études considèrent les issues de silos comme un résidu de culture). Selon le rapport de la mission interministérielle, « cette variabilité due à des hypothèses mal fixées n'est pas sans conséquence puisqu'elle peut affecter les résultats d'une marge de 20 % environ ».

Afin de pouvoir comparer les différents scénarios et étude, certaines données ont été retravaillées :

- Exclusion des issues de silos (retrait de cette ressource lorsque la valeur est connue).
- Ressource toujours exprimés en Matière Sèche (taux MS/MB appliqué : 88% - source Etude Gisement de 2013).
- Conversion en PCS ( $PCI \times 1.111$ ) lorsque l'étude précise qu'elle est en PCI.
- Quand l'étude s'arrête au gisement net mobilisable en méthanisation exprimé en t MS, le Coefficient de transformation de la biomasse en énergie primaire utilisé est de : 2 t MS/GWh (coefficient retenu par la mission interministérielle).

### 2.2.3. Le Gisement Brut de Production de résidus de culture dans les différents scénarios

Le Gisement Brut de Production (GBP) en 2021 est estimé à 76,5 millions de tonnes de MS (source : ONRB 2021). Ce GBP est sujet à de très fortes variations annuelles : dans leur étude de 2021, Karan et Hamelin (2021) montrent que le potentiel de production théorique de résidus varie de 39% en moyenne au niveau national entre les valeurs minimales et maximales de production pour la période 2000-2018. Ils estiment le potentiel théorique de production de résidus à l'échelle nationale sur cette période entre 62,2 et 86,2 Mt MS/an, ce qui en cohérence avec le potentiel actuel moyen retenu dans notre étude<sup>2</sup> de 74,4Mt MS/an).

La moyenne de ce GBP en 2050 des différents scénarios est 49,6 Mt MS.

Quel que soit le scénario, le GBP diminue au cours des années (diminution de 33% en moyenne entre le gisement calculé en 2024 et 2050). En analysant les évolutions de surfaces et de rendements pour les études qui les précisent (Agro-EIFER, ADEME-GRDF, Afterres 2050, France Stratégie), cette diminution s'expliquerait à environ 80% par la baisse des rendements et environ 20% par les évolutions de surfaces.

---

<sup>2</sup> Moyenne des données de ADEME-GRDF 2017, France Stratégie 2018, AgroEIFER 2021 et ONRB 2021

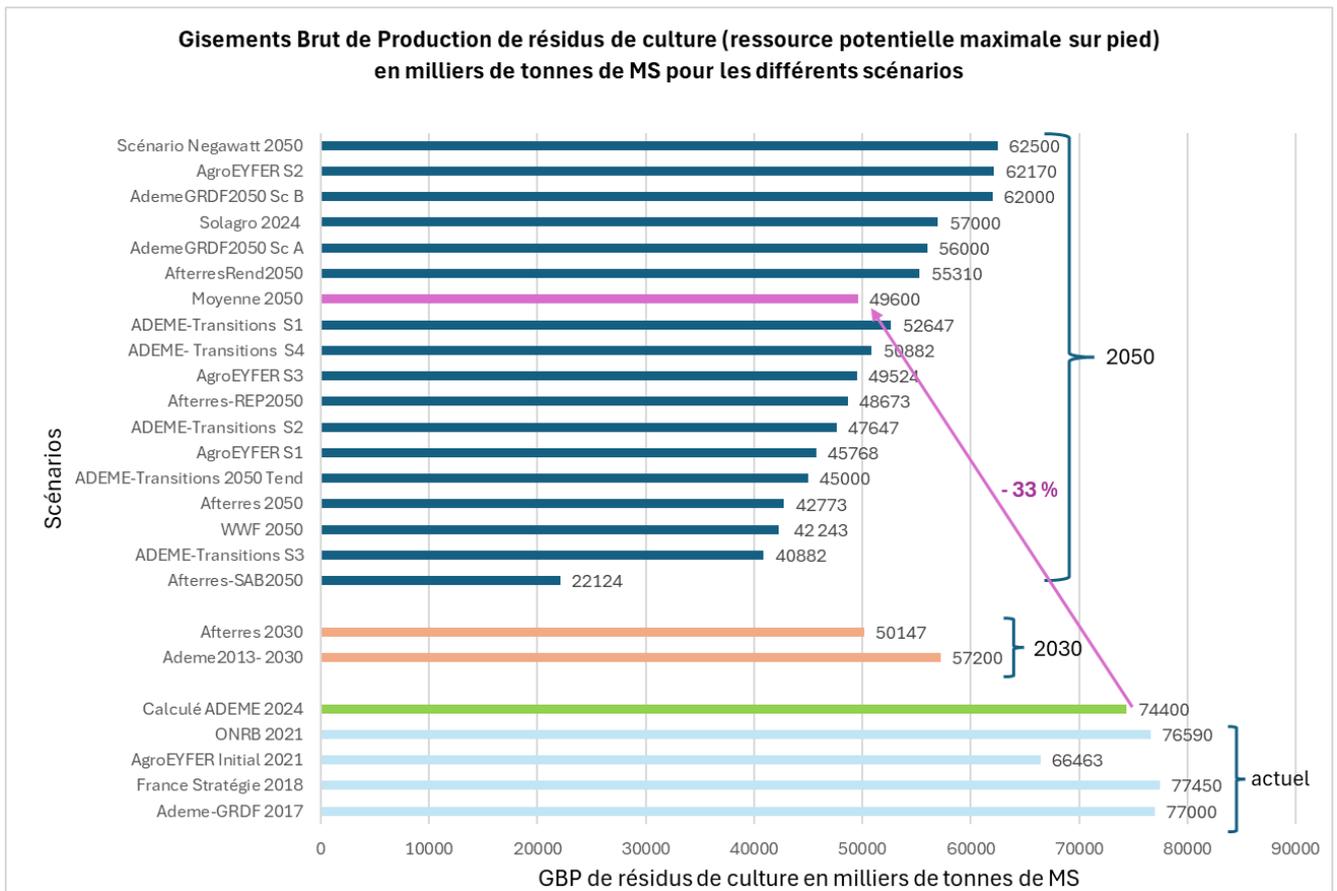


Figure 4 : Gisement brut de production de résidus de culture selon les scénarios (actuel, à 2030 et à 2050)

#### 2.2.4. Gisement de résidus de culture Mobilisable en Méthanisation :

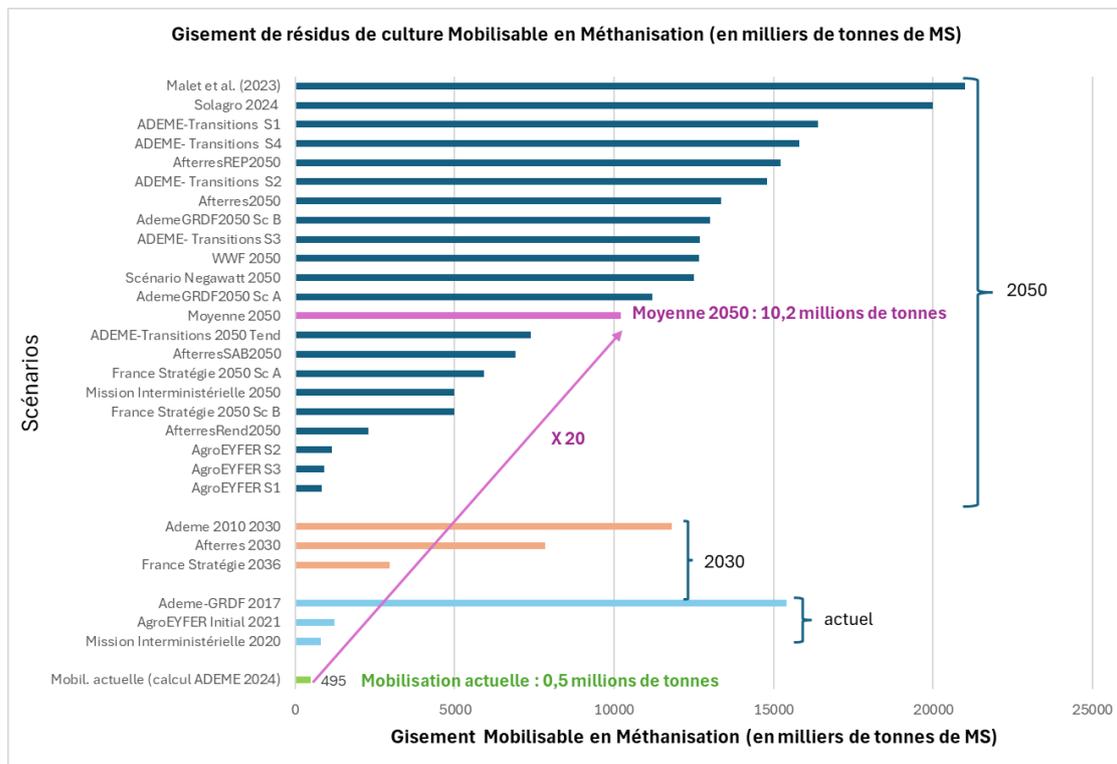


Figure 5 : Gisement de résidus de culture Mobilisable en Méthanisation (actuel, à 2030 et à 2050)

La moyenne des scénarios de Gisement de résidus de culture Mobilisable en Méthanisation (GMM) en 2050 est de 10,2 Mt MS. **Ce GMM correspond à 20 fois le volume utilisé en 2024.** Excepté Agrosolutions-EIFER, tous les scénarios comptent beaucoup sur les résidus de culture dans la production de biogaz (en moyenne 21% de l'énergie produite d'origine agricole). Toutefois, il existe une forte variabilité sur les volumes de GMM (écart type moyen de 6200). Ces écarts s'expliquent d'une part par les différences de gisement brut de production (cf. 1.2.3.) et par les ratios de mobilisation utilisés. Le tableau ci-dessous récapitule ces ratios en fonction des scénarios.

Etude-Scénario Taux	Ademe 2013	Afterres 2050	Ademe GRDF GRTgaz	ONRB (France Agrimer)	Agrosolutions EIFER	France Stratégie	Ademe Transitions 2050	WWWF	Négawatt	Mission interministérielle	INRAe pour SNBC3run 2	Solagro 2024
Taux de récoltabilité	Blé tendre : 66% Menue Paille: 10%	30%	21%	55%	22%	20 à 45%	34%	30%	20%	NP	Blé: 60%	70%
Prise en compte des usages prioritaires (retour au sol, usages litières)	Pailles de céréales : 50%			50% de retour au sol puis 100% des besoins litières remplis		15 à 50%						
Taux de mobilisation de la ressource par usage	Menue Paille : 100%			NP	Pailles:10% Menue Paille : 50%	70 à 100%	91% et 50% dans le Tend			15 000 TMS dispo pour usages énergétiques . Méthanisation : 1/3 - Biocarburants par voie thermochimique 2/3	50%	
Taux de pénétration de la méthanisation	100%					36% du GND pour des usages énergétiques dont 50% destiné à la métha	100%					24% (si plus, mix de substrat trop sec) et 40% si généralisation des CIVEs
Ratio global (GBP/GMM)	30% du GND	<b>30%</b>	<b>21%</b>	-	<b>2%</b>	<b>8%</b>	<b>31%</b>	<b>30%</b>	<b>20%</b>	-	<b>25%</b>	<b>35%</b>
Pouvoir Méthanogène (TWh/ t de MS)	1,93	2,17	2,38	blés et orge : 2,2- cannes de maïs et autres céréales: 2,3	2,22	2,26	2,06	2,17	2	2	0,56	2,15
Unité du potentiel de production de biogaz (PCS ou PCI)	PCI	PCS	PCS	NP	PCI	PCS	PCI	PCS	PCS	PCI	PCS	PCS

Tableau 2 : ratios et coefficients utilisés pour le calcul du gisement dans les différents scénarios

Les scénarios les plus « optimistes » ou « offensifs » (Solagro 2024, Afterres 2050, ADEME Transitions et WWF) considèrent que 30 à 35% du gisement brut de résidus de culture (sur pied) pourrait être mobilisé en méthanisation. Dans les scénarios les plus prudents (Agrosolutions-EIFER, France Stratégie et la Mission interministérielle), ce taux est largement inférieur (2,2% pour Agro EIFER, 8% pour France Stratégie, 1/3 du gisement net pour la Mission Interministérielle).

**A noter que le taux de mobilisation actuel** (d'après nos calculs du volume de résidus utilisé en méthanisation par rapport au gisement brut actuel moyen) **est de 0,64%.**

### 2.2.5. Potentiel de Production de Biogaz issu de la méthanisation des résidus de culture méthanisés

Les données sont exprimées en PCS (Pouvoir Calorifique Supérieur). Pour rappel, lorsque l'étude d'origine exprimait la production d'énergie en PCI (études Agrosolutions-EIFER, ADEME Transitions, ADEME 2013, Mission Interministérielle), la valeur a été multipliée par 1,111.

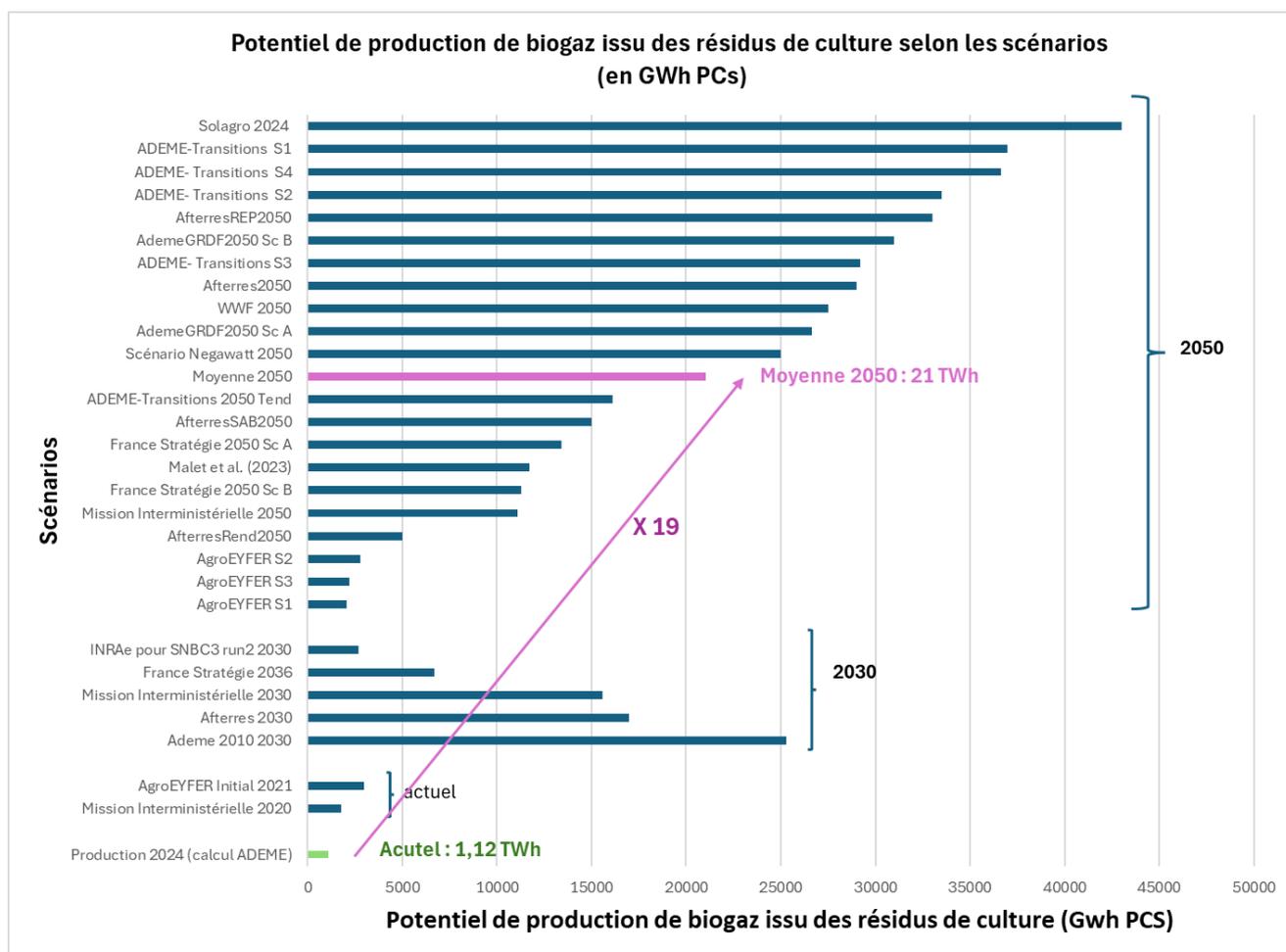


Figure 6 : Potentiel de production de biogaz par les résidus de culture en méthanisation (actuel, à 2030 et à 2050)

En 2050, la moyenne de production de biogaz issu des résidus de culture est de 21 TWh PCS, ce qui correspond à multiplier par 19 la mobilisation actuelle estimée. Excepté pour l'étude INRAe, entre le gisement mobilisable en méthanisation et le potentiel de production de biogaz, l'ordre entre les scénarios est respecté (ce qui s'explique par des coefficients de transformation proches : moyenne 2,17 et écart type : 0,19). L'étude INRAe utilise un coefficient beaucoup plus faible (0,557 TWh PCS/t MS) soit 1/4 de la valeur moyenne des autres études. Le coefficient de transformation détermine le potentiel de production de biogaz d'un intrant. Avec 0,557, l'INRAe considère qu'un quart du potentiel méthanogène des résidus s'exprime (autrement dit seulement ¼ de la matière organique du produit est dégradé lors du processus de méthanisation). Les autres études avec un coefficient moyen de 2,17, ne prennent pas en compte cette difficulté d'accessibilité de la matière organique dans les résidus de culture en général et considèrent que 100% du potentiel méthanogène peut s'exprimer.

Le graphique ci-dessous reprend les données des 3 parties précédentes (Gisement Brut de Production de résidus de cultures, Gisement Mobilisable en Méthanisation, Production Potentielle de Biogaz ainsi que le ratio de mobilisation entre le GBP et GMM). **Les données utilisées sont les moyennes des scénarios de chaque étude.**

### Gisement Brut, Gisement Mobilisation en Méthanisation, Production de biogaz et taux de mobilisation des résidus de culture pour la moyenne des scénarios d'un auteur

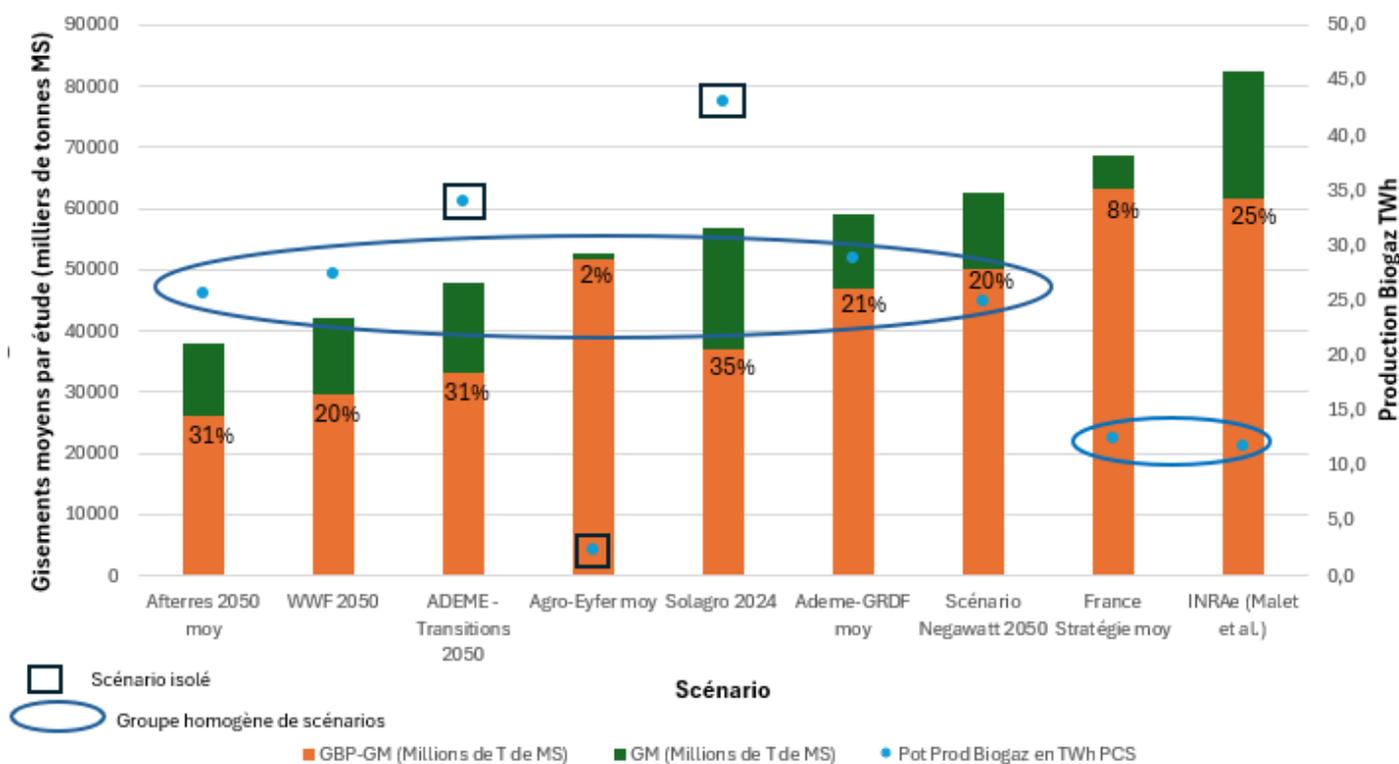


Figure 7 : Synthèse des gisements et potentiels de production pour la moyenne des scénarios par auteur

Ce graphique met en évidence :

- **Des scénarios isolés :**

- Solagro 2024 avec près de 43 TWh : dans cette hypothèse, 70% de la ressource sur pied est récoltée et après l'usage litière satisfait en intégralité, 50% de la ressource est orientée vers la méthanisation (à condition du retour au sol du digestat). L'étude compte sur un fort développement de la méthanisation et la généralisation des cultures intermédiaires.
- L'ADEME avec 35 TWh : elle considère que les pratiques agricoles évolueraient pour mieux récolter, transporter et stocker les résidus de cultures en vue de les méthaniser et prévoit ainsi une mobilisation en méthanisation de 90% dans tous ses scénarios pour l'export d'un tiers de la production de pailles.
- Agrosolutions-EIFER avec 2,4 TWh : l'étude considère que les contraintes de l'amont : techniques de récolte, coût de mobilisation et importance du retour au sol) sont à privilégier et la contribution des résidus (et globalement de la biomasse agricole) à la production d'énergie renouvelable est limitée.

- **2 groupes de scénarios :**

- **Groupe A (4 scénarios) dont les valeurs se situent entre 25 et 28 TWh :** WWF, Négawatt et Afterres (pour lesquels s'agit du même auteur: Solagro avec Afterres 2050) : ils comptent sur une bonne mobilisation des résidus de culture (30%) et pas de concurrence d'usage hormis l'usage litière (qui diminue).

- Groupe B (2 scénarios) : entre 10 et 12 TWh** de biogaz issu des résidus de culture : INRAe, France Stratégie et Mission interministérielle : pour des raisons différentes : France Stratégie et la Mission interministérielle font le constat que cette ressource fait déjà l'objet de plusieurs usages (cf. annexe 5 sur les usages prioritaires de la Biomasse) et pourrait être à l'origine de tensions dans le futur. L'INRAe part d'un gisement mobilisable important mais les contraintes techniques de la méthanisation ne permettent pas de l'utiliser pleinement.

### Que représenteraient les résidus de culture dans la production de biogaz d'origine agricole ?

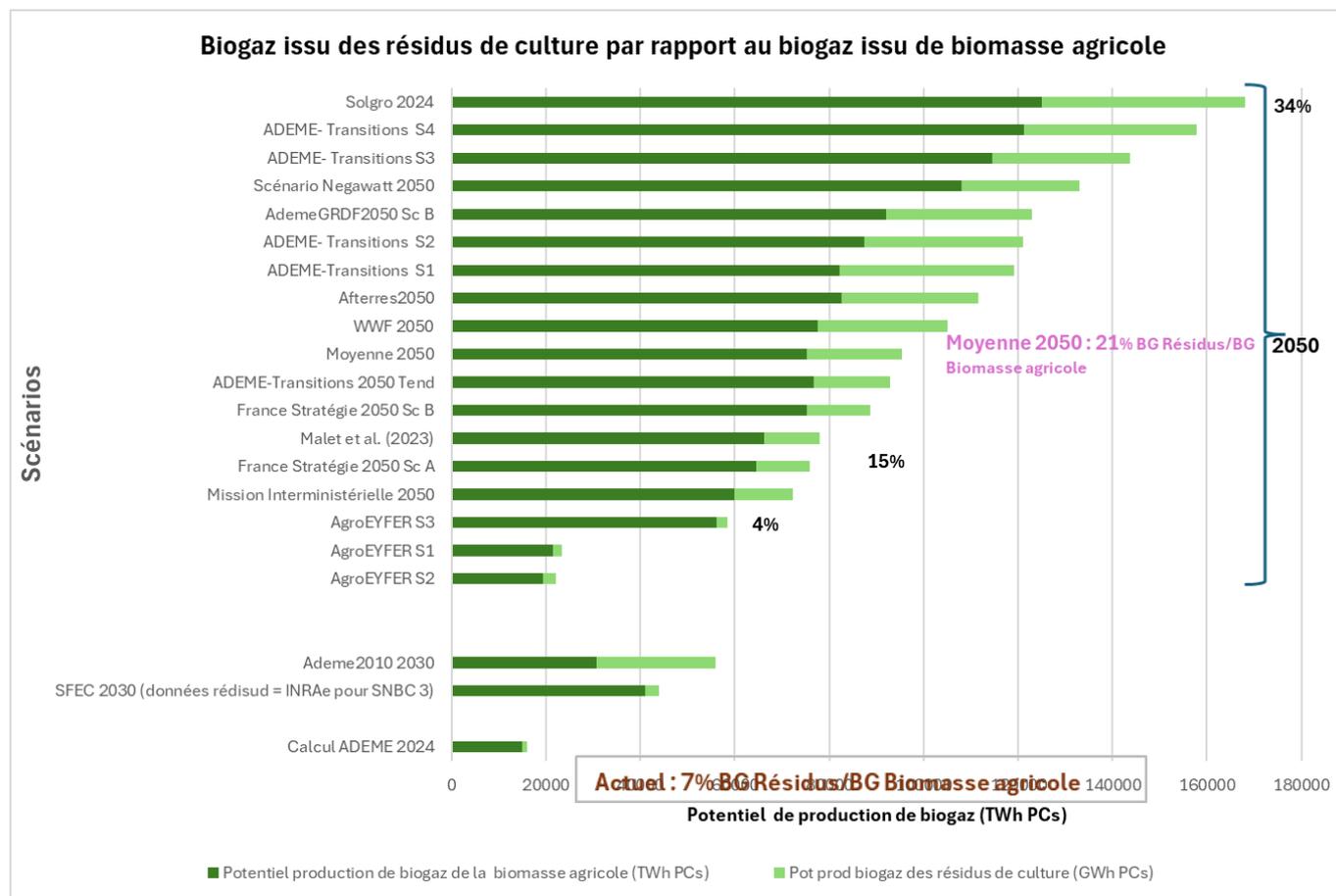


Figure 8 : Part des résidus de culture dans la production de biogaz dans les différents scénarios

Actuellement, 7 % du biogaz produit est issu des résidus de culture. En 2050, la moyenne des différents scénarios, prévoit que 21% du biogaz d'origine agricole produits par la méthanisation le serait par des résidus de culture. Les scénarios S1 et S2 de ADEME Transitions 2050 sont ceux qui comptent le plus sur cette ressource (respectivement 31 et 28%). A l'inverse, Agrosolutions-EIFER compte peu sur les résidus de culture (à peine 10%) : selon eux, c'est une ressource difficilement exploitable dont le « retour » au sol est privilégié.

### Conclusions sur les scénarios et études sur la ressource en résidus de culture :

Excepté Agrosolution-EIFER, tous les scénarios prospectifs prônent un recours accru à la biomasse non alimentaire pour la production d'énergie et particulièrement les résidus de culture (21% de la production).

### **A horizon 2025-2028 :**

**Pour la SNMB:** les résidus de cultures annuelles (paille de céréales, d'oléagineux et protéagineux, cannes de maïs) représenteraient **8,3 millions de tonnes** de VSD (Volume Supplémentaire Disponible).

**Pour FranceAgriMer** dans son étude sur les besoins et la disponibilité en biomasse pour les cinq années à venir, « la biomasse disponible prise dans son ensemble, à l'échelle nationale, paraît suffisante à l'heure actuelle et semble laisser une marge de croissance à la méthanisation » mais elle stipule aussi que « la méthanisation pourrait susciter des tensions sur certains approvisionnements locaux en biomasse, notamment en pailles ou en pulpes de betteraves ». En effet, il existe dès à présent des déficits structurels de matière dans les régions d'élevage peu céréalières, dus à une demande soutenue en pailles pour les litières. À l'échelle nationale, en année de basse production céréalière, une possible tension sur les pailles de céréales peut survenir entre méthanisation et litière. Elle conclut en pointant la nécessité d'un « arbitrage national sur l'usage de la biomasse fermentescible [...] pour fixer les objectifs de production de biométhane [...] en fonction des limites du sol et des ressources hydriques, des capacités logistiques, des besoins protéiques des cheptels, de la dynamique de développement des produits biosourcés, et d'autres paramètres économiques et sociétaux ».

**Pour l'INRAe (étude de juillet 2023 et synthèse d'avril 2024),** le gisement de pailles de céréales mobilisable pour l'énergie sans risque d'érosion des sols atteindrait 4 millions de tonnes. Si les résidus de culture peuvent effectivement constituer une ressource intéressante pour la production d'énergie, leur disponibilité pour cet usage est conditionnée au respect des autres usages et plus particulièrement leur rôle dans le maintien des propriétés des sols (incluant le stockage de carbone) et leur valorisation en élevage. Le respect de la cascade des usages doit être une priorité.

### **A horizon 2050:**

La moyenne des scénarios à 2050 estime un gisement en résidus de culture mobilisation pour la biomasse **à 10,2 Mt et un potentiel de production de biogaz de 21 TWh PCS**. Avec un taux de mobilisation de 20,6% du gisement brut de résidus de culture (avant récolte). A l'échelle nationale, ces chiffres sont compatibles avec le respect du retour au sol (cf partie 3.1.) et de l'usage prioritaire litière (dont le besoin qui va diminuer dans quasiment tous les scénarios). Cependant, les scénarios prennent peu ou pas en compte les besoins de ce gisement pour d'autres usages (constructions, biochimie, biocarburants) et les contraintes techniques liées à la méthanisation (forte teneur en lignocellulose, taux de matière sèche et C/N).

Concernant les besoins pour les autres usages :

- dans son étude VANA de 2021, France AgriMer estime à 650 000 tonnes les besoins des autres débouchés (énergie, construction, substrat pour champignons, etc.).
- la SNMB prévoyait l'évolution de la répartition entre usages combustion/méthanisation des résidus agricoles (pailles, cannes...) suivante : 50/50 jusqu'en 2025 ; 40/60 de 2026 à 2029 et 30/70 à partir de 2030.
- France Stratégie estime à 1.83 à 8.54 millions de tonnes (selon ces scénarios) le volume de cultures lignocellulosiques et de pailles qui seront nécessaire pour la production de biocarburants avancés en 2050.

Cette 1ère partie se voulait descriptive et explicative des scénarios et études sans analyse de la pertinence des hypothèses prises par les auteurs. La partie suivante va s'intéresser aux freins et aux leviers pour la mobilisation des résidus de culture en méthanisation. A l'issue de cette étape, nous pourrons mieux évaluer la pertinence des hypothèses (ratios) retenues.

## 3. Leviers et freins à la mobilisation des résidus de culture en méthanisation

Afin de mieux appréhender les avantages, les freins et les leviers à la mobilisation des résidus de culture en méthanisation, nous avons procédé en 3 étapes.

**1<sup>ère</sup> étape : étude bibliographique.**

**2<sup>ème</sup> étape : enquête auprès d'acteurs « ressources » en méthanisation.**

Nous avons recherché des acteurs impliqués à différents niveaux de la filière méthanisation française : associations d'agriculteurs (AAMF, AILE, AGPM), France Agrimer, instituts techniques et de recherche (Arvalis, ENSAIL), bureaux d'études (Solagro, Agrosolutions, ACE), référents biomasse et énergies renouvelables dans les chambres régionales et départementales d'agriculture, experts sol de l'ADEME, FNCUMA et constructeurs de matériels. Le guide d'entretien était adapté à chaque interlocuteur mais l'objectif était de connaître leur point de vue sur les freins et leviers à l'utilisation des résidus de culture par type de résidus et à différentes étapes du process (récolte, transport, stockage, pré traitements avant incorporation, expression du pouvoir méthanogène, ...). Au total, 22 acteurs ressources ont été interrogés.

**3<sup>ème</sup> : enquête auprès d'agri méthaniseurs.**

Pour trouver des agri-méthaniseurs ayant un retour d'expérience sur l'utilisation des résidus de culture, nous sommes partis de la base de données SEAMETHA<sup>3</sup> (dans laquelle les Agri-méthaniseurs renseignent la composition de leur ration) que nous avons croisé avec Opale<sup>4</sup>. Nous avons sélectionné dans différentes régions les unités qui utilisaient au moins 10% de résidus de culture. Le guide d'entretien utilisé figure en annexe 6. Sur les 26 installations retenues, après recherche ou interrogations, 10 utilisaient réellement des résidus de culture. 7 agriculteurs ont été disponibles sur la période pour répondre à l'enquête (5 dans le Grand Est, 1 en Ile de France et 1 dans les Hauts de France).

Nous avons synthétisé les éléments de l'étude bibliographique et les retours d'enquête dans les tableaux ci-dessous.

Remarque : compte tenu de l'importance des freins à la mobilisation des fanes de betteraves et de pommes de terre qui ont été cités lors des entretiens (notamment matériel de récolte non adapté, conditions météorologiques lors de la récolte souvent compliquées, risque fort d'indésirables : terre et cailloux, les fanes sont les seules MO qui restent au sol après la récolte, difficulté de conserver ces résidus très riche en eau, ...), nous n'avons pas étudié les conditions de leur mobilisation en méthanisation.

---

<sup>3</sup> Cf Glossaire et définitions

<sup>4</sup> Opale : Outil pour la Gestion des Aides Liées à l'Environnement

### 3.1. Les avantages à la mobilisation des résidus de culture en méthanisation

Types de résidus / Nature de l'avantage	Pailles	Menues Pailles	Cannes de maïs et tournesol
<b>Intérêts agronomiques</b>	Exporter les résidus facilite l'implantation de la culture suivante (résidus moins gênants pour le semis et la levée, possibilité de semis direct)		
		Eviter le retour au sol d'une partie des graines d'adventices récoltées (réduire le salissement de la parcelle et les coûts en intrants)	Limiter le développement de certaines maladies (fusarioses notamment)
			Limiter le développement des pyrales et limaces
			Dans certaines situations, limiter les excès d'azote liés à la décomposition des cannes Eviter les faims d'azote sur la culture suivante
<b>Intérêts économiques</b>	Exceptés les coûts de récolte et de transport, les résidus de culture sont des intrants « gratuits » (comparé à des CIVEs et du maïs ensilage)		
		Augmenter le rendement de paille produite (+ 1 à 1.3 t/Ha quand récolte MP sur l'andain). Valoriser une ressource existante à un prix proche des issues de silos.	
<b>Intérêts dans le « process de méthanisation »</b>	Simplicité de stockage		
	Bonne conservation au stockage		
	Pouvoir méthanogène intéressant		
	Ajouter de la paille aux fumiers en augmentant son % de matière sèche permet une meilleure conservation (limite l'activité microbienne et donc les pertes de potentiel méthane)	Granulométrie adaptée à la méthanisation	
<b>Intérêts sur les Bilans énergétiques et les émissions de GES</b>	Rendement du digesteur à l'échelle de l'exploitation fortement amélioré : l'énergie nécessaire à la production et à l'utilisation de cultures dédiées représente 44 % de l'énergie produite par le digesteur alors que celle du digesteur alimenté par des résidus de culture représente seulement 26 % de sa production d'énergie (Almansour, 2011 cité par INRAE Transfert en juil 2023).		
	Bilan GES amélioré (Résimétha): les émissions de GES ramenées à l'énergie produite diminuent en entrée méthaniseur (en sortie de méthaniseur, les émissions sont dépendantes des niveaux de rendement de méthanisation et de valorisation de l'énergie)		
<b>Intérêt à l'échelle du territoire</b>	Permet de garder la MO sur le territoire (plutôt que de vendre les pailles à l'étranger ou à d'autres régions)		
	Echanges résidus de culture contre digestat		

## 3.2. Les freins à la mobilisation des résidus

	Pailles	Menues Pailles	Cannes
<b>Freins Agronomiques</b>	Crainte de dégrader le taux de matière organique (MO) du sol		
	Risques augmentés de tassements des sols avec les passages supplémentaires d'engins pour la récolte et le chargement des résidus		
	Les résidus de culture jouent un rôle dans la protection des sols (limitent l'évaporation en été, améliorent l'infiltration et la portance en périodes pluvieuses, limitent l'érosion)		
	Les cannes de maïs broyées permettent réglementairement de déroger à l'implantation d'un couvert hivernal en zones vulnérables (implantation qui représente un surcoût et qui est souvent rendue difficile par les conditions climatiques)		
<b>Freins Techniques et Organisationnels</b>	La récolte et le transport demandent de la main d'œuvre supplémentaire à une période déjà tendue		
	Si la récolte et/ou le transport des résidus sont assurés par un prestataire, il souvent compliqué d'attendre son intervention avant de semer la culture suivante		
	Risque de départ d'incendie pendant le stockage		
	Stocker des pailles en grande quantité (sup. 1000m3) est plus contraignant (déclaration ICPE, distances bâtiments...)		
	Nécessite de la main d'œuvre pour préparer le substrat (enlever les ficelles, pré traitements...)	Matériels de récolte majoritairement peu adapté et qui ralentissent le chantier principal	Beaucoup de questions sur l'organisation du chantier de récolte (avec quels matériels, transport en balle ou en vrac, ...)
<b>Freins Economiques</b>	Compétitions d'usages (alimentation et litière animales, bio matériaux, énergie, agronomie)		
	Actuellement, plus-value limitée n'incitant pas les agriculteurs à mobiliser cette ressource		
	Matière peu dense donc chère à transporter		
	Produit donc la valeur marchande peut fortement varier du fait d'une ressource largement liée aux conditions météorologiques et des compétitions d'usages	L'adaptation d'un récupérateur représente un investissement (récupération de la menue paille avec dépôt sur l'andain : 20200€, caisson arrière de 10m3 : 58700€ en 2023)	

	Besoins diffus par rapport à d'autres demandes : pour un gros producteur (ou revendeur) de paille, il est plus facile d'exporter des camions entiers que de trouver plusieurs unités de méthanisation à approvisionner		
<b>Freins liés au process métha</b>	Taux de matière sèche important: nécessite des co-substrats « humides », de recirculation du digestat liquide ou apport d'eau		
	Risque de déséquilibres nutritionnels : C/N élevé (= déficit structurel en azote, élément nécessaire à la croissance des micro-organismes)		
	Substrats riches en lignine (limite la biodégradabilité) : nécessite prétraitement et temps dans le digesteur plus long (jusqu'à 90 jours)		
	Contraintes mécaniques pour l'introduction et l'agitation : problème de flottaison et croutage		
	Paille (tournesol notamment) : substrat riche en silice : provoque une usure accélérée des pièces métalliques		Cannes de maïs : usent beaucoup les couteaux et moteur du prémix
Présence de soufre dans les pailles de colza et moutarde			

### 3.3. Vue d'ensemble des enjeux de la mobilisation des résidus de culture

	Forces	Faiblesses
<b>A l'échelle de l'exploitation</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ressource disponible à l'échelle de l'exploitation (liée au rendement de la culture principale)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disponible à condition d'avoir respecté les usages prioritaires</li> <li>▪ Organisation des chantiers de récolte (couteux en matériel et en humain)</li> <li>▪ Nécessite d'investir dans des équipements de prétraitements et/ou d'augmenter le temps dans le digesteur</li> </ul>
	Opportunités	Menaces
<b>A l'échelle du territoire</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tendance à la diminution des élevages intensifs (moins de concurrence d'usage)</li> <li>▪ Le développement des CIVEs peut permettre d'introduire plus de résidus secs dans les méthaniseurs               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Utiliser les pailles dans les méthaniseurs (c'est-à-dire localement) permet d'éviter la perte de MO sur le territoire (vente des pailles inter régions voire internationale)</li> </ul> </li> <li>▪ La tendance à l'augmentation des surfaces en légumineuses (produits riches en azote)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les résidus sont peu denses donc couteux à transporter (mobilisation possible dans un rayon proche de l'unité de méthanisation : 20 km maximum).</li> <li>▪ La mobilisation des résidus est motivée par les prix de ces résidus (soumis à la concurrence des bio matériaux, des biocarburants de 2eme G, ...)</li> <li>▪ Dans l'avenir, disposera-t-on de suffisamment de main d'œuvre pour ramasser cette ressource ?</li> </ul>

Tableau 3 : Les enjeux de la mobilisation des résidus de culture à l'échelle de l'exploitation et du territoire

### 3.4 Quels leviers pour atténuer les principaux freins ?

Dans cette partie, nous allons étudier les principaux freins à l'utilisation des résidus de culture et questionner si ces freins sont de réels obstacles ou s'ils peuvent être levés et à quelles conditions tout en respectant les critères d'une mobilisation et d'une méthanisation durable.

- 1<sup>er</sup> frein : le risque d'altérer la qualité des sols (% MO, érosion, biodiversité, capacité rétention d'eau)

Une étude réalisée pour France Agrimer par GIE GAO en 2018 a recherché la fréquence de récolte des pailles pour le maintien de la fertilité des sols (par extraction pour chaque canton des principales successions et types de sol présents et analyse par les experts régionaux ARVALIS). Ils ont pu déterminer une fréquence d'exportation assurant un maintien de cette fertilité pour chaque couple type de sol / succession. Les moyennes d'exportation possibles par région sont présentées en annexe 7. La grande variabilité des résultats d'une région à l'autre (0% d'exportation de paille de céréales possible dans le Limousin 78% en Midi-Pyrénées) confirme qu'il est impossible de donner un % « national » d'exportation des résidus de culture sans risque de perte de fertilité des sols.

Dans la littérature, nous avons toutefois pu relever quelques grandes tendances :

- Plusieurs études ont indiqué qu'environ **40 à 70 % des résidus de culture ne devraient pas être collectés**, compte tenu de divers objectifs et prémisses de durabilité (Einarsson et Persson, 2017 ; Scarlat et al., 2019 ; Hansen et al., 2020).

- L'érosion du sol, le ruissellement de l'eau et la lixiviation d'éléments nutritifs, tels que l'azote et le potassium extractible du sol, sont modérés lorsque le **taux d'exportation des résidus de culture ne dépasse pas 30 %** (Battaglia et al., 2021). D'autres études ont montré qu'un taux d'exportation des **cannes de maïs ne dépassant pas 30 à 50 %** permettait de limiter l'érosion du sol (INRAe transfert).

Pour Solagro (étude Biomasse 2024), la part du retour au sol dépend du type de sol, du type d'assolement et du niveau de fertilisation organique. Sauf dans certaines situations (sols sableux, rotations avec pomme de terre et betterave), il est possible d'exporter entre 50 et 100 % des pailles en cas de retour au sol sur la parcelle (cas des litières et du digestat) et 30 % en moyenne en cas d'export sans retour au sol.

Concernant la biodiversité des sols, nous n'avons pas trouver d'études qui mesurent son évolution avec l'exportation des résidus de culture.

### ✓ Recommandations :

La capacité et les modalités d'exportation des pailles doivent être raisonnées à la parcelle en fonction du contexte pédoclimatique et des rotations culturales dans le but d'ajuster le taux de prélèvement au cas par cas. Selon leur nature, les sols présentent une stabilité structurale plus ou moins importante. Ainsi les sols argilo-calcaires et les sols bruns caillouteux, sols bien pourvus en argile (40%) et en matières organiques (2,5 à 3%), et avec une forte pierrosité (supérieure à 20%) supportent mieux des exportations répétées des résidus de culture. En revanche, les limons et limons sableux à basse teneur en MO et en argile présentent une faible stabilité structurale. L'apport régulier de matières organiques est alors indispensable pour maintenir un minimum de structure.

Pour une bonne gestion de l'état organique des sols à long terme, il est indispensable de réaliser un bilan humique ou d'utiliser un outil de simulation de l'évolution de l'état organique des sols sous l'effet des pratiques culturales et des conditions pédoclimatiques (outil SIMEOS-AMG).

Des mesures compensatoires sont également à envisager (introduction de cultures intermédiaires, réduction de la profondeur de travail du sol, retour au sol des digestats de méthanisation, ...).

### ➤ 2<sup>ème</sup> frein : intérêt économique limité voire surcoût

Le coût des résidus de culture a aussi bien été **cité plutôt comme un avantage que comme un frein** à leur utilisation. Pour essayer d'éclaircir ce point, nous avons comparé les coûts de différents intrants. Le tableau ci-dessous synthétise les coûts de production de 3 résidus de culture comparé à des CIVEs et un maïs ensilage. Les données sont issues de plusieurs sources (Inosys<sup>5</sup>, Barèmes d'entraide départementaux, étude Valocive<sup>6</sup>, étude VANA de France Agrimer, Arvalis, Chambres d'Agriculture et des agri méthaniseurs interrogés; pour les pouvoirs méthanogènes (étude Record 2022 et base de données Méthasim<sup>7</sup>). L'année de référence retenue est 2023 (les données de coûts de production antérieures ont été actualisées avec les indices IPAMPA des années correspondantes). Les coûts de production ont été calculés jusqu'au stockage, ils ne prennent pas en compte le coût des pré traitements avant l'introduction dans le méthaniseur. Pour les cannes de maïs, ils intègrent le broyage au moment de leur récolte.

---

<sup>5</sup> Inosys Réseaux d'élevage : association des Chambres d'agriculture et de l'Institut de l'élevage pour la production et la diffusion de références

<sup>6</sup> Valocive : projet CasDAR de valorisation de transfert et de capitalisation des connaissances Cf bibliographie

<sup>7</sup> Méthasim : outil d'aide à la décision pour la réalisation d'un pré diagnostic sur un projet de méthanisation, calculateur disponible sur internet

	Résidus de culture			CIVes		Maïs Ensilage
	Paille de blé	Menue Paille	Cannes de Maïs	CIVes Hiver	CIVes Eté	
Rendement moyen (T MB/Ha)	4	1,3	10	25	26	34
Taux de MS %	87%	90%	58%	30%	25%	35%
Rendement (T MS/Ha)	3,5	1,2	4,0	6,0	5,0	12,0
Coût de production rendu hangar/silo 2023 - € / T MB	54	68	40	28	24	39
Potentiel méthanogène ( Nm3 CH4/t MB)	181	211	84	84	71	116
Coût de l'intrant (€/Nm3 CH4)	0,301	0,323	0,471	0,330	0,339	0,332
Coût de l'intrant (€/MWh PCs)	28,5	30,6	44,7	31,3	32,1	31,5

Tableau 4 : Coûts de production de différents intrants en fonction de leur potentiel méthanogène (étude C. Pobel)

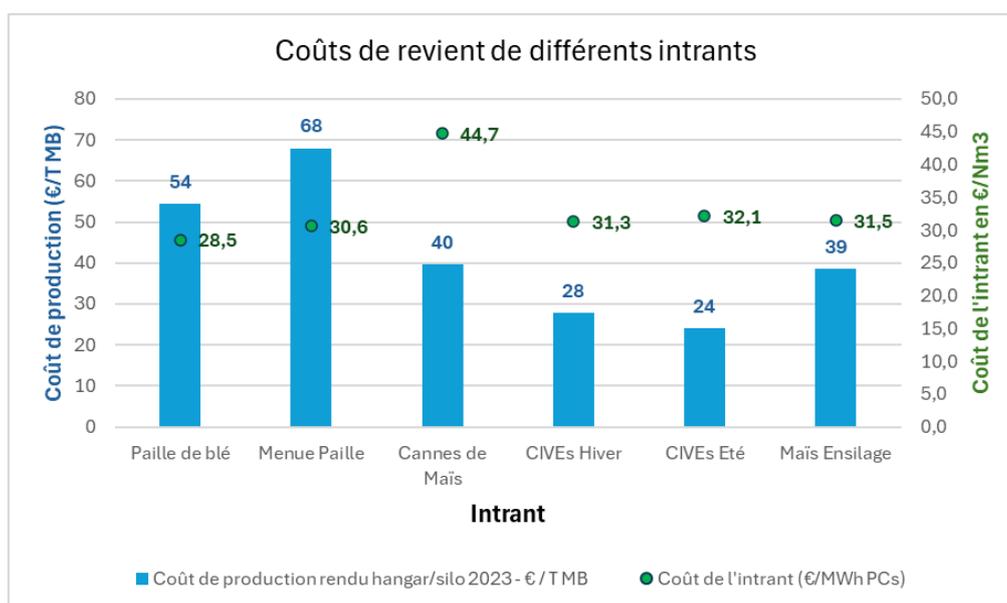


Figure 9 : Comparaison des coûts de production de différents intrants en fonction de leur potentiel méthanogène (étude C. Pobel)

Les coûts de production sont à analyser avec prudence : ils sont liés à des facteurs susceptibles d'évoluer significativement d'une exploitation à l'autre :

- Le rendement en résidus
- Le taux de matière sèche lors de la récolte,
- La distance de la parcelle au silo/hangar (ici, 7 km en moyenne),
- L'organisation du chantier de récolte (exemple : canne de maïs : ensileuse avec barre de coupe ou andaineuse puis autochargeuse, ...)

Nous n'avons pas intégré les réductions de charge liées au fait d'exporter les résidus (réduction des doses d'herbicide sur la culture suivant estimée à 30€/Ha dans le cas des menues pailles : réduction des travaux de préparation de sol).

**Excepté pour les cannes de maïs, les coûts des intrants en €/Nm3 sont relativement proches.** Ces couts sont calculés en fonction du pouvoir méthanogène théorique des intrants et comme nous l'avons vu, il est difficile d'exprimer le pouvoir méthanogène des intrants riches en lignocellulose. Notre analyse montre donc un léger surcoût des résidus de culture (excepté pour la menue paille dont le pouvoir méthanogène s'exprime plus facilement que pour les pailles) mais **la différence étant faible, il semble**

**intéressant d'actualiser ses coûts avec la situation de chaque exploitation** (rendement estimé, nature du matériel utilisé, distance des parcelles, taux d'expression du pouvoir méthanogène en fonction des pré traitements et du temps de séjour dans le digesteur...).

➤ **3<sup>ème</sup> facteur limitant : les limites stœchiométriques (taux de MS et C/N) en méthanisation infiniment mélangé**

Méthaniser des résidus comme les pailles de céréales est compliqué techniquement car il s'agit de matières lignocellulosiques, très sèches et à très fort rapport C/N. Leur valorisation par méthanisation suppose de pouvoir les mélanger à d'autres substrats, à C/N plus faible et à teneur en eau plus élevée.

Dans une étude de Malet, Pellerin et Nesme parue en juillet 2023 et repris dans BIOciges <sup>8</sup>, les auteurs ont mis en évidence que la généralisation des cultures intermédiaires avait comme co-bénéfice de permettre la valorisation d'une quantité plus importante de résidus de culture, en particulier de pailles, le mélange étant plus compatible avec le procédé de méthanisation. En effet, l'introduction des cultures intermédiaires, dont le rapport C/N et le taux de MS sont plus faibles que ceux des résidus de culture, permet de mobiliser ces derniers en quantités plus importantes par effet de dilution dans le mix de substrat. Ils ont pu identifier qu'actuellement seulement 24% du gisement de résidus de culture techniquement exploitable pourrait être valorisé (au-delà de ce seuil, le mix de substrats serait trop sec). Ce phénomène est surtout identifiable dans les régions orientées grandes cultures. La généralisation des cultures intermédiaires permettrait de valoriser une quantité plus importante de résidus de cultures (c'est-à-dire de valoriser jusqu'à 40% du gisement disponible contre 24% dans un scénario sans généralisation des cultures intermédiaires).

Parmi les agri-méthaniseurs interrogés, plusieurs utilisent des cannes de maïs (de 15 à 35% de leur ration) sans noter de problème particulier lors de la digestion. Les autres substrats peuvent être en partie liquide (lisiers) mais pas systématiquement (fumier équin très pailleux, ensilage, CIVES). Pour pallier le problème du taux de matière sèche, ils font recirculer le digestat liquide et un agri-méthaniseur utilise de l'eau de pluie. Nous pouvons également citer le cadre des suivis annuels d'unités de méthanisation par l'ADEME<sup>9</sup>, un site en Alsace qui en utilisait dans sa ration 18,5% de cannes de maïs avec une durée dans le digesteur de 69 j (155 j avec le post digesteur) et obtenait un taux d'expression du potentiel méthanogène (pour l'ensemble de ses intrants) de plus de 100% et un taux de dégradation de la matière organique des intrants de 70%.

Pour les projets de nouvelles unités qui pensent valoriser une partie importante de résidus de culture, le procédé en voie sèche continue permet de diminuer la contrainte du taux de matière sèche global de la ration et les problèmes de flottaison des pailles. En voie sèche à piston thermophile, d'après le Benoit Wernette, le directeur de Méthavos, 85 à 80% du PMB de la paille peut s'exprimer en 20 jours. Le coût d'investissement très élevé par rapport à la voie humide est le principal frein au développement de cette technologie.

---

<sup>8</sup> Biomasse des cultures intermédiaires : Quelles voies de valorisation pour quels potentiels d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre ? – Rapport final ADEME 2024

<sup>9</sup> « Suivi technique, économique, environnemental de 10 installations de méthanisation » par SOLAGRO, APESA, et AGROBIOMASSE pour le compte de l'ADEME, 2020.

➤ 4<sup>ème</sup> facteur limitant : la préparation du substrat pour exprimer son potentiel méthanogène et éliminer les problèmes de flottaison et croutage

Un document de l'Association RECORD publié en septembre 2022 (Stockage et prétraitements des intrants avant alimentation de digesteurs de méthanisation : état des connaissances et recommandations) issu du travail de bibliographie et de retours de terrain synthétise l'ensemble des données aujourd'hui à disposition sur les pré-traitements et le stockage de différents types d'intrants (déjections animales, biomasse végétale, biodéchets, boues urbaines...) concernant leurs objectifs, leurs caractéristiques, leurs performances ainsi qu'une mise en perspective des besoins de R&D. Afin d'améliorer la dégradabilité des résidus de culture, l'étude cite les prétraitements suivants :

Prétraitement	Description	Coût
<b>Broyage au broyeur à couteaux</b>	Coupe et cisaille la matière. Permet de faciliter l'introduction, le mélange, et de diminuer le temps nécessaire à la dégradation de la matière. Sécurise le fonctionnement des unités en limitant les bouchages, les phénomènes de croutage et les contraintes sur les pales des agitateurs en diminuant la viscosité du digestat.	Coût d'investissement : entre 70 k€ et 110 k€  Charges de maintenance et remplacement des couteaux : env. 5 k€/an  Charges liées à la consommation électrique : env. 2 k€/an pour un modèle 30 kW fonctionnant 3h/jour
<b>Le broyage au broyeur forestier déporté</b>	Système mobile, privilégié par certains exploitants qui ne souhaitent pas avoir de broyeur en ligne, pouvant pénaliser le fonctionnement de l'installation en cas de panne. Il est principalement utilisé pour le broyage de déchets verts. Il est aussi adapté sur certaines installations pour le broyage de fumier et de résidus de culture. Réputé particulièrement robuste, il n'est en revanche pas adapté pour les fumiers mous.	Coût d'investissement : entre 100 k€ et 150 k€  Charges de maintenance: 1,20 €/tonne traitée  Entretien pluriannuel coûteux : remplacement et réglage des couteaux et mise à l'arrêt du broyeur pendant plusieurs jours
<b>Broyage au broyeur à chaînes</b>	Adapté au broyage des matières fibreuses. Il peut notamment être utilisé pour le prétraitement du fumier pailleux, des ensilages, des déchets de fruits. Les cailloux présents dans les intrants sont désagrégés lors de leur passage dans le broyeur. Permet de protéger les pompes et prévient les bouchages du pendillard utilisé pour l'épandage du digestat. Les travaux réalisés dans le cadre du projet PAM financé par l'ADEME ont montré que les broyeurs à chaînes (avec les broyeurs à marteaux) étaient les plus efficaces pour déstructurer les fibres.	Coût d'investissement : 98 k€ pour 8 à 10 tonnes/h.  Charges de maintenance : environ 150 € tous les deux mois pour le changement de la paire de chaînes puis 2000 € tous les deux ans pour le changement de la toile de renfort en acier.

<p><b>Broyage au broyeur à marteaux</b></p>	<p>Traitement mécanique de la matière, que l'on retrouve principalement sur des unités traitant des matières complexes : fumiers pailleux, pailles de céréales, cannes de maïs, racines et radicelles, potirons entiers, etc. il est réputé plus efficace que le broyeur à couteaux pour les matières fibreuses et sèches. Il est généralement proposé pour des projets à des puissances plus élevées que pour le broyeur à couteaux. Les travaux réalisés dans le cadre du projet PAM financé par l'ADEME ont montré que les broyeurs à marteaux (avec les broyeurs à chaînes) étaient les plus efficaces pour déstructurer les fibres</p>	<p>Coût d'investissement : 100 k€ minimum</p> <p>Charges de maintenance et remplacement des marteaux et du rotor : env. 8-10 k€/an. Un marteau a un coût moyen de 175€.</p> <p>Charges liées à la consommation électrique : env. 15 k€/an pour un modèle 75 kW fonctionnant 8h/jour</p>
<p><b>La cavitation</b></p>	<p>Prétraitement physique (pompage/mise en dépression), pouvant être utilisé pour réduire la viscosité du digestat et améliorer la digestion de la matière pour les procédés infiniment mélangés., mise en place en recirculation sur le digesteur. Cette technologie est brevetée par Biobang et développée par la société Italienne THREE-ES Srl. Ses capacités de traitement s'étendent de 0,5 à 25m<sup>3</sup>/h. Elle permet de réduire la taille des particules des substrats et notamment de décomposer la lignocellulose.</p>	<p>Coût d'investissement : De 127 000€ pour une unité de 1,5 m<sup>3</sup>/h à 210 000€ pour une unité de 2,5 m<sup>3</sup>/h.</p> <p>Coûts de maintenance : de 2300 à 3000 €/an.</p>
<p><b>L'extrusion</b></p>	<p>Prétraitement mécanique de la matière. Deux vis hélicoïdales permettent d'éclater les cellules grâce à des contraintes répétées de pressions et à l'augmentation de la température de la matière. Cela améliore l'accessibilité de la matière et ainsi augmente la production de méthane. Le taux de matière sèche cible du produit à extruder est de 35% MS. Une dilution peut être réalisée avec du digestat par exemple.</p>	<p>Charges liées à la consommation électrique : 10kWh/tonne pour le traitement de 1,5 tonne/h.</p>
<p><b>Les prétraitements à ultrasons</b></p>	<p>Prétraitement physique pouvant être utilisé pour réduire la viscosité du digestat et améliorer la digestion de la matière pour les procédés infiniment mélangés. Il peut être mis en œuvre sur les boues d'épuration urbaine, ou sur les unités de méthanisation pour traiter des substrats fibreux et difficiles à dégrader tels que le fumier ou l'herbe. Il est généralement positionné sur une partie du digestat ou après le post digesteur avant renvoi dans le digesteur.</p>	<p>Coût d'investissement : environ 150 000 € pour un méthaniseur d'1MW.</p> <p>Charges liées à la consommation électrique : surproduction de l'ordre de 10%.</p>

<p><b>Les prétraitements par ajout d'enzymes ou de micro-organismes sélectionnés</b></p>	<p>Plusieurs mélanges enzymatiques sont disponibles dans le commerce pour des applications dédiées à la méthanisation. Le rapport coût/bénéfice est cependant encore trop élevé compte tenu des concentrations nécessaires pour observer un résultat. Ces enzymes ou micro-organismes peuvent être introduits en amont de la méthanisation au niveau du stockage, directement dans le digesteur, dans la fraction liquide du digestat remis en circulation, ou bien consister en une étape spécifique.</p>	<p>Peu de données accessibles sur leurs performances et leur coût à l'échelle industrielle</p>
--	--	--

## 4. Avis ADEME sur les projections et recommandations d'actions

### 4.1 AVIS sur les projections de mobilisation du gisement de résidus de culture

A l'issue de l'étude bibliographique et des entretiens menés auprès d'acteurs de la filière et d'agri-méthaniseurs, il apparaît clairement que les résidus de culture sont actuellement très peu mobilisés en méthanisation et qu'ils suscitent un intérêt grandissant. Les principales raisons de leur sous mobilisation sont (par ordre décroissant d'importance) :

- La disponibilité d'autres ressources agricoles et plus facilement mobilisables
- La crainte de dégrader la matière organique des sols.
- La nécessaire technicité pour pouvoir exprimer le pouvoir méthanogène de cette ressource.

Dans un contexte où :

- la filière méthanisation va continuer de se développer dans les territoires (12,2 TWh de biométhane de capacité d'injection fin mars 2024 ; objectifs de 44 TWh de biométhane en 2030 (et 50 avec tous les usages selon la SFEC16) et de 90 TWh en 2050 (moyenne des différents scénarios et études).

- la diminution des cheptels devrait se poursuivre (donc des besoins en paille pour la litière moins importante, qui permettraient de mettre à disposition davantage de résidus cultures tout en réduisant le volume de fumiers, et lisiers, valorisables),

- le rendement des CIVEs produites de manière durable est aléatoire, -

une tension sur la disponibilité des intrants pour la méthanisation dans les années à venir est fort probable.

L'utilisation accrue des résidus de culture est inévitable et souhaitable dans une certaine mesure. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, étant déjà présente sur l'exploitation, elle est peu coûteuse énergiquement à produire et relativement accessible. Les taux de mobilisation de la ressource sur pied les plus élevés (35% pour Solagro 2024 et 31% pour la moyenne des scénarios ADEME) semblent difficilement atteignables à l'échelle nationale mais certains contextes locaux pourraient remplir les conditions d'une mobilisation durable de résidus de culture de l'ordre de 25 à 30%. Ceci a pu être confirmé lors des enquêtes auprès des agri-méthaniseurs. Les résidus de culture qui présentent le plus d'intérêt sont les cannes de maïs, les menues pailles et les pailles de céréales. Il faut toutefois être vigilant à la variabilité de cette ressource (les rendements moyens annuels entre 2000 et 2018 ont varié de 39%) : dans un contexte d'évolution climatique, cette variation pourrait encore s'intensifier.

Pour l'ADEME, les **conditions d'une mobilisation durable des résidus de cultures sont les suivantes** :

- S'assurer de ne pas dégrader le taux de matière organique du sol (pour cela, réaliser un bilan humique afin de déterminer le taux d'exportation possible, retourner le digestat en priorité sur les parcelles concernées

- Récolter les résidus de culture uniquement lorsque les conditions pédoclimatiques le permettent,
- Recourir seulement aux résidus de cultures des agriculteurs partenaires du projet de méthanisation (pour garantir une circulation locale et raisonnable de la matière organique, et une stabilité du marché local),
- Respecter les priorités d'usage de la biomasse à l'échelle du territoire (cf Annexe 5).
- L'ADEME a fait paraître en décembre 2024 un cahier des charges « Etude agronomique dans le cadre d'un projet de méthanisation » afin d'apporter une analyse agronomique, technique et environnementale des évolutions des productions agricoles et des pratiques sur les exploitations agricoles contribuant à l'approvisionnement d'une unité de méthanisation. Cette analyse permet notamment de déterminer le potentiel de production de gisements agricoles tout en maintenant des pratiques agricoles cohérentes avec le système de production agricole (ex : autonomie fourragère, retour au sol) et durables (ex : optimisation de la fertilisation, gestion de l'eau). <https://geco-prod.kentikaas.com/Record.htm?record=19473989124912911619>.

## 4.2 Les actions possibles de l'ADEME pour soutenir la mobilisation durable des résidus de culture

Après avoir posé les conditions d'une mobilisation durable des résidus de culture, nous allons explorer des pistes d'action que l'ADEME pourrait conduire pour soutenir cette mobilisation. Ces propositions visent à réduire voire lever certaines contraintes techniques et économiques à l'utilisation des résidus de culture dans les méthaniseurs que nous avons identifiées dans la partie 2 de ce rapport.

### 1. Mettre en place des programmes d'actions

#### ➤ Sur l'organisation des chantiers de récolte, de conditionnement et de transport des résidus de culture

Le manque de références sur les thématiques d'organisation des chantiers de récolte, de conditionnement et de transport des résidus de culture a été soulevé à de nombreuses reprises lors de nos enquêtes après des techniciens et agri-méthaniseurs. La récolte des résidus intervient lors des périodes avec régulièrement de fortes contraintes climatiques et pendant laquelle la disponibilité en main d'œuvre est faible. Des essais comparatifs permettraient d'acquérir des références pour éclairer les choix d'organisation et d'optimisation des chantiers. Ces essais doivent être conduits à l'échelle territoriale car dépendants des contextes (pédoclimatiques, rotations des cultures, niveaux d'équipements individuels et collectifs).

Voici les problématiques qui pourraient être traitées :

- Quelle est la forme de récolte de la paille la plus adaptée pour une utilisation en méthanisation ?

*Exemple de questions posées lors des entretiens : « Faut-il récolter la paille sous forme de balles de haute densité (plus faciles à transporter et à stocker mais plus difficiles à réhydrater) ou faut-il ensiler les pailles avec des humidités plus élevées (moins compliqué lors de la réhydratation) mais plus contraignant dans*

leur transport et leur stockage. Existe-t-il des seuils à partir desquels il deviendrait plus intéressant d'utiliser un format de paille plutôt qu'un autre (distance à l'unité de méthanisation, capacités de stockage au sol, main d'œuvre disponible, ...) ?»

- Recherche d'optimisation du chantier de récolte des cannes de maïs.

Différentes techniques sont actuellement pratiquées (broyage direct des cannes avec un broyeur installé sous la coupe puis passage d'un andaineur et ramassage à l'autochargeuse ou en 2 temps : après la récolte des grains, soit passage de l'ensileuse et chargement direct dans des bennes soit broyeur-déchetteur et andaineur à tapis puis autochargeuse. Les agri-méthaniseurs qui souhaitent récolter une partie de leurs cannes de maïs disent manquer de références sur la technique à privilégier (coût, rythme, tassement des sols, qualité des cannes récoltées (taille, présence d'indésirables)).

### ➤ **Sur le machinisme :**

La menue paille est le résidu de culture qui présente un fort potentiel de développement en méthanisation à condition de pouvoir le récolter (très bon potentiel méthanogène, pas de pré traitement spécifique, 1 à 2t/ha, limite le stock de graines d'adventices sur la parcelle...).

Tous les agri-méthaniseurs interrogés qui utilisent déjà des résidus de culture souhaitent récolter la menue paille (pour alimenter leur méthaniseur mais aussi pour limiter le salissement des parcelles). Malgré leurs recherches, ils n'ont pas trouvé de matériel adapté à sa récolte. D'un côté, le caisson derrière la moissonneuse batteuse est jugé trop encombrant lors des marches arrière, trop lourd et réduisant beaucoup le rythme de la moissonneuse batteuse. De l'autre, selon eux, la récolte par aspiration est encore à l'état de prototype. Nous avons interrogé la Société Gyra qui commercialise une remorque aspiratrice de menue paille (Demet'Air) depuis plus de 5 ans. Pour son directeur commercial, le matériel est au point (une dizaine de machines sont actuellement utilisées). Un système de tôle inclinée permet de ne pas aspirer de corps étrangers, le matériel est maniable et adapté à la plupart des configurations de parcelles. C'est un investissement (environ 140 000€) mais il pourrait être intéressant de le comparer au système du caisson à installer à l'arrière de la moissonneuse batteuse qui réduit le rythme de récolte des grains (coût : 58 300€ en 2023).

Un banc d'essai sur la comparaison des matériels de récolte de menue paille (efficacité : rendements/ha, efficacité par rapport aux différentes espèces d'adventices) pourrait permettre d'acquérir plus de références et aider les agriculteurs dans leurs choix.

### ➤ **Soutenir un réseau d'unités de méthanisation pilotes qui souhaitent faire évoluer leurs pratiques en intégrant plus de résidus de culture dans leur ration**

Afin d'améliorer les connaissances, d'affiner les références technico-économiques et lever certains freins, il serait intéressant d'accompagner quelques unités de méthanisation qui souhaitent intégrer des résidus de culture dans leurs intrants. L'ADEME pourrait soutenir ce réseau de sites pilotes.

## 2. Renforcer la recherche et le développement

- Sur le passage à l'échelle industrielle de pré traitements pour améliorer l'expression du pouvoir méthanogène des pailles et cannes

Les pré traitements physiques des pailles semblent bien maîtrisés actuellement. Les prétraitements biologiques (notamment ajout d'enzymes ou de micro-organismes sélectionnés) sont encore mal connus (l'étude Record signale un manque de données accessibles sur leurs performances et leur coût à l'échelle industrielle). Cette catégorie de pré traitements pourrait permettre d'améliorer l'expression du pouvoir méthanogène des résidus de culture et éviter des investissements en matériel de pré traitements physiques coûteux et énergivores.

➤ Sur le matériel de récolte :

A l'issue du banc d'essai sur le matériel de récolte de menue paille, si le matériel actuellement disponible se confirme peu adapté et si des marges de progrès sont possibles, l'ADEME pourrait encourager une action de recherche et développement sur la mise au point du matériel de récolte de la menue paille (par exemple dans le cadre d'un AAP eXtrême Défi sur cette thématique)

### 3. Insister sur l'utilisation durable des résidus de culture dans les études préalables

Intégrer, lorsque c'est possible, des résidus de culture dans la ration de son méthaniseur doit pouvoir être réfléchi et décidé en amont du projet afin d'adapter au mieux les équipements de prétraitements. Lors de l'étude de faisabilité du projet, dans le cahier des charges proposé par l'ADEME, rajouter dans la partie « ETUDE DES RESSOURCES EN SUBSTRATS METHANISABLES », une partie sur les résidus de culture afin de permettre au porteur de projet de s'interroger sur cette ressource (en existe-t-il localement ? sont-ils mobilisables durablement ? à quelles conditions ? ...).

### 4. Soutenir l'acquisition d'équipements

Afin de réduire le coût de collecte et/ou de pré traitements liés aux résidus de culture, l'ADEME pourrait soutenir des achats collectifs (par les CUMA, ETA, autres collectifs agricoles) de matériels nécessaires soit à la récolte soit au pré traitement des résidus de culture.

Exemple de matériel dont l'achat pourrait être aidé :

- Matériel de récolte de menue paille,
- Broyeur mobile type broyeur rapide à bol pour broyage de paille, foin, maïs, ...

### 5. Conditionner les aides à l'investissement à la méthanisation

L'ADEME pourrait également proposer un bonus dans les aides financières « Réalisation d'installations de méthanisation (injection, cogénération, chaleur) ». En 2024, l'aide de l'ADEME est apportée principalement sous forme de forfait de subvention par unité de capacité de production annuelle (€/MWh) : 10 €/MWh PCI pour la cogénération, avec une aide plafonnée à 250 000 € et 45 €/MWh PCS pour l'injection, avec une aide plafonnée à 700 000 €. Si l'agri-méthaniseur s'engage à utiliser un certain % de résidus de culture dans sa ration (selon les conditions de durabilité définies en 3.1.), il pourrait obtenir **un bonus** sur ces forfaits de subvention.

### 6. Revaloriser le prix du biométhane pour ceux qui utilisent des résidus de culture

L'ADEME pourrait faire la recommandation de valoriser à travers la « Prime à l'intrant » du tarif d'achat réglementé, l'utilisation d'une proportion de résidus de culture dans la ration des méthaniseurs.

## 5. Conclusion

Cette étude a permis de mieux identifier le gisement de résidus de culture mobilisable en méthanisation à horizon 2050 ainsi que les freins et les leviers à leur mobilisation. Les résidus de culture sont une biomasse encore très peu utilisée dans les rations des méthaniseurs en raison de la quasi-absence de tensions sur les intrants qui n'incite pas les agri-méthaniseurs à mobiliser cette ressource plus difficilement accessible. Cette situation risque d'évoluer avec le développement de la méthanisation nécessaire à l'atteinte de nos objectifs d'un mix énergétique décarboné. La première partie de l'étude a permis de clarifier à travers la recherche des hypothèses et des taux de mobilisation pourquoi les différents scénarios et études diffèrent dans la part des résidus de culture qui contribuerait à la production de biogaz à horizon 2050. En effet, selon les hypothèses retenues, les résidus de culture pourraient contribuer entre 4% à 34% du potentiel de production de biogaz contre 6,4% en 2024. Il n'est pas possible de préciser l'évolution de ce taux car il dépend à la fois des arbitrages qui seront faits entre la séquestration du carbone dans les sols (donc la limitation de l'exportation des résidus de culture), les autres usages de ces résidus (notamment biomatériaux et énergétiques) et de notre capacité à lever certains freins à leur utilisation en méthanisation. Toutefois, compte tenu des contraintes agronomiques et techniques, un taux de mobilisation du gisement supérieur à 25% semble très ambitieux. La deuxième partie de l'étude a permis de caractériser à travers des enquêtes auprès de différents acteurs de la filière et d'agri-méthaniseurs les freins et les leviers à leur utilisation et d'explorer des pistes pour limiter ses freins. La dernière partie de l'étude propose une série d'actions que l'ADEME pourrait mettre en place pour accompagner la filière dans la levée de certains freins techniques et économiques à la mobilisation durable des résidus de culture.

# Liste des Abréviations

AB : Agriculture Biologique

CIVE : Culture Intermédiaire à Vocation Energétique

CGAAER : Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Territoires Ruraux

CGE : Conseil Général de l'Economie, de l'Industrie, de l'Energie et des Technologies

DGEC : Direction Générale de l'Energie et du Climat

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement.

FNCUMA : Fédération Nationale des Coopératives d'Utilisation de Matériel Agricole

GRDF : Gaz Réseau Distribution France

GRTgaz : Gestionnaire du Réseau de Transport de gaz

IDDRI : Institut du Développement Durable et des Relations Internationales

EIFER : Europäisches Institut Für Energieforschung

IGEDD : Inspection Générale de l'Environnement et du Développement Durable

INRAe : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

IPAMPA : Indice des Prix d'Achat des Moyens de Production Agricole

MASA : Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire

OPALE : Outil pour la Gestion des Aides Liées à l'Environnement

ONRB : Observatoire National des Ressources en Biomasse

SEAMETHA : Suivi d'Exploitation Annuel de METHANisation

SFEC : Stratégie Française pour l'Energie et le Climat

SNMB : Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse

WWF : World Wildlife Fund

# Références Bibliographiques

ADEME (2013). Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation - étude réalisée par SOLAGRO et INDDIGO.

ADEME (2017). Actualisation du scénario Energie Climat 2035-2050.

ADEME et GRDF (2018). Un mix de gaz 100 % renouvelable en 2050 ? Étude de faisabilité technico-économique, rapport de l'étude, janvier, 283 p.

ADEME, GRDF, GRTgaz (2018). Etude. Un mix de gaz 100% renouvelable en 2050 ?

ADEME (2018). ELBA : un outil de référence pour l'évaluation de ressource en Biomasse Agricole en France - Rapport final.

ADEME Expertises (2020). SAM Bonnes pratiques pour le stockage de matière avant méthanisation.

ADEME (2021). Expertise technico-économique d'unités de méthanisation en Nouvelle Aquitaine . Partage de bonnes pratiques issue de l'analyse du fonctionnement de 6 unités de méthanisation. S3D Ingénierie - Ideo Environnement.

ADEME (2022). Rapport Transition(s) 2050.

ADEME et Chambre d'agriculture (2022). PROdige : programme d'acquisition et de diffusion de références sur la méthanisation agricole. Analyse technico-économique de 84 unités de méthanisation agricole.

ADEME Expertises (2023). Sol et méthanisation.

ADEME (2023). Avis d'expert : La Méthanisation.

ADEME Expertises (2024). Biomasse des cultures intermédiaires (BIOCiGes) : Quelles voies de valorisation pour quels potentiels d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre ?

ADEME (2024). Avis d'expert : La biomasse : enjeu stratégique de la transition écologique.

AGRO-TRANSFERT Ressources et Territoires et ARVALIS Institut du Végétal (2008). Exporter des pailles sans risque pour l'état organique des sols, FRCA Picardie et COOPENERGIE Picardie.

AILE (2019). Conférence sur la méthanisation et la matière organique – Synthèse technique.

Agrosolutions, EIFER (2022). Evolution des systèmes agricoles en France : quels impacts sur la disponibilité et les flux de biomasse méthanisables.

Caquet T., Axelos M., Soussana J.-F., Martin E., Renault P., Augusto L., Baumont R., Bernet N., Constantin J., Fillaudeau L., Hamelin L., Korboulewsky N., Marron N., Nesme, T., Pellerin S. (2024). Enjeux agronomiques, techniques et économiques d'une mobilisation accrue des différents gisements de biomasse et de leur transformation en bioénergies. INRAE. <https://doi.org/10.17180/CVM4-AK69>.

Challet F., Fourny A. (2023). La biomasse : une énergie intermittente à horizon 2050 ? Mémoire de troisième année du Corps des Mines sur les usages de la biomasse provenant de l'agriculture et de la forêt.

Coarita Frenandez Helen Laura (2021). Thèse. Prétraitement des déchets agricoles pour l'optimisation de leur valorisation par méthanisation. Environnement et Société. Université de Lyon, 2021.

Couturier, C., Charru, M., Doublet, S., Pointereau, P., 2016. The Afterres2050 scenario 2016 version. Solagro Association.

DGEC (2020). Synthèse du scénario de référence de la stratégie française pour l'énergie et le climat (SFEC), Stratégie nationale bas carbone (SNBC) et Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE)

Esnouf A., Brockmann D., Cresson R. (2021) Analyse du cycle de vie du biométhane issu de ressources agricoles - Rapport d'ACV. INRAE Transfert, 170pp.

France Agrimer (2018). Réalisation d'une étude portant sur la fourniture de paramètres techniques permettant la quantification régionale de la production et de la valorisation des pailles. Etude réalisée par le GIE GAO.

FranceAgriMer (2022). Ressources en biomasse et méthanisation agricole : quelles disponibilités pour quels besoins ? - Analyse des données théoriques de l'ONRB.

FranceAgriMer (2023). Les retombées économiques des valorisations agricoles non alimentaires (VANA) pour les exploitations agricoles.

France Gaz Renouvelable (2021). Etude de la concurrence entre méthanisation et ressources fourragères.

France Nature Environnement (2021). Méthanisation : Etat des lieux des controverses.

France Stratégie : Mourjane, I., Fosse, J. (2021). La biomasse agricole : quelles ressources pour quel potentiel énergétique ?

GRTgaz – SER (2021). Panorama du gaz renouvelable en 2021.

Idele - Inosys, Chambre d'agriculture Cantal et Aveyron. Cout de production des fourrages et céréales. Conjoncture 2021.

INRA. (2019). Stocker du carbone dans les sols français : quel potentiel au regard de l'objectif 4p1000 et à quel coût? Synthèse du Rapport d'étude, INRA (France), August, 114.

INRAE transfert (2021). Analyse du Cycle de Vie du BIOMETHANE issu de ressources agricoles. RAPPORT D'ACV.

INRAE transfert (2023). Impacts environnementaux et enjeux technico-économiques et sociétaux associés à la mobilisation de biomasse agricole et forestière pour la production d'énergie en France à l'horizon 2050. Synthèse bibliographique.

INSP – Corps des Mines (2023). Quels leviers et moyens d'action pour anticiper et apporter une réponse aux conflits d'usages sur la biomasse ? Mission collective d'audit et/ou de conseil sur commande d'une administration.

Karan S.K., Hamelin L., 2021. Crop residues may be a key feedstock to bioeconomy but how reliable are current estimation methods? *Cité par INRAE dans Enjeux agronomiques, techniques et économiques d'une mobilisation accrue des différents gisements de biomasse et de leur transformation en bioénergies*

Malet N., Pellerin S., Nesme T. (2023). Agricultural biométhane production in France: a spatially-explicit estimate; Dans Renewable and sustainable Energy Reviews 185

Marsac S., Heredia M. et al. (2018), ELBA : un outil de référence pour l'évaluation de ressource en biomasse agricole en France, rapport d'expertise, ADEME/GAO/IFIP/Institut de

l'Élevage/ITAVI, mai, 33 p

Ministère de la Transition écologique (2018), Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse, 131 p

Mission interministérielle d'évaluation du potentiel de production d'énergies renouvelables à partir de la biomasse agricole et forestière française à l'horizon 2050 (2023)

NégaWatt Association, 2021. Le scénario en détail, in: Scénario NégaWatt 2022. p. 115.

ONRB (2020). Évaluation des ressources agricoles et agroalimentaires disponibles en France – édition 2020. ONRB, 89p.

Pellerin S., Bamière L. et al. (2019), Stocker du carbone dans les sols français. Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1 000 et à quel coût ?, rapport d'étude, INRA, 114 p.

Poux X., Aubert P.-M. et al. (2018), « Une Europe agroécologique en 2050: Une agriculture multifonctionnelle pour une alimentation saine », IDDRI Study, n° 09/18, septembre.

RECORD Association (2022) Stockage et prétraitements des intrants avant alimentation de digesteurs de méthanisation : état des connaissances et recommandations. RECORD 20-0420/1A

Secrétariat général à la planification écologique (2024). Bouclage biomasse : enjeux et orientations.

Solagro (2024). Quelles biomasses pour la transition énergétique ? Simon Métivier, Sylvaine Berger - Solagro

WWF et GRDF (2020), Méthanisation agricole. Quelles conditions de durabilité pour la filière en France ? 43p

WWF France (2022). Biomasse : un réel potentiel pour la transition énergétique ?

# Index des tableaux et figures

## FIGURES

Figure 1 Estimation de la proportion de chaque type d'intrants dans la ration annuelle des méthaniseurs. ....	9
Figure 2 : Schéma de la filière méthanisation en France au 31/12/2021 – Source : étude VANA FranceAgriMer..	10
Figure 3 : Démarche générale de quantification d'une biomasse .....	19
Figure 4 : Gisement brut de production de résidus de culture selon les scénarios (actuel, à 2030 et à 2050) ....	21
Figure 5 : Gisement de résidus de culture Mobilisable en Méthanisation (actuel, à 2030 et à 2050).....	21
Figure 6 : Potentiel de production de biogaz par les résidus de culture en méthanisation (actuel, à 2030 et à 2050) .....	23
Figure 7 : Synthèse des gisements et potentiels de production pour la moyenne des scénarios par auteur .....	24
Figure 8 : Part des résidus de culture dans la production de biogaz dans les différents scénarios .....	25
Figure 9 : Comparaison des coûts de production de différents intrants en fonction de leur potentiel méthanogène .....	33

## TABLEAUX

Tableau 1 : Production de biogaz issue de la méthanisation des résidus de culture (source : SNMB).....	11
Tableau 2 : ratios et coefficients utilisés pour le calcul du gisement dans les différents scénarios.....	22
Tableau 3 : Les enjeux de la mobilisation des résidus de culture à l'échelle de l'exploitation et du territoire .....	31
Tableau 4 : Coûts de production de différents intrants en fonction de leur potentiel méthanogène.....	33

# ANNEXES

Annexe 1 : La filière méthanisation française en quelques chiffres.

Annexe 2 : La stratégie française pour l'énergie et le climat

Annexe 3 : la Pyrogazéification : autre procédé de production de Biogaz en développement.

Annexe 4 : Description des commanditaires et auteurs des études et scénarios

Annexe 5 : Les usages prioritaires de la biomasse

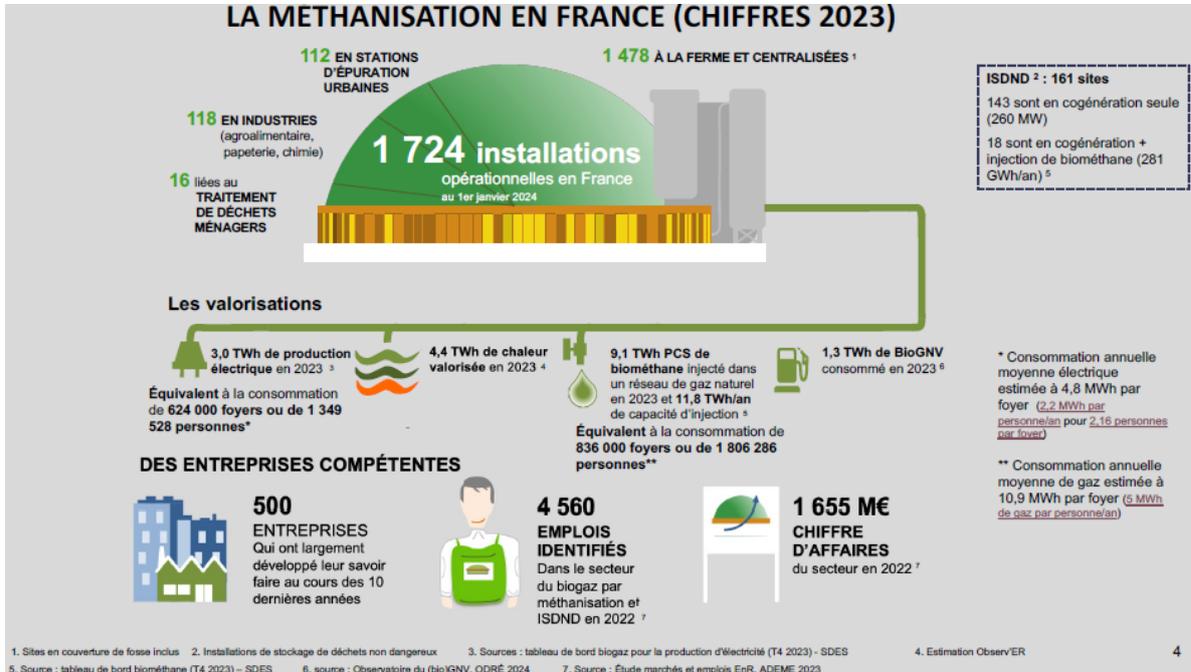
Annexe 6 : Guide d'entretien téléphonique pour les Agri Méthaniseurs

Annexe 7 : Fréquences par région de récolte des pailles pour le maintien de la fertilité des sols (étude du GIE GAO pour FranceAgriMer)

## ANNEXE 1

### La filière méthanisation française en quelques chiffres (au 31/12/2023)

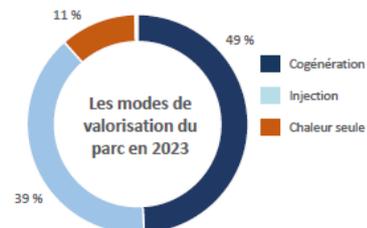
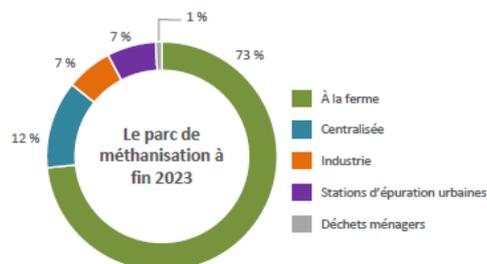
Source : base de données SINOE® mise en forme par Observ'ER



### Chiffres clés 2023 de la méthanisation en France

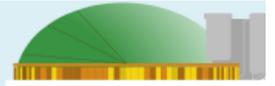
#### Nombre d'unités par typologie et mode de valorisation à fin 2023

	A la ferme	Centralisée	Industrie	Stations d'épuration urbaines	Déchets ménagers	Évolution en 2023	File d'attente des projets en injection au 31/03/24	858 sites pour 13,9 GWh de capacité de production <sup>1</sup>
Cogénération	717	67	19	36	11	850 + 16 unités	File d'attente des projets en prod. élec. au 31/03/24	95 sites pour 32 MW de puissance <sup>1</sup>
Injection	476	148	13	43	5	685 + 164 unités		
Chaleur seule	73	-	86	33	1	193 + 11 unités		
<b>Évolution en 2023</b>	<b>+ 131 unités</b>	<b>+ 41 unités</b>	<b>+ 5 unités</b>	<b>+ 14 unités</b>	<b>-</b>	<b>1 728* + 191 unités</b>		



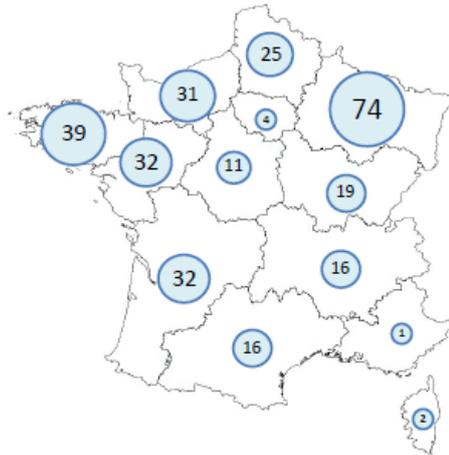
\* 4 sites font l'objet d'une double valorisation cogénération + injection<sup>1</sup> Source : tableau de bord biométhane (T1 2024) - SDES

## Le parc de méthanisation en France

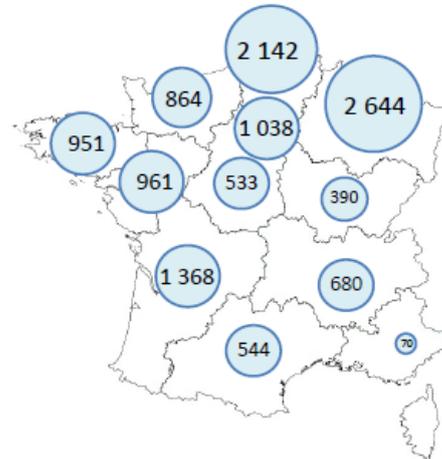


Les capacités en service dans les régions métropolitaines (chiffres au 31/3/2024)

Installations de méthanisation pour la production d'électricité (en MW)<sup>1</sup>



Capacité de production de biométhane (en GWh/an)<sup>2</sup>

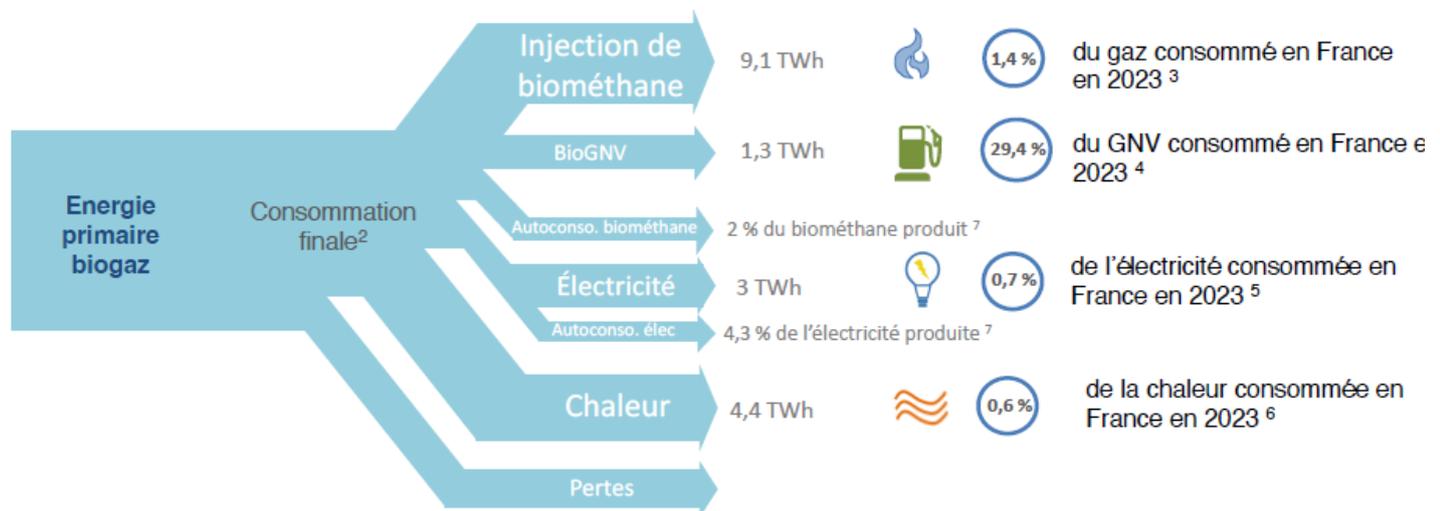


<sup>1</sup> Source : tableau de bord biogaz pour la production d'électricité (T1 2024) - SDES  
<sup>2</sup> Source : tableau de bord biométhane (T1 2024) - SDES

## Valorisation énergétique de la production biogaz



Bilan énergétique de la filière biogaz en 2023<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Ensemble des sites de méthanisation + ISDND (installations de stockage de déchets non dangereux)  
<sup>2</sup> Net de l'énergie consommée par la branche énergie pour ses usages propres et des pertes de transformation, de transport et de distribution.  
<sup>3</sup> Calcul OBSERVER d'après Bilan gaz 2023 et transition gazière, GRTgaz (2024)  
<sup>4</sup> Calcul OBSERVER d'après Observatoire du (bio)GNV, ODRE (2024)  
<sup>5</sup> Calcul OBSERVER d'après Bilan électrique France 2023, RTE (2024)  
<sup>6</sup> Calcul OBSERVER d'après chiffres clés des ENR en France, SDES (2023)  
<sup>7</sup> Source : rapport PRODIGE 2, ADEME (2022)

## ANNEXE 2

### La Stratégie Française pour l'Énergie et le Climat

La stratégie française sur l'énergie et le climat (SFEC) est la feuille de route actualisée et collective de la France pour atteindre la neutralité carbone en 2050 et assurer l'Adaptation de la société aux impacts du changement climatique. Elle s'inscrit dans le cadre de la planification écologique conduite sous l'égide du Premier Ministre. Elle est constituée :

- d'une première loi de programmation, qui doit être présentée en Conseil des Ministres début 2024 ;
- de la 3e édition de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) ;
- de la 3e édition du plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) ;
- de la 3e édition de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE).

La SFEC doit tenir compte de l'objectif européen de réduction de 55 % des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030, et de neutralité carbone en 2050, porté par le paquet climat « Fit for 55 ».

Plusieurs échéances structurent le calendrier d'actualisation de la stratégie française sur l'énergie et le climat. La toute première loi de programmation de l'énergie et du climat (LPEC) devrait être adoptée en 2023, à l'issue d'un débat parlementaire. Pour décliner cette loi, la SNBC et la PPE devront être mises à jour dans un délai d'un an suivant son adoption.

L'ampleur des travaux techniques et de concertation à mener conjointement pour concevoir une stratégie partagée par l'ensemble des acteurs de l'économie et de la société a conduit le Gouvernement à engager dès le second semestre 2021 les travaux d'élaboration de la SFEC.

L'élaboration de la future SFEC repose sur un important travail de modélisation (projection). Compte tenu de la relative proximité de l'échéance 2030 et de l'ambition très forte des nouveaux objectifs que la France devra se fixer, les travaux sont conduits dans l'optique de faire de la SFEC un outil de planification de la décarbonation. Un outil opérationnel, robuste et partagé, à même de donner aux différents acteurs une vision claire des actions à conduire et de sécuriser l'atteinte de nos objectifs climatiques.

Le calendrier d'élaboration de la SFEC est le suivant :

- Octobre 2021 : lancement des travaux d'élaboration de la Stratégie française sur l'énergie et le climat
- Du 2 novembre 2021 au 15 février 2022 : concertation publique volontaire sur les grandes orientations de la politique climatique
- Du 20 octobre 2022 au 22 janvier 2023 : concertation nationale sur le mix énergétique « Notre avenir énergétique se décide maintenant »
- 2023 : adoption de la première loi de programmation sur l'énergie et le climat (LPEC) à l'issue du débat parlementaire
- 2023-2024 : concertations préalables « réglementaires » sur la PPE et la SNBC à l'issue de l'adoption de la LPEC, consultations obligatoires (Conseil supérieur de l'énergie, Conseil national de la transition énergétique, consultation du public, etc.) sur les projets de PPE et de SNBC ;
- 2024 : adoption de la 3ème Stratégie nationale bas-carbone, de la 3ème Programmation pluriannuelle de l'énergie, et du 3ème Plan national d'adaptation au changement climatique.

## ANNEXE 3

### La Pyrogazéification : autre procédé de production de Biogaz en développement

La pyrogazéification consiste à chauffer les déchets à plus de 1000 degrés en présence d'une faible quantité d'oxygène, ce qui entraîne une décomposition des matériaux en gaz, en liquides et en déchets résiduels secs tels que le charbon. En dehors du résidu solide, l'ensemble du déchet est ainsi converti en gaz. La pyrogazéification correspond à la production de biométhane de 2e génération. Ce procédé viendra compléter celui de la méthanisation traditionnelle comme source de gaz vert, gaz renouvelable pouvant être utilisé dans les bâtiments ou en tant que carburant de véhicule. Les gaz produits par le pyrolyseur peuvent être utilisés comme alternative au gaz naturel, tandis que les liquides peuvent être utilisés comme carburants ou comme matières premières pour la production de produits chimiques. Le charbon produit par le pyrolyseur peut être utilisé comme combustible solide ou comme matière première pour la production de carbone actif. Les pyrolyseurs sont utilisés pour plusieurs raisons, notamment pour la valorisation des déchets, la production de biocarburants et de gaz de synthèse, la production de charbon de bois et la purification de produits chimiques.

Bien que la méthanisation soit plus répandue que la pyrogazéification en France, il existe des projets en cours pour développer cette technologie. En effet, la pyrogazéification est considérée comme une technologie prometteuse pour la valorisation des déchets et la production d'énergie renouvelable. Plusieurs projets pilotes et démonstrateurs ont été mis en place ces dernières années en France, notamment dans le domaine de la valorisation des déchets agricoles et forestiers. Par exemple, des projets de pyrogazéification de paille, de résidus forestiers et d'autres plantes sont en cours de développement.

Selon l'ADEME, le gisement potentiel "pyrogazéifiable" en 2050 respectant la primauté des usages matière s'élève à près de 200 TWhPCS. Compte tenu des besoins énergétiques projetés et des voies de valorisation énergétique des résidus (pyrogazéification, combustion, carburants liquides), **les scénarios de l'ADEME publiés récemment tablent en 2050 sur une production de méthane de synthèse par pyrogazéification allant jusqu'à 75 TWhPCS**. Ce potentiel est en effet atteint dans le scénario S3 "Technologies Vertes" qui donne une place prépondérante à la pyrogazéification notamment pour la valorisation des déchets non recyclables (13 Mt de CSR mobilisées). Dans ce scénario, 70% des intrants seraient des CSR, 25% du bois déchet et autres sous-produits du bois (produits connexes de scierie) et 5% des cultures lignocellulosiques (type miscanthus, dont l'usage répond bien aux critères de durabilité définis par la RED II). Il n'y aurait donc pas de résidus de culture utilisée dans cette voie de production de biogaz.

Dans l'étude sur la ressource en biomasse de Solagro parue en juillet 2024, 4.8 Mt de MS de résidus de culture pourraient être utilisés en pyrogazéification pour produire du biogaz.

## ANNEXE 4

### Description des commanditaires et auteurs des études et scénarios

**Agrosolutions** : cabinet de conseil spécialisé sur la transition environnementale de l'agriculture.

**Association Négawatt** : association à but non-lucratif créée en 2001 et dirigée par un collège de membres actifs, la Compagnie des négawatts, qui rassemble une vingtaine d'experts impliqués dans des activités professionnelles liées à l'énergie. Tous s'expriment et s'engagent à titre personnel au sein de l'association.

**La Mission interministérielle en charge du rapport d'Évaluation du potentiel de production d'énergies renouvelables à partir de la biomasse agricole et forestière française à l'horizon 2050 était composée de membres du :**

- Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux (CGAAER) : présidé par le ministre en charge de l'agriculture. Le CGAAER assure des missions de conseil, d'expertise, d'évaluation, d'audit et d'inspection, par exemple sur des questions stratégiques comme l'agro-écologie et la lutte contre le changement climatique, la gestion de crises de marché ou de crises sanitaires, l'appui à l'international.
- Conseil général de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies (CGE) : présidé par le ministre de l'Économie et des Finances, est chargé de missions permanentes d'inspection des services déconcentrés et d'établissements publics dont la liste est fixée par les ministres concernés..
- L'Inspection générale de l'environnement et du développement durable (IGEDD) conseille le Gouvernement sur la transition écologique et énergétique, l'urbanisme, le logement, les mobilités, l'eau, la biodiversité...

**EIFER** (Europäisches Institut für Energieforschung) : groupement européen d'intérêt économique (GEIE) entre le KIT (Karlsruhe Institute of Technology - Université de Karlsruhe) et EDF fondé en 2002. EIFER est un institut de recherche pluridisciplinaire à but non lucratif, orienté vers la recherche appliquée, qui travaille au développement de systèmes énergétiques durables.

**FranceAgriMer** (établissement public administratif placé sous la tutelle du ministère en charge de l'agriculture, lieu d'information, d'échanges, de réflexions stratégiques, d'arbitrage et de gestion pour les filières françaises de l'agriculture et de la pêche, rassemblées au sein d'un même établissement).

**France Stratégie** (auteurs : Mourjane et Fosse) : institution autonome placée auprès du Premier ministre, France Stratégie contribue à l'action publique par ses analyses et ses propositions. Elle anime le débat public et éclaire les choix collectifs sur les enjeux sociaux, économiques et environnementaux. Elle produit également des évaluations de politiques publiques à la demande du gouvernement.

**Indiggo** : société de conseil et d'ingénierie en développement durable.

**INRAE** : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement est né le 1er janvier 2020 de la fusion entre l'Inra, Institut national de la recherche agronomique et Irstea, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture.

**Solagro** : entreprise associative d'accompagnement de réalisations (études et assistance à maîtrise d'ouvrage), de prospective, formation et recherche et de développement pour accélérer les transitions énergétique, climatique, agroécologique et alimentaire.

## ANNEXE 5

### Les priorités d'usages de la biomasse ou principe d'utilisation en cascade de la biomasse

Ce principe a été demandé par la Commission européenne aux Etats membres lors de la troisième itération de la directive européenne sur les énergies renouvelables (RED III) et ce, afin de ne réserver sa valorisation énergétique qu'en dernier recours. La hiérarchisation des usages de la biomasse demeure l'un des axes de travail du Secrétariat général à la planification écologique (SGPE) et doit être établi dans la prochaine révision de la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC). La liste des priorités préconisées par l'ADEME comprend, dans l'ordre : les usages alimentaires (animaux et humains), puis environnementaux (fertilité des sols et qualité des milieux), matériaux à longue durée de vie (construction bois) et, enfin, énergétiques sans autre alternative renouvelable (chaleur fatale, géothermie, solaire, etc.). En bout de chaîne, « le recours à la biomasse pour la production de biocarburants est possible mais ne peut être envisagé sans réflexion sur la sobriété et, par conséquent, une réduction importante des besoins ». Dans la SFEC 16 : p 88.



Secrétariat général à la planification écologique

### La contrainte sur la ressource conduit à prioriser les différents usages de la biomasse, en proposant une forme de merit-order

Usages à considérer en priorité	Raisonnement et sous-conditions	Développement à modérer
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentation humaine</li> <li>• Alimentation animale</li> <li>• Puits de carbone – produits bois et forêts</li> <li>• Fertilité des sols (retour au sol des résidus et couverts)</li> <li>• Industrie – chaleur haute °C et non-énergétiques</li> <li>• Réseaux de chaleur</li> <li>• Consommations énergétiques de l'agriculture, et de la filière forêt-bois</li> <li>• Engins lourds de chantier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trafic aérien (domestique et international)</li> <li>• Soutes maritimes</li> <li>• Transports – PL, bus et cars, et transport fluvial et ferroviaire</li> <li>• Transport – véhicules légers</li> <li>• Industrie – chaleur basse température</li> <li>• Résidentiel et tertiaire –biomasse solide pour chauffage et ECS performants</li> <li>• Production d'électricité Outre-mer (Mayotte, Guyane, Corse)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production d'électricité</li> <li>• Résidentiel et tertiaire – chauffage et ECS non performants</li> </ul>

A interpréter avec un certain recul : les usages « prioritaires » doivent participer aux efforts en priorisant l'efficacité énergétique et les sources alternatives lorsqu'elles sont disponibles (cf. démarche ENR'Choix mise en place pour le fonds chaleur par exemple). A l'inverse, il ne s'agit pas d'interdire toute utilisation de biomasse pour les usages moins prioritaires. Il faut par ailleurs se poser la question de comment mieux aligner les politiques publiques avec cette orientation, pour la rendre opérationnelle.

## Annexe 6

### GUIDE D'ENTRETIEN téléphonique à destination des Agri Méthaniseurs

Thématique	Questions
<b>Généralité sur l'exploitation et l'unité de Métha</b>  <i>Infos récupérées avant :</i>	Raison sociale : Adresse : Responsable juridique / technique : Tel : Site de production : 1ere année d'exploitation : Mode de valo et puissance : Type de technologie (infiniment mélangé, voie sèche...) Seul ou associé :
<b>Plan d'appro</b>	Tonnage total annuel : Quels sont les produits utilisés et leur proportion ?
<b>L'utilisation des résidus de culture</b>	Par résidu utilisé (cf question ci-dessus) : Depuis combien de temps ? Gisement annuel (ou d'opportunité) ? D'où vient-il ? Est-il utilisé toute l'année ?
<b>Organisation du chantier de récolte des résidus</b>	Par vous-même ou entreprise ? Quel matériel ? Quelle organisation ? en même temps que récolte principale ou différé Avez-vous évalué le temps supplémentaire à l'hectare ou le coût ? Difficultés rencontrées lors de cette étape ?
<b>Transport</b>	Comment le résidu est transporté jusqu'au lieu de stockage ? Quelle distance y a-t-il à parcourir entre le lieu de récolte et le lieu de valorisation (km) - moyenne ? - maximale ?
<b>Conditions de stockage</b>	Quel est le volume stocké ? Quelles sont les conditions de stockage ? Y a-t-il des points de vigilance au moment du stockage ? Quelle est la durée maximale du stockage ? Avez-vous noté une évolution pendant le stockage ?
<b>Mode d'incorporation dans le métha</b>	A quel % est-il incorporé dans la ration ? Est-il utilisé toute l'année ? Y a-t-il des pré traitements avant incorporation ? Lesquels ?

	<p>Faites-vous des analyses sur ce produit ?</p> <p>Etes -vous satisfait de l'expression du pouvoir méthanogène ?</p> <p>Y a-t-il des points de vigilance lors de la métha ?</p> <p>Temps moyen dans le digesteur (et post digesteur) ?</p>
<b>Notions économiques</b>	<p>Connaissez-vous votre coût de ration moyen ?</p> <p>Connaissez-vous le coût de production de la ressource « résidus de culture » (récolte + transport) ?</p>
<b>Contraintes agronomiques à utiliser ce résidus</b>	<p>Par rapport à l'évolution de la matière organique ?</p> <p>Autres observations...</p>
<b>Conclusion</b>	<p>Voyez-vous d'autres difficultés à l'utilisation des RC ?</p> <p>Quels sont les intérêts pour vous à utiliser les RC ?</p> <p>Note / 5 :</p> <p>Praticité d'approvisionnement :</p> <p>Intérêt économique :</p> <p>Intérêt technique :</p> <p>Souhaiteriez-vous utiliser d'autres résidus ?</p> <p>Si oui, quels sont les freins ?</p>

## ANNEXE 7

### Fréquences par région de récolte des pailles pour le maintien de la fertilité des sols

Source : Etude réalisée pour FranceAgriMer par GIE GAO en octobre 2018 : « Réalisation d'une étude portant sur la fourniture de paramètres techniques permettant la quantification régionale de la production et de la valorisation des pailles ». Tableau figurant en p9 et 10 de l'étude.

Tableau 6 : Fréquence de récolte des pailles sans impact sur la fertilité des sols -Ces fréquences régionales couvrent de très fortes variations locales qui doivent être prises en compte localement

REGION	Céréales à Paille	Maïs Grain	Colza	Tournesol	Protéagineux	Toutes cultures
ALSACE	32%	23%	32%	40%	20%	26%
AQUITAINE	53%	44%	55%	52%	48%	47%
AUVERGNE	29%	27%	27%	29%	27%	29%
BASSE-NORMANDIE	26%	20%	24%	27%	28%	26%
BOURGOGNE	22%	13%	22%	20%	23%	22%
BRETAGNE	32%	31%	32%	33%	32%	32%
CENTRE	24%	23%	22%	24%	24%	23%
CHAMPAGNE-ARDENNE	36%	32%	34%	36%	39%	36%
CORSE	0%	0%	0%	0%	0%	0%
FRANCHE-COMTE	13%	9%	11%	8%	12%	12%
HAUTE-NORMANDIE	16%	12%	15%	0%	15%	15%
ILE-DE-FRANCE	10%	2%	9%	16%	14%	9%
LANGUEDOC-ROUSSILLON	39%	28%	64%	78%	65%	47%
LIMOUSIN	0%	0%	0%	0%	0%	0%
LORRAINE	33%	33%	33%	33%	33%	33%
MIDI-PYRENEES	78%	67%	81%	86%	83%	78%
NORD-PAS-DE-CALAIS	12%	11%	11%	18%	11%	12%
PAYS-DE-LOIRE	23%	29%	24%	33%	25%	25%
PICARDIE	18%	17%	18%	23%	20%	18%
POITOU-CHARENTE	44%	43%	42%	46%	56%	44%
PROVENCE-ALPES-COTE-D'AZUR	4%	7%	4%	10%	2%	4%
RHONE-ALPES	29%	30%	31%	31%	30%	29%

## L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, du ministère de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

### LES COLLECTIONS DE L'ADEME



#### FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



#### CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



#### ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



#### EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



#### HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.