

Zeitschrift: Technique agricole Suisse
Herausgeber: Technique agricole Suisse
Band: 83 (2021)
Heft: 3

Artikel: Énergie ou humus?
Autor: Hunger, Ruedi
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1086540>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 05.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Ce sont près de 16'000 hectares de maïs-grain qui ont été récoltés en Suisse en 2019. Photo: Ruedi Hunger

Énergie ou humus?

La paille de maïs est un substrat de biogaz de haute valeur au rendement en méthane possible de 1500 mètres cubes par hectare. Cela ne réduit pas le volume de production de la chaîne alimentaire humaine ou animale. Le bilan d'humus reste également équilibré.

Ruedi Hunger

«La paille de maïs est un substrat de biogaz de haute valeur car elle ne nécessite aucun travail supplémentaire jusqu'à la récolte. Elle offre en outre de bonnes facultés d'ensilage grâce à une teneur en sucre suffisante», indiquent les défenseurs de ce mode de valorisation. «C'est vrai, mais elle n'est plus disponible ensuite pour la formation d'humus dans le sol», soulignent ses détracteurs. «Erreur, car la moitié de la matière sèche de la paille de maïs-grain reste de toute façon sur le champ et remplace le prélèvement d'humus de la culture ...». Le débat entre les partisans de l'énergie et de l'humus pourrait se poursuivre indéfiniment. Une réponse noire ou blanche est illusoire.

Dégradabilité

Le potentiel d'un substrat en biogaz dépend de la structure chimique de ses composés organiques (graisses, protéines, glucides). Des essais de modélisation de l'institut bavarois pour l'agriculture (ou Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, abrégé LfL), à Freising (D), ont montré que l'hémicellulose (ADF-ADL)¹ a un effet positif sur le potentiel en biogaz, au contraire de la lignine (ADL). La paille de maïs-grain contient peu de lignine et beaucoup d'hémicellulose, d'où un potentiel élevé (85 à 90% du maïs d'ensilage).

Fondamentalement, la lignocellulose² se dégrade lentement en raison de sa structure compacte. Cela signifie que l'hy-

drolyse de la lignocellulose constitue l'étape limitative quant à la durée lors de la dégradation anaérobie. Plus la récolte du maïs-grain est tardive, plus les processus de réaction chimique (cinétique) de la paille ralentissent. La cinétique de dégradation est améliorée par un conditionnement supplémentaire. L'ensilage (une forme de traitement biologique) entraîne déjà une augmentation de la vitesse de dégradation.

Conservation

Pour que la paille de maïs-grain puisse s'utiliser comme substrat dans une installation de biogaz, il convient de la conserver, c'est-à-dire de l'ensiler. Mais son ensi-

lage est mis en doute en raison de sa faible teneur en sucre, de sa matière sèche assez élevée et de ses lacunes de compactage. Cependant, les essais réalisés réalisé au LfL avec des machines de récolte montrent que la paille de maïs-grain semble souvent plus sèche qu'elle ne l'est réellement. La teneur en matière sèche peut varier de 40% à plus de 70% selon la date de récolte, l'espèce, le temps passé au champ et les conditions météorologiques. Les réserves exprimées sur l'ensilage sont contredites par les essais en laboratoire et sur le terrain du LfL. Les chercheurs ont conclu en 2017 qu'en l'absence d'oxygène, la paille de maïs-grain dispose de bonnes facultés d'ensilage et d'une grande stabilité aérobie.

Les ensilages ont ensuite également été évalués de 85 à 100 points (selon le schéma d'évaluation DLG). L'exception confirmant la règle, un seul ensilage n'a obtenu que 55 points. Le compactage constitue en effet une gageure avec la paille de maïs-grain. Même avec le meilleur travail de roulage, les valeurs cibles de l'ensilage de maïs plante entière de 245 kg de ma-

Tableau 1: hypothèses de calcul

Surface maïs-grain suisse en 2019 (Rapport agricole 2020)		16015 ha (16000 ha)
Récolte de paille de maïs-grain pour installations de biogaz	1 ha	11 t
	Total (16 000 ha)	176 000 t
	43%	75 680 t
	53%	93 280 t
Résidus pour la formation d'humus (pertes de récolte)	57%	100 320 t
	47%	82 720 t
Rendement en méthane par hectare	1500 m ³ /ha	Près de 24 millions de m ³
	Rendement de la paille de maïs-grain par rapport à l'ensilage	Près de 21%

Hypothèse: la paille de l'ensemble de la surface de maïs-grain de Suisse pourrait être utilisée dans les installations de biogaz.

tière sèche par mètre cube sont hors d'atteinte. En conséquence, l'espace nécessaire pour l'ensilage de la paille de maïs s'avère nettement supérieur. Les mêmes principes que pour l'ensilage de maïs plante entière valent pour le prélèvement et il faut donc veiller à ce qu'il soit suffisamment important. Selon une estimation prudente, la paille d'un hectare de maïs-grain peut remplacer 0,20 à 0,25

hectare de maïs d'ensilage pour le biogaz.

Potentiel technique

Le rendement en méthane à l'hectare potentiellement élevé de la paille de maïs montre que les résidus restant sur le champ après battage peuvent produire beaucoup de biogaz. Pour obtenir ce résultat, il faut récolter la paille le plus proprement possible en limitant les pertes. La «récolte» constitue donc une étape essentielle. Il convient dès lors de connaître l'ampleur des pertes subies à ce moment-là ainsi que les quantités et qualité de la paille de maïs-grain encore disponibles après sa prise en charge.

Plusieurs processus de récolte ont été expérimentés de 2014 à 2016 au LfL afin de clarifier ces points. Les rendements et les pertes ont été enregistrés séparément pour les différentes étapes de la récolte. En outre, la qualité a été déterminée sur



La paille de maïs-grain doit être ensilée rapidement après la récolte. Photo: Idd

L'humus

L'humus se compose principalement de carbone, d'oxygène, d'hydrogène, d'azote, de phosphore et de soufre. La séparation analytique entre les composants organiques et inorganiques n'est possible que pour le carbone et, dans une moindre mesure, pour l'azote.

Tableau 2: bilan d'humus

Valorisation	Besoins en humus	Rendement q/ha	Rapport récolte/résidus	Résidus q/ha	Fourniture d'humus	Solde
Ensilage de maïs	-560	Indifférent	-	0	0	-560
Maïs CCM (62% MS)	-560	120	1 : 0.7	84	840	+280
		150		105	1050	+490
Maïs-grain (86% MS)	-560	90	1 : 1	90	900	+340
		110		110	1100	+540

En fonction de l'utilisation et du rendement en kg/ha d'humus-C. L'humus-C est le carbone qui peut être calculé pour le renouvellement de l'humus dans le sol.

la base de la teneur en matière sèche, du taux de contamination et de la finesse de broyage. Les processus de récolte ont été divisés en une à quatre phases (voir schéma de la page 36).

Les rendements et teneurs en matière sèche des années 2014 à 2016 se situaient respectivement entre 95 et 130 quintaux par hectare (q/ha) et 35 et 45%.

Lors des trois années d'essai, on n'a constaté aucune différence significative dues aux équipements d'andainage quant aux quantités de paille de maïs mises en andains. Les résultats obtenus avec des ensileuses et des remorques étaient équivalents. Il a été relevé que, par temps chaud ou venteux, la paille de maïs-grain tend à se dessécher très fortement selon la machine de récolte, ce qui influe négativement le compactage dans le silo. Il est donc recommandé d'andainer la paille de maïs dès que possible après le battage.

Fournisseur d'énergie

Le rapport grain/paille autorise une estimation approximative du rendement de grains et de paille de maïs, en tenant compte de sa grande variabilité. Sur le terrain, il est recommandé de se baser sur un rapport grain/paille de 1:0,9, cela correspond à près de 5 tonnes de matière sèche par hectare (MS/ha), soit 43 à 53%. Le solde étant constitué des pertes au sol, celles peuvent y être incorporées aisément. Le volume moyen de méthane de la paille de maïs récoltable de l'essai était relativement élevé, avec une moyenne de 314



Le rendement potentiel de la paille varie de 95 à 130 quintaux par hectare, dont 50% peuvent être effectivement récoltés. Photo: Monika Ganal

litres \pm 14 litres de méthane par kilo de matière sèche organique. Il a atteint 85 à 90% (essais par lots) du rendement en méthane du maïs d'ensilage. Ainsi, un volume de 1'500 m³/ha de méthane est obtenu à partir de la paille de maïs récoltable. La différence entre les dates de récolte précoce et tardive s'est élevée à près de 20%. Dans la perspective d'une double utilisation des grains et de la

paille, il faudrait récolter le plus tôt possible en vue d'optimiser la production de méthane. À noter que les variétés Staygreen ne présentent aucun avantage prépondérant. Dans l'essai par lots, il a fallu deux fois plus de temps pour la fermentation tout en obtenant seulement 50% du volume de méthane par rapport au maïs d'ensilage. Pratiquement, cela signifie que les temps de latence doivent parfois être ajustés parce que la formation de gaz est retardée. Le retrait de la paille de maïs-grain et sa valorisation dans l'installation de biogaz en facilitent la gestion. En outre, le travail du sol après le maïs-grain est plus aisé. Un broyage efficace et complet, suivi de la récolte de la paille de maïs-grain et des chaumes réduit également le risque de fusariose.

Tableau 3: solde d'humus

Besoins en humus kg/ha	Fourniture				Solde
	Rendement fourrager (33 % de MS) q/ha	Volume de fermentation en m ³	Teneur en MS %	Humus-C kg/ha	
-560	400	29	7,5	268	-292
	550	40	7,5	369	-191

Après fermentation de l'ensilage de maïs dans une installation de biogaz (*Handbuch Mais*, ou «Manuel du maïs» de la DLG).

Tableau 4: descriptif de la paille de maïs-grain

Moment de la récolte	Dès la maturité du maïs (BBCH) 89
Rapport grain/paille	1 : 0,9
Teneur en matière sèche (MS)	Variable, teneur en matière sèche (MS) entre 40 et 50%
Paille de maïs-grain récoltable	9 à 10 t de MS/ha
Rendement en paille réalisable	4 à 6 t de MS/ha
Densité dans le silo	\pm 125 kg de MS/m ³
Volume de méthane des tests par lots	310 à 320 l par kg de matière sèche organique
Volume de méthane par hectare	1500 m ³

Source: Biomasse Suisse

Rendement en humus

Le renouvellement de l'humus constitue une préoccupation centrale de l'utilisation des terres agricoles. La culture de végétaux s'associe généralement à des pertes d'humus. Celles-ci doivent être compensées par l'apport d'engrais organiques (fumier, lisier, etc.) et de diverses sources végétales de carbone organique, comme les résidus de culture en surface et en sous-sol. Le bilan se calcule en faisant la différence entre les apports et les prélèvements d'humus dans une culture.

Y EN A-T-IL UN QUI SAIT TOUT FAIRE? ABSOLUMENT.

LE NOUVEAU STEYR ABSOLUT CVT

JUSQU'À 240 CH.



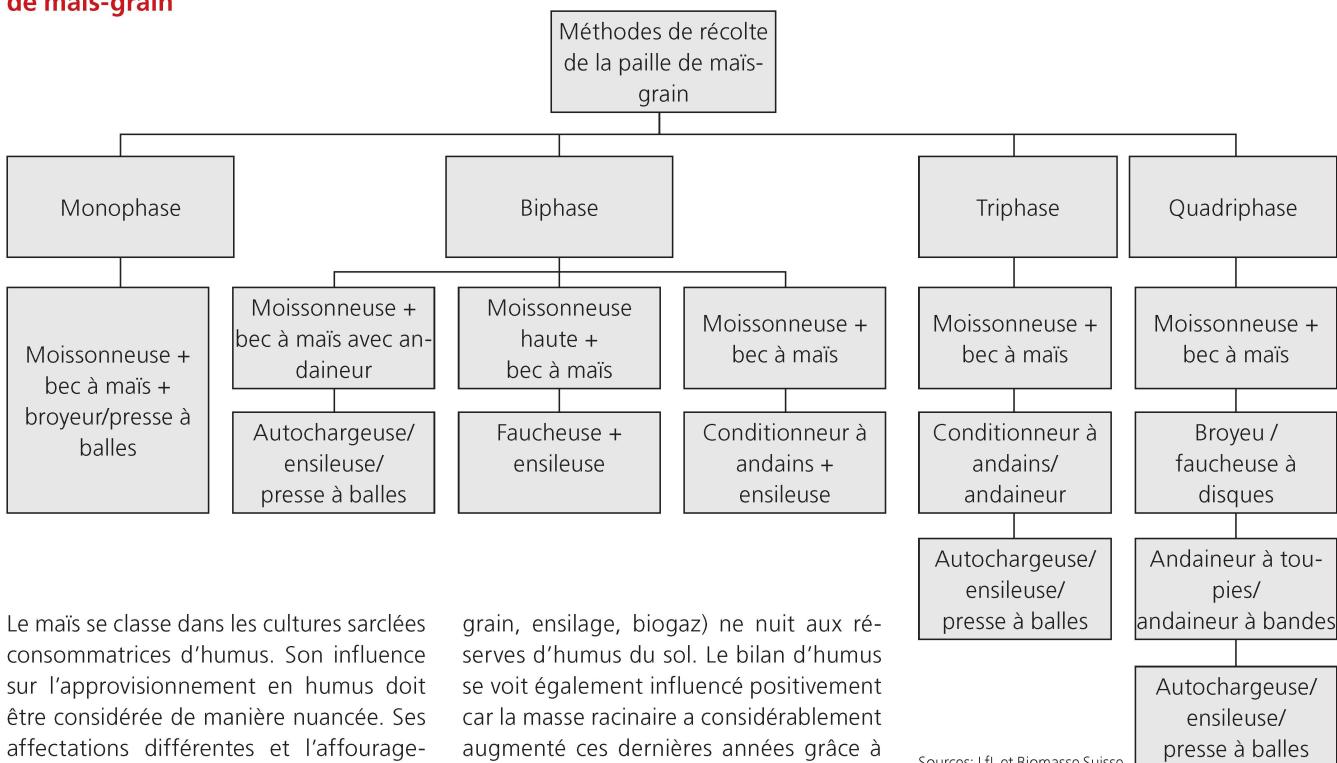
STEYR
TRAKTOREN

Votre partenaire de confiance.

CASE STEYR CENTER

Murzlenstrasse 80 · 8166 Niederweningen · Tél.: 044 857 22 00 · Fax: 044 857 25 17
info@case-steyr-center.ch · www.case-steyr-center.ch

Méthodes de récolte de la paille de maïs-grain



Sources: Lft et Biomasse Suisse

Le maïs se classe dans les cultures sarclées consommatrices d'humus. Son influence sur l'approvisionnement en humus doit être considérée de manière nuancée. Ses affectations différentes et l'affouragement du bétail, avec la restitution d'engrais de ferme, jouent un rôle. Comme le montre le tableau 2, le maïs-grain entraîne des excédents élevés, voire très élevés, et le rendement réaliste reste donc positif malgré de gros besoins en humus. L'utilisation du maïs d'ensilage est exclusivement associée à l'élevage bovin dans notre pays. Les engrais de ferme qui en résultent sont ensuite restitués au sol. Plus généralement, et selon diverses sources, aucun mode d'utilisation (maïs-

grain, ensilage, biogaz) ne nuit aux réserves d'humus du sol. Le bilan d'humus se voit également influencé positivement car la masse racinaire a considérablement augmenté ces dernières années grâce à diverses mesures de sélection. En outre, les cultures dérobées (avant maïs) et la mise en place de cultures de maïs avec sous-semis exercent un effet positif sur le bilan d'humus.

Bilan d'humus de la paille de maïs-grain comme substrat de biogaz

Si la totalité de la paille de maïs-grain reste sur le sol, il en résulte un excédent d'humus 540 quintaux par hectare. Les pertes élevées, de l'ordre de 50%, de la

récolte de la paille de maïs-grain, favorisent la formation d'humus et équilibrent le bilan (voir tableaux 2 et 3). De plus, entre 270 et 370 kg/ha d'humus sont ensuite épandus au champ avec les résidus de fermentation.

Conclusion

La paille de maïs grain peut s'utiliser dans les installations de biogaz en tant que cosubstrat, moyennant une récolte soigneuse et une conservation rapide. Près de la moitié de la paille de maïs est considérée comme perte de récolte et reste au champ. De nombreux essais de longue durée montrent que la culture de maïs ne constitue aucun danger pour l'approvisionnement du sol en humus, quelle que soit son affectation. Il faut plutôt s'attendre à un enrichissement en carbone humique, élément souhaitable du point de vue de la fixation du CO₂ (mais critiqué du point de vue du risque de rejet incontrôlé d'azote).



Les résidus de culture du maïs-grain engendrent toujours des difficultés pour la charrue et le cultivateur. Photo: Ruedi Hunger

1) ADF: acronyme du terme anglais *acid detergent fibre*, ou fibres insolubles dans les détergents acides; ADL: acronyme du terme anglais *acid detergent lignin*, ou lignine insoluble en milieu acide. 2) La lignocellulose est la paroi cellulaire lignifiée des plantes.
Bibliographie: Lückte Entru Norbert, *Handbuch Mais*, Francfort 2013; Biogas Forum; Revue spécialisée «Mais» 3/2018, 1/2020, 4/2020.