



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



FranceAgriMer

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

LES
ÉTUDES

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

Fiche



FICHE DE SYNTHÈSE

« RÉSIDUS DE CULTURES »

HORS PAILLES DE CÉRÉALES

Production de la ressource

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

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



Nota : Cette fiche ne traite que des résidus de maïs, des oléagineux et des grandes cultures de maraîchage¹.

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

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

¹ Pour les pailles de céréales, il sera utile de se reporter à l’étude suivante : « Réalisation d’une étude portant sur la fourniture de paramètres techniques permettant la quantification régionale de la production et de la valorisation des pailles » - FranceAgriMer, 2018

Technique de collecte

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

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

Cannes de maïs

Il existe plusieurs retours d'expérience d'agriculteurs mettant en œuvre la collecte de cannes de maïs pour alimenter des méthaniseurs notamment².

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

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

Cannes de tournesol

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

Le GIEE Opération Soleil, par exemple, a réalisé des recherches sur le développement pour la création d'une filière éco-matériaux, dont les retours d'expérience ne sont pas assez variés à ce jour pour conclure à la meilleure méthode de collecte. Contrairement aux récoltes des céréales à paille, ces techniques multiplient les passages et abaissent, par leur coût, le seuil économique de récoltabilité. Ce dernier est fixé à 2 tMS/ha.

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

Pailles de Colza

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

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

Les menues-paille de colza peuvent également être récupérées (1,5 tMS/ha) comme sur les pailles de céréales.³

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

² Suivi ADEME du méthaniseur Methachrist mobilisant des cannes de maïs dans sa ration : <https://bibliothèque.ademe.fr/produire-autrement/4078-suivi-technique-economique-et-social-de-10-installations-de-methanisation-2020.html> (ADEME 2020)

³ https://www.perspectives-agricoles.com/sites/default/files/imported_files/423_3123335054392632415.pdf

Fanes de betteraves

Les fanes de betteraves sont des feuilles assez fraîches, autour de 15%MS seulement.

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

Les fanes de pommes de terre

Les fanes de pommes de terre ont une teneur en MS plus élevée que les fanes de betterave (25 %MS). Elles sont donc éventuellement stockables en ensilage comme une CIVE mais avec récupération de jus.

L'itinéraire technique le plus classique sur les pommes de terre, hors primeurs, est le défanage chimique ou thermique, ce qui implique que 100% des fanes restent au sol actuellement, et qu'aucune partie de la plante puisse être récoltée hormis les tubercules.⁴

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

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

Usage actuel

Actuellement, l'essentiel de ces résidus est laissé sur place et n'est donc pas récolté.

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

L'étude des derniers bilans de fonctionnement des unités de méthanisation fournis par les DREAL conclut à une utilisation a minima⁵ de 300 000 tMB de résidus de culture, incluant les pailles de céréales, en 2021.

Des expérimentations et recherches existent sur des valorisations en tant qu'éco-matériaux ou en tant que litière. Il est possible de citer en exemple le GIEE « Opération Soleil » en Centre Val de Loire qui vise à créer une filière d'isolants à partir de tiges de tournesol. Il existe également des exploitations agricoles qui utilisent de la paille de colza en litière⁶.

Conditions de mobilisation

La pertinence de la récolte

La collecte des résidus de culture, pour une valorisation avec retour au sol sous forme de fumier ou de digestat, doit permettre de préserver les qualités agronomiques de la parcelle. Pour cela, le taux de prélèvement ne doit pas être trop élevé. On estime qu'au moins la moitié de la partie aérienne des cultures hors grain doit revenir au sol sous forme fraîche afin de nourrir les micro-organismes du sol.⁷

⁴ <https://www.arvalis.fr/infos-techniques/plusieurs-techniques-possibles-pour-defaner-les-pommes-de-terre>

⁵ En effet, les régions PACA, Occitanie, et Hauts-de-France n'ont pas publié leurs bilans de fonctionnement

⁶ INOSYS, 2020 – Le poste « paille »

⁷ Ce ratio est guidé par les résultats de la thèse en cours de validation et qui semble indiquer que 50% des territoires pourraient méthaniser 100% de leurs résidus de culture sans dommage, du fait du retour au sol du digestat. Sans possibilité de travailler à la parcelle dans cette étude, nous avons retenu le ratio prudent d'un retour au sol de matière fraîche de 60%. « Le rôle des résidus agricoles dans des stratégies de bioéconomie durables et comment le retour de carbone aux sols conditionne la performance environnementale de ses stratégies » Christel Andrade Diaz . <https://www.theses.fr/s253310>

S'assurer de la possibilité technique d'une valorisation

Les techniques de collecte n'étant pas encore éprouvées et pouvant différer suivant les exploitations, la diffusion de bonnes pratiques quant aux moyens de collecter ces résidus sera nécessaire pour une mobilisation de plus grande ampleur de cette ressource. C'est le cas des fanes de betteraves qui selon les acteurs de la filière betterave ne sont pas récoltables actuellement. C'est une contrainte à prendre en compte dans l'exploitation du méthaniseur, lors de l'estimation de la ressource locale méthanisable.

Au-delà de la technique de récolte qui reste à affiner, la mobilisation de cette ressource en résidus de culture tient en premier lieu à la possibilité de valoriser cette ressource. Or, l'inclusion de ces ressources dans la ration d'un méthaniseur doit être étudiée précisément afin de ne pas dépasser les limites de fonctionnement de la technologie de digestion employée, en termes de teneur en matière sèche notamment. En effet, ces résidus de culture ont une teneur en matière sèche autour de 80%MS. Il existe donc un tonnage maximum à ne pas dépasser dans la ration d'un méthaniseur.⁸

Seules les fanes de betteraves et de pommes de terre seraient récoltées à 15 % en moyenne, ce qui est trop humide pour un stockage et une conservation en ensilage. Elles doivent donc être incorporés directement dans le méthaniseur.

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

La valorisation doit être économiquement intéressante. Toutes ces ressources ont un potentiel méthanogène intéressant, compris entre 150 et 300 Nm³CH₄/tMS, exceptée la paille de colza, trop ligneuse, qui a un BMP 3 à 4 fois moins important (entre 50 et 100 Nm³ CH₄/tMS)⁹. Ces ressources, excepté le colza, sont donc très intéressantes pour la production de biogaz.

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

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

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

Une mobilisation facilitée par l'implantation des CIVE

La DRAAF Centre Val de Loire, dans son Schéma Régional Biomasse, précise que « réglementairement en zones vulnérables, les cannes de maïs doivent être broyées et enfouies afin d'assurer un couvert lors d'intercultures longues »¹⁰ Cette disposition n'est plus nécessaire si l'exploitant agricole implante des couverts végétaux durant cette période.

⁸ A titre d'exemple, pour une digestion en infini mélangé, qui est la technologie la plus répandue en digestion, et une ration 100% CIVE, cela implique de ne pas dépasser 10% de paille dans la ration. Ce ratio monte à 37% pour une digestion en voie solide continue (piston) - Modélisation METHIS Solagro

⁹ Base de données de BMP interne Solagro. Pas de références en tige de tournesol ni en paille de soja.

¹⁰ Arrêté du 19 décembre 2011 relatif au programme d'actions national à mettre en œuvre dans les zones vulnérables afin de réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole et arrêté du 30 janvier 2023 relatif au programme d'action national « nitrates, chapitre VII 2° : obligation de couverture du sol pour les intercultures longues »

Également, il a été montré que les rations de méthaniseur comportant des CIVE permettent d'intégrer de plus grandes quantités de résidus de culture tout en respectant les caractéristiques d'une bonne digestion (rapport C/N et %MS).¹¹

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

Impacts de l'export pour un usage méthanisation

Thématique	Impacts
Biodiversité	Un taux suffisant de retour au sol de résidus frais doit être maintenu pour assurer une diversité suffisante des micro-organismes du sol.
Eau	Nécessite une vigilance pour les résidus récoltés avant l'été (Colza), concernant l'évaporation en eau du fait d'une moindre couverture des sols.
Potentiel agronomique de la parcelle	Conservé voir amélioré si résidus de cultures laissés au sol pour moitié et retour de digestat et/ou des fumiers. Dans le cas d'une récupération des menues pailles, les graines d'adventices qui restent au sol sont moins nombreuses.
Temps de travail	La récolte des résidus de culture nécessite un temps de travail supplémentaire (plus ou moins important selon la situation de référence). Il faudra par contre dans tous les cas passer un broyeur ou un rouleau et déchaumeur sur la parcelle avant l'implantation de la culture suivante. Nécessite de bien prévoir le calendrier des travaux car les délais sont courts pour implanter une CIVE ensuite.
Unité de méthanisation	Nécessite un broyage de qualité : les brins trop longs vont former une croûte sur le digesteur. Améliore le bilan énergétique de l'unité grâce au pouvoir méthanogène Technique de récolte très variable selon le type de sol : <ul style="list-style-type: none"> - Fauchage + andaineur à tapis + remorque autochargeuse (hauteur de coupe élevée – grosse quantité de chaume laissée au sol), - Cueilleur à maïs qui fait l'andain puis autochargeuse. - Broyeur andaineur + autochargeuse Nécessite une vigilance sur : <ul style="list-style-type: none"> - les indésirables et la qualité des pailles livrées (cailloux) - le soufre contenu dans les pailles de Colza¹² - le taux de matière sèche - les techniques et volumes de stockage.
Économique	Pour la canne de maïs, qui est le principal résidu de culture valorisé à ce jour en méthanisation, plusieurs retours donnent des conditions économiques de mobilisation et d'achat par la méthanisation assez variable : <ul style="list-style-type: none"> - certains considèrent que le coût de récolte n'est pas plus élevé qu'un broyage classique au sol, seul le coût de transport vers la méthanisation est à ajouter, d'autres estiment le coût de récolte supplémentaire à 8 €/tMS - le prix moyen d'achat par la méthanisation est de 35 €/tMS, pour un rayon de collecte de 10 km en moyenne – avec parfois une base

¹¹ N. Mallet, S. Pellerin, T. Nesme – (INARE, ADEME) - Agricultural biomethane production in France : a spatially-explicit estimate

¹² ADEME 2014 – S3D, APESA – Biologie des digesteurs

	d'échange supplémentaire de 2 t de digestat par tonne de canne récoltée.
--	--

Estimation du potentiel

Les résidus de cultures ont été estimés à partir du rendement grain et des indices de récolte du CITEPA. Ces ratios donnent pour chaque culture la masse de la partie aérienne de la plante par rapport à la masse du grain. Ensuite, l'indice « PSS » de l'outil SIMEOS-AMG a été appliqué pour retrancher la partie restant toujours au sol (chaumes, collets).

Il a été décidé que seuls 60% de ces résidus de cultures seraient mobilisés pour la méthanisation de façon à ce que, au bilan national et les litières prises en compte concernant les pailles de céréales, plus de la moitié de la partie aérienne des cultures (hors grain) retourne au sol de façon brute. Pour des raisons économiques, on estime que les résidus de culture ne pourront pas être récoltés à moins de 2tMS/ha.

Tableau 1 Résultat des estimations

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

*** Mobilisation possible dès aujourd'hui sans difficultés

** Mobilisation avec contraintes non négligeables

* Difficilement mobilisable

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

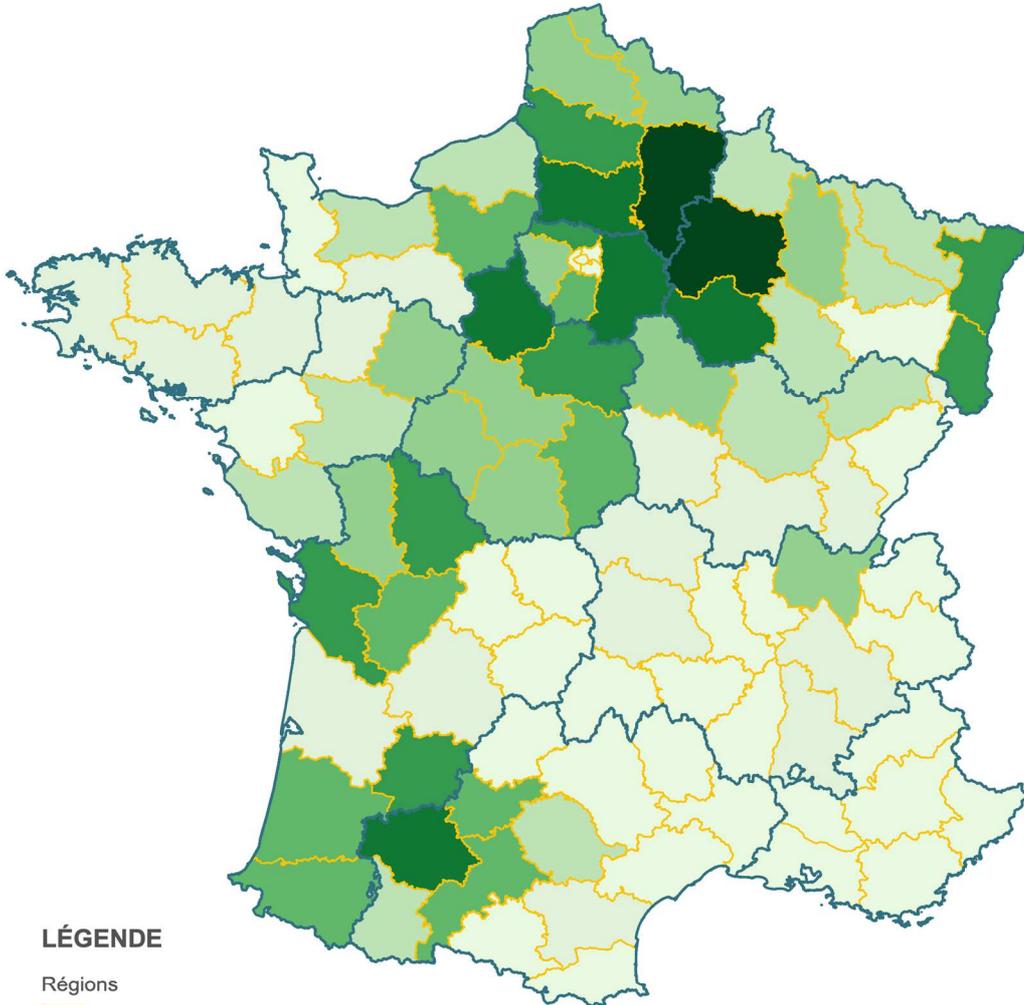
Les rendements semblent tous dépasser les 2tMS/ha donc ce critère ne permet pas d'éliminer une ressource en particulier, néanmoins les fanes de pommes de terre semblent proches de cette limite et ce point serait à approfondir.

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

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



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



LÉGENDE

Régions

□ Départements

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

□ 0 - 7

□ 7 - 15

□ 15 - 22

□ 22 - 29

□ 29 - 37

□ 37 - 44

□ 44 - 51

□ 51 - 59

Réalisation :
Solagro - juillet 2024

LES ÉTUDES



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

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

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

 FranceAgriMer
 @FranceAgriMerFR