

Valoriser des prairies ou des cultures pérennes en méthanisation : rêve ou réalité ?

La valorisation de **prairies** ou de **couverts pérennes** peut être intéressante en **méthanisation** dans trois contextes différents :

1- **En zone d'élevage**, la tendance conjoncturelle de la baisse du cheptel, conduit à une augmentation des retournements de prairies au profit de cultures de vente de type céréales. La fauche de ces prairies (temporaires ou permanentes) pour une valorisation énergétique par méthanisation peut permettre de maintenir la surface en herbe dans ce type de région.

2- **En région céréalière**, la valorisation par méthanisation de cultures pérennes peut permettre, en assurant un débouché économique à la biomasse, de réintroduire des prairies temporaires (ex: luzerne), et ainsi de rallonger, diversifier des rotations, et permettre également l'introduction de légumineuses dans les rotations. En agriculture biologique, l'implantation de légumineuses pérennes en tête de rotation, luzerne bien souvent, est un prérequis pour atteindre l'autonomie azotée recherchée dans ce type de système. Trouver un débouché pour cette culture est donc un préalable à sa mise en place. La méthanisation peut-elle assurer ce débouché ?

3- **Dans des zones à fort enjeux environnementaux** (captages d'eau, marais...) les prairies permettent de répondre aux politiques de protection de ces milieux fragiles.



La méthanisation, en apportant une voie de valorisation économique, peut-elle être une voie de valorisation des prairies ou des cultures pérennes ?

Pourquoi maintenir ou réintroduire des prairies ?

Le bénéfice des prairies et plus largement des cultures pérennes, est largement documenté dans la littérature. Les prairies, en tant qu'écosystème complexe jouent des rôles variés, et ce, à plusieurs niveaux, de l'infra-parcellaire au paysage, et à plusieurs échelles de temps (Duru et Therond, 2018) : rôle productif (fourrages, énergie...), support de services agro-environnementaux (habitat écologique, régulation de la qualité et quantité d'eau, stockage du carbone...) et apports de services à la société (paysage, services culturels..)



Services écosystémiques

Maîtrise des **fuites d'azote**

Stockage de **carbone**

Fertilité biologique et physique des sols

Réduction du risque de **ruissellement et de l'érosion**

Régulation des **ravageurs et pollinisation**

Trouver de nouvelles voies de valorisation est donc un enjeu important pour maintenir les services écosystémiques notamment environnementaux.



Bertrand Guérin, Clottes Biogaz

Cela fait plusieurs années que nous valorisons plusieurs hectares de prairies naturelles dans notre méthaniseur : nous faisons une 1ère coupe d'ensilage en avril autour de 3 TMS/ha destinée au méthaniseur puis une coupe de foin tardif qui donne du foin de très bonne qualité, sans adventices. Nos seuls coûts de production sont un passage de digestat à l'automne, et un broyage pour les bordures.

La méthanisation est une vraie solution pour maintenir ces espaces ouverts dans des terres en déprise



Le premier indicateur pour comparer des cultures entre elles est la notion de **coût de production**, que l'on va calculer à l'ha, et que l'on ramènera au MWh de biométhane produit par cette biomasse et vendue sous forme de biométhane.

Comparaison du coût de production du MWh

	Maïs ensilage non irrigué		CIVE d'hiver		ensilage d'herbe PT de 5 ans		Prairie permanente	
Rendement total annuel (TMS/ha)	11	15	6	10	6	10	3	5
Coût sur pied avec MO (€/TMS)	100	80	46	35	64	50	20	12
Mode de récolte	Ensilage		Ensilage		Ensilage		Ensilage	
Nombre de coupes	1		1		2	2	1	1
Coût de la récolte par coupe	35	33	60	35	110	80	98	68
Frais de stockage (€/TMS)	12		12		12		12	
Coût de production (€/ha)	1618	1873	708	820	1044	1300	390	460
Pouvoir méthanogène (Nm ³ CH ₄ /TMO)	350		320	280	320		300	
m ³ de CH ₄ produit/ha	3427	4673	1728	2520	1728	2304	810	1350
MWhPCS produit/ha	38	52	19	28	19	26	9	15
Coût de la biomasse rendue silo								
Par tonne de MS	147	125	118	83	174	130	130	92
Par Nm ³ de CH ₄ produit	0.47	0.40	0.41	0.33	0.60	0.45	0.48	0.34
Par MWhPCS produit	43	36	37	30	55	41	43	31
Par MWhPCS vendu (€/MWh)	47	40	41	33	61	45	48	34



Les coûts de production de la prairie naturelle, malgré des plus faibles rendements équivalent à ceux du maïs. Les charges liées à la récolte par ensilage pèsent beaucoup dans le coup de production. Avec une prairie naturelle il faudra mobiliser plus de surface pour produire 1 MWh

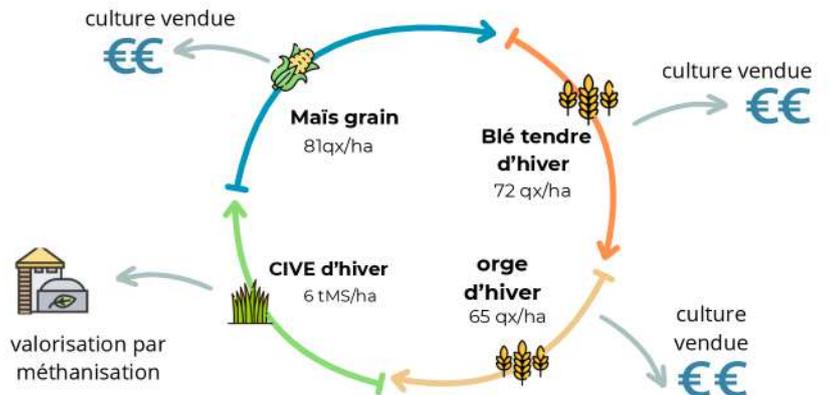
Nous comparons ensuite les marges à l'hectare sur l'ensemble de la rotation pour 3 scénarii.

Les rotations étudiées

Scénario de référence

3 ans

Dans le scénario de référence, une CIVE est implantée avant un maïs grain et récolté fin avril pour ne pas pénaliser le rendement du maïs. Un rendement de 6TMS/ha pour la CIVE est visé, la CIVE est valorisée en méthanisation.

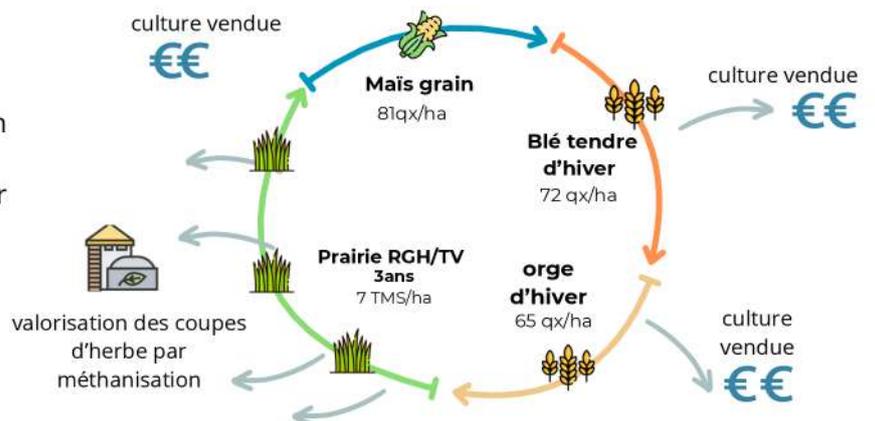


Scénario n°2

Insertion de 3 années de prairies

6 ans

Dans le scénario n°2, on insère une prairie mixte graminées légumineuse dans la rotation précédente pour 3 ans. Les différentes fauches sont réalisées par ensilage direct pour faciliter le stockage et l'insertion dans le méthaniseur. Une fauche directe, repris à l'auto chargeur pourrait être étudiée. Les différentes coupes d'herbe servent à alimenter un méthaniseur.

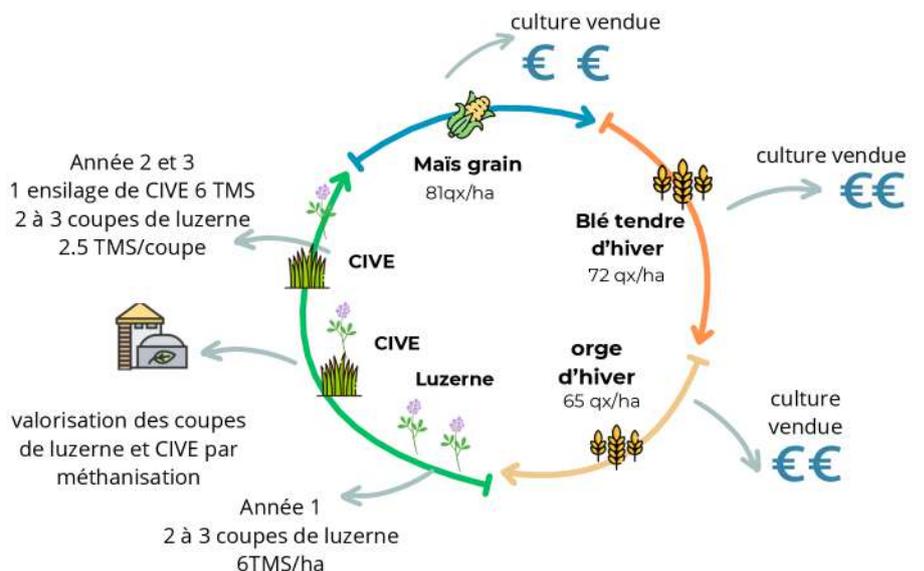


Scénario n°3

Insertion de 3 années de luzerne/CIVE

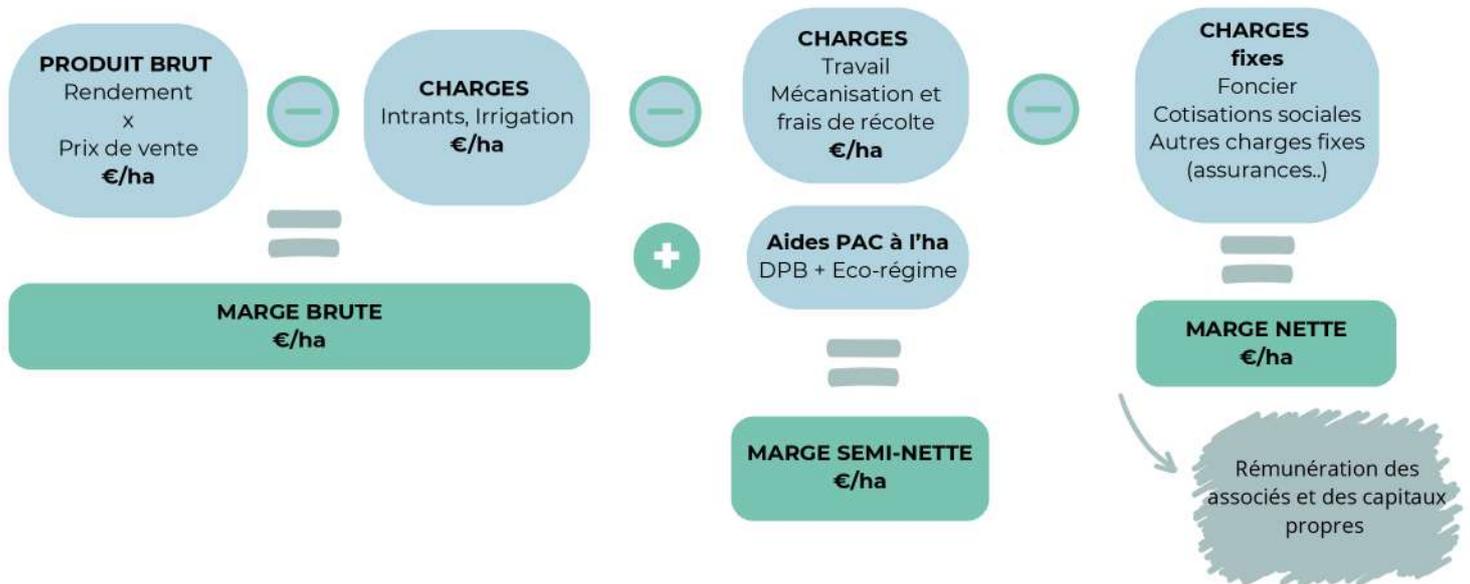
6 ans

Dans le scénario n°3, une luzerne est implantée directement dans un couvert (d'orge par exemple). La luzernière est conservée 3 ans. une CIVE est implantée à l'automne directement dans la luzerne, en année 2 et 3. La CIVE et la luzerne sont valorisées en méthanisation.

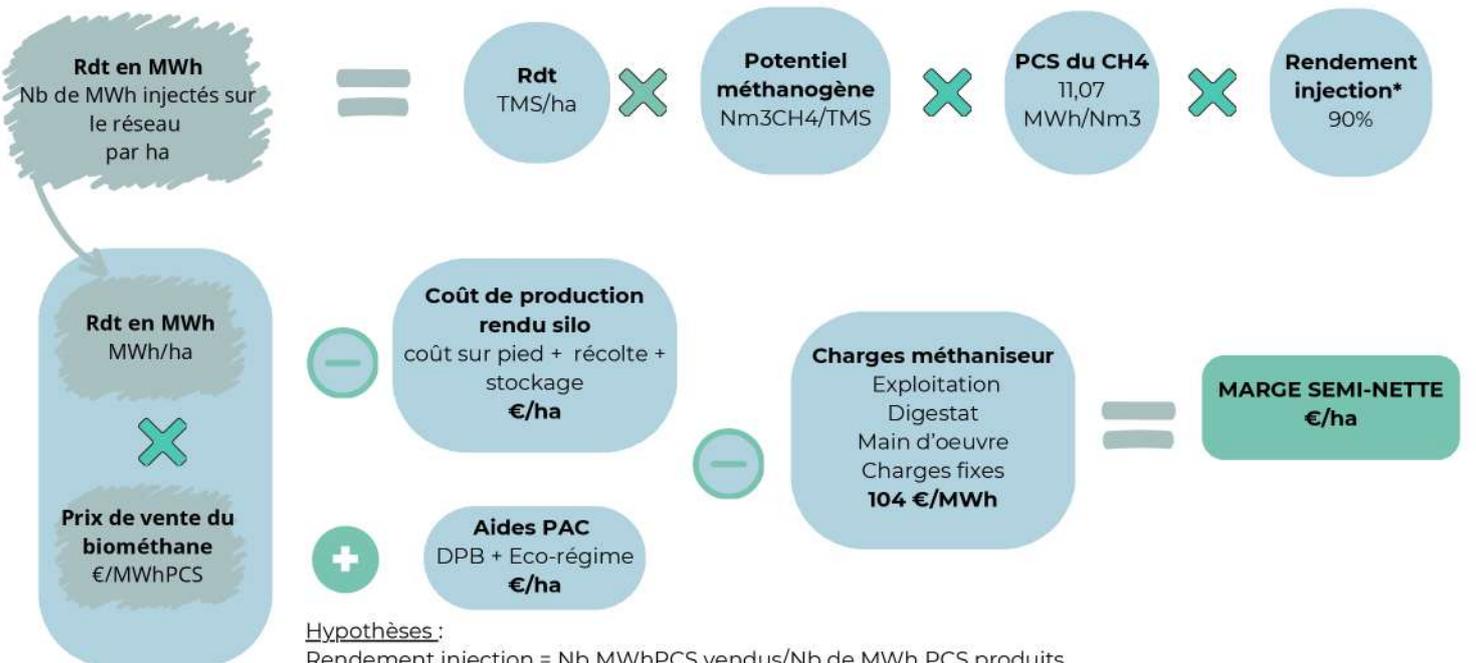


Pour comparer les trois systèmes entre eux, nous calculons une **marge semi-nette** moyenne sur l'ensemble de la rotation.

Mode de calcul de la marge des cultures de vente



Mode de calcul de la marge des cultures méthanisées



Hypothèses :

Rendement injection = Nb MWhPCS vendus/Nb de MWh PCS produits

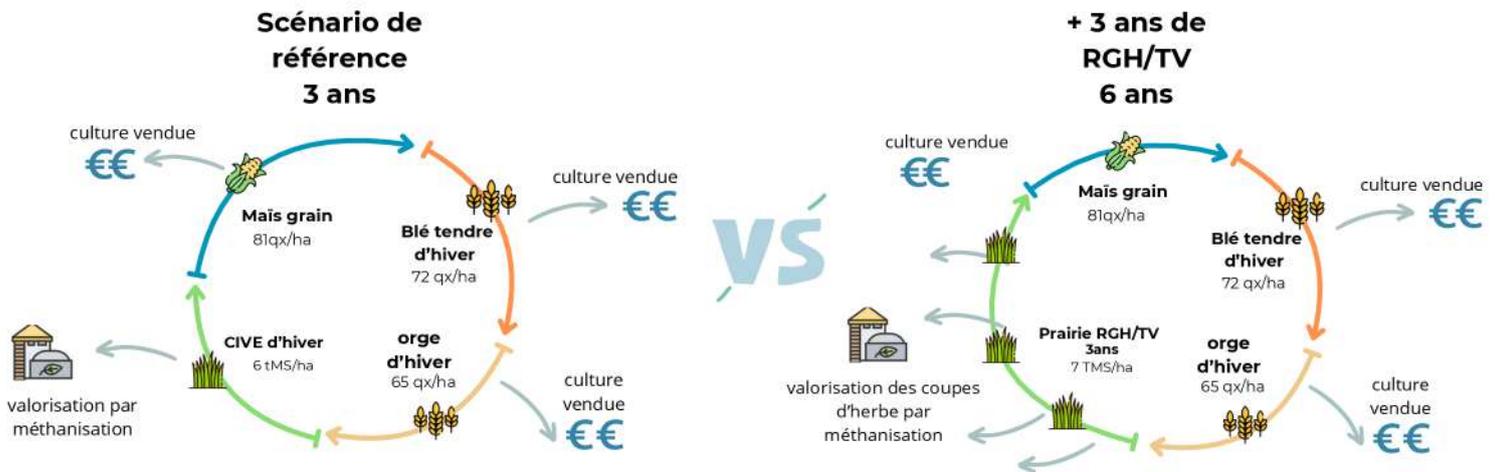
Un rendement de 90% est pris en compte dans les calculs, ce qui correspond à 10% des MWh produits autoconsommés pour le chauffage du digesteur, les pertes à l'épuration et les pertes au torchage.

Les charges d'exploitation du méthaniseur prises en compte sont : la maintenance, la main d'oeuvre, les pièces d'usure, la gestion du digestat, la dette (capital + frais financiers, les assurances et charges diverses)

=> Pour chaque tonne entrant dans le méthaniseur, il faut déduire 104€/MWh de charges d'exploitation et frais fixes du méthaniseur (maintenance, main d'oeuvre, gestion du digestat, charges fixes, remboursement du capital...)

=> Avec un prix de vente du MWh de 163€/MWh PCS, cela signifie qu'il reste 59€/MWh pour payer le coût de l'intrant et assurer une marge à la culture.

Comparaison rotation céréalière VS prairie méthanisée



Marge de la rotation céréalière

Durée de la rotation	3 ans
Marge semi-nette du blé tendre	539€/ha
Marge semi-nette CIVE	201 €/ha
Marge semi-nette maïs grain	442 €/ha
Marge semi-nette orge d'hiver	249 €/ha
Marge semi-nette moyenne sur la succession	477 €/ha/an

Hypothèses:

Blé à 7,25T/ha prix de vente 210€; coût de production 1220€/ha
 Maïs grain à 8,1T/ha prix de vente rendu port 250€/T (net de séchage); coût de production 1525 €/ha, + perte de rendement de 5% dû à la CIVE
 Orge d'hiver à 6,5T/ha prix de vente 185 €/T; coût de production 1190€/ha;
 CIVE à 6TMS/ha; coût de production 333 €/ha
 Aides PAC 236€/ha/an : DPB 127€/ha, 49€ paiement redistributif, 60€ Eco-régime niveau 1

Marge de la rotation avec prairie

Durée de la rotation	6 ans
Rendement moyen de l'herbe	7 TMS/ha/an
Coût de production complet	1015 €/ha
Aides PAC	256 €/ha
Quantité de biométhane injectée	19,9 MWh/an
Coût de d'injection	104 €/MWh
Chiffre d'affaire injection	163 €/MWh
Marge semi-nette	443€/ha/an

Hypothèses:

Coût de production de l'herbe 47€/TMS sur pied + 98€/TMS de frais de récolte.
 Un arrière effet N a été intégré à hauteur de 80 kgN/ha la 1ère année, avec une valeur de 1.25€/kg N.
 Charges d'exploitation du méthaniseur 104€/MWh (Exploitation 33€; main d'oeuvre 5€; digestats 5€; dette 52€; assurances et IR 9€)
 Prix de vente du biométhane 2024 pour 7GWh et 60% effluents
 Aides PAC 256€/ha/an (+20€/ha pour Eco-régime niveau 2) sur les 3 années de la prairie

La marge de l'ensilage d'herbe est légèrement inférieure à celle de la rotation céréalière :

- Le coût de l'ensilage pèse beaucoup sur la prairie (faible rendement par coupe)
- L'arrière effet dû au retournement de la prairie permet d'économiser 100€/ha de fertilisation du maïs

Pour atteindre le même niveau de marge une compensation de 34€/ha serait nécessaire

VARIATION DES MARGES CULTURES ET PRAIRIES

Le rendement de la prairie varie de 5% entre chaque colonne

Valeur de la marge moyenne pour une prairie à 8TMS/ha

	3,5 TMS/ha					5 TMS/ha					Prairie à 7 TMS/ha					8					9					10,5				
	-45%	-40%	-35%	-30%	-25%	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%			
-45%	-19	4	26	48	70	92	114	137	159	181	203	225	247	270	292	314	336	358	380	402	270	292	314	336	358	380	402			
-40%	-42	-20	2	24	46	68	91	113	135	157	179	201	224	246	268	290	312	334	356	379	246	268	290	312	334	356	379			
-35%	-66	-44	-22	0	22	45	67	89	111	133	155	177	200	222	244	266	288	310	333	355	222	244	266	288	310	333	355			
-30%	-90	-68	-46	-24	-1	21	43	65	87	109	131	154	176	198	220	242	264	287	309	331	198	220	242	264	287	309	331			
-25%	-114	-92	-70	-47	-25	-3	19	41	63	85	108	130	152	174	196	218	241	263	285	307	174	196	218	241	263	285	307			
-20%	-138	-116	-93	-71	-49	-27	-5	17	39	62	84	106	128	150	172	195	217	239	261	283	150	172	195	217	239	261	283			
-15%	-162	-139	-117	-95	-73	-51	-29	-7	16	38	60	82	104	126	149	171	193	215	237	259	126	149	171	193	215	237	259			
-10%	-185	-163	-141	-119	-97	-75	-53	-30	-8	14	36	58	80	103	125	147	169	191	213	236	103	125	147	169	191	213	236			
-5%	-209	-187	-165	-143	-121	-99	-76	-54	-32	-10	12	34	57	79	101	123	145	167	190	212	79	101	123	145	167	190	212			
0%	-233	-211	-189	-167	-145	-122	-100	-78	-56	-34	-12	11	33	55	77	99	121	144	166	188	55	77	99	121	144	166	188			
5%	-257	-235	-213	-191	-168	-146	-124	-102	-80	-58	-35	-13	9	31	53	75	98	120	142	164	31	53	75	98	120	142	164			
10%	-259	-237	-214	-192	-170	-148	-126	-104	-81	-59	-37	-15	7	29	52	74	96	118	140	162	29	52	74	96	118	140	162			
15%	-249	-227	-204	-182	-160	-138	-116	-94	-72	-50	-28	-6	16	38	60	82	104	126	148	170	16	38	60	82	104	126	148			
20%	-306	-284	-262	-240	-218	-196	-173	-151	-129	-107	-85	-63	-40	-18	4	26	48	70	92	114	4	26	48	70	92	114	136			
25%	-330	-308	-286	-264	-242	-219	-197	-175	-153	-131	-109	-87	-64	-42	-20	2	24	46	68	90	2	24	46	68	90	112	134			
30%	-354	-332	-310	-288	-265	-243	-221	-199	-177	-155	-133	-110	-88	-66	-44	-22	0	23	45	67	0	23	45	67	89	111	133			
35%	-378	-356	-334	-311	-289	-267	-245	-223	-201	-179	-156	-134	-112	-90	-68	-46	-23	-1	21	43	-23	-1	21	43	65	87	109			
40%	-402	-380	-357	-335	-313	-291	-269	-247	-225	-202	-180	-158	-136	-114	-92	-69	-47	-25	-3	19	-47	-25	-3	19	41	63	85			
45%	-426	-403	-381	-359	-337	-315	-293	-271	-248	-226	-204	-182	-160	-138	-115	-93	-71	-49	-27	17	-93	-71	-49	-27	17	39	61			
50%	-449	-427	-405	-383	-361	-339	-317	-294	-272	-250	-228	-206	-184	-161	-139	-117	-95	-73	-51	15	-139	-117	-95	-73	-51	15	37			

la marge culture varie de 5% entre chaque ligne

Avec un rendement à 8tMS/ha, la marge de la rotation avec prairie est supérieure de 33€/ha à celle de la rotation sans prairie

Lecture du graphique :

En rouge, la marge prairie est inférieure à celle de la marge cultures, en vert elle est supérieure.

La ligne à 0% correspond à l'hypothèse de référence soit un blé vendu 200€/T, le maïs 250€ et l'orge 185€/T.

Avec ces hypothèses (ligne 0%) la marge avec prairie devient supérieure dès que la prairie dépasse 7.5TMS/ha

La colonne à 0% correspond à un rendement annuel de 7TMS/ha pour la prairie. Le rendement de l'herbe varie de + ou - 5% d'une colonne à l'autre.

ET LES PRAIRIES PERMANENTES ?

Une autre configuration rencontrée chez des agriculteurs méthaniseurs est la valorisation de prairies naturelles lorsqu'un atelier bovin allaitant s'arrête par exemple. Il peut s'agir de petites parcelles, dont la taille, la topographie, le potentiel ne permet pas l'implantation de céréales. Il peut aussi s'agir de prairies humides, dans des zones de fond de vallée ou de marais, ou dans des zones à fort enjeux environnementaux.



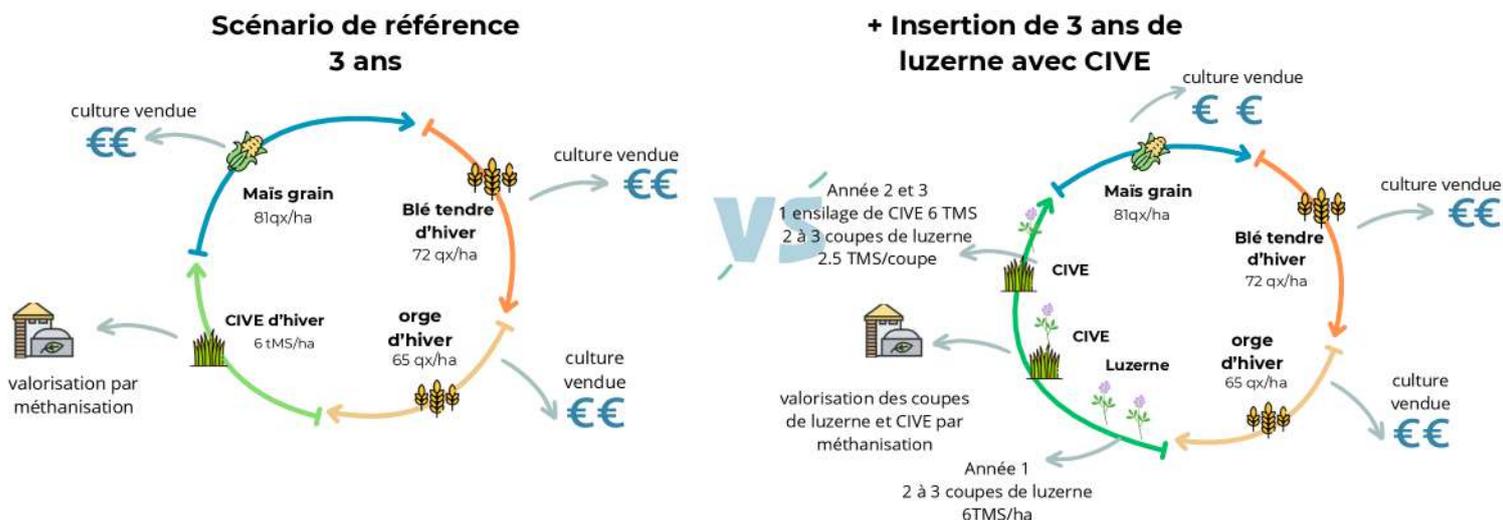
Le coût de production est alors très réduit, et peut se limiter à un épandage de digestat et l'entretien des bordures.

Le coût au MWh produit se situe entre un maïs (rendement à 5TMS/ha) et une CIVE (rendement à 3TMS/ha)

voir p3 la comparaison des coûts



Comparaison rotation céréalière VS luzerne/CIVE



Marge de la luzerne-CIVE

Durée de la rotation	3 ans
Rendement luzerne année 1	6 TMS/ha
Rendement luzerne année 2 et 3	7 TMS/ha
Rendement CIVE année 2 et 3	6 TMS/ha
Marge luzerne année 1	1158 €/ha
Marge luzerne année 2 et 3	17 MWh/ha
Marge CIVE année 2 et 3	104 €/MWh
Arrière-effet N pris en compte	80 kg N/ha année 1 30 kgN/ha année 2
Marge semi-nette du maïs	542€/ha
Marge semi-nette du blé	546 €/ha
Marge semi-nette de l'orge	261 €/ha
Marge semi-nette sur l'ensemble de la rotation	333 €/ha

Hypothèses:

Coût de production luzerne : Intrants 180€/ha; mécanisation 81€/ha, main d'oeuvre 50 €/ha, récolte 2 coupes 738 à 847€/ha (pour 6 ou 7TMS/ha)
 Potentiel méthanogène CIVE 320Nm³ CH₄/TMO
 Potentiel méthanogène luzerne 280 Nm³/TMO
 Coût de production de la CIVE 333 €/ha
 Charges d'exploitation du méthaniseur 104€/MWh
 Prix de vente du biométhane 2024 pour 7GWh et 60% effluents
 Aides PAC 236€/ha/an. Aucun bonus PAC pour légumineuses fourragère n'a été pris en compte.



La marge moyenne à l'hectare avec luzerne-CIVE valorisée en méthanisation est inférieure de 117€/ha à la rotation de référence.

=> Avec un bonus PAC "légumineuses pour méthanisation" de 150€/ha, le scénario avec luzerne devient plus intéressant

=> La vente de la luzerne à une usine de déshydratation (incluant 100€ de bonus PAC) rend le scénario avec luzerne plus intéressant.



Consultez le centre de ressources sur la luzerne
<https://luzco.fr/>



En savoir plus sur l'itinéraire technique
 FICHE CIVE



En savoir plus sur l'introduction de luzerne dans le digesteur
 FICHE AUTONOMIE N

RETOUR D'EXPERIENCE

Thierry Guérin, Methagaz (91)

- **Année 1** : implantation de la luzerne en avril, dans un couvert d'orge. Récolte de l'orge en juillet
- **Années 2 et 3** : 3 coupes de luzerne pour 7TMS/ha (année mauvaise). Semis de la CIVE après travail superficiel du sol (vibroculteur)
- **Année 4** : 1ère coupe de CIVE (mélange 50/50 CIVE/luzerne, 6.5 TMS/ha puis 2 coupes de 2.5 TMS de luzerne
- Pas de traitements (AB) apports de fertilisation P et K ou digestat à la reprise de végétation chaque année.



Semis de CIVE dans une luzerne en place en octobre
(Crédit phot : G. Vrignaud)

“Le semis de CIVE sous couvert de luzerne est un système très adapté à l'agriculture biologique car la CIVE permet de maîtriser le salissement au printemps. Le travail du sol effectué pour la CIVE bénéficie aussi à la luzerne. Je ne vois que des avantages pour produire de la luzerne bio”



Comparaison luzerne sans et avec sur-semis de seigle en CIVE fin avril (Crédit photo : G. Vrignaud)

Luzerne en place après la fauche du seigle en CIVE fin mai (Crédit photo : G. Vrignaud)

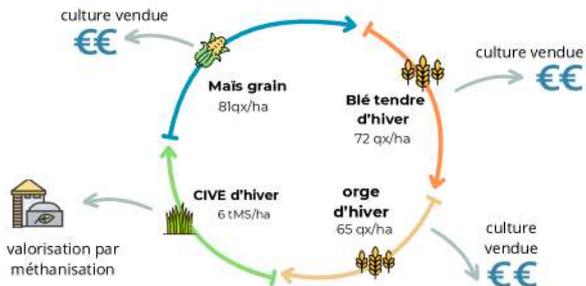


Comparaison des rotations

+ 3 ans de RGH/TV

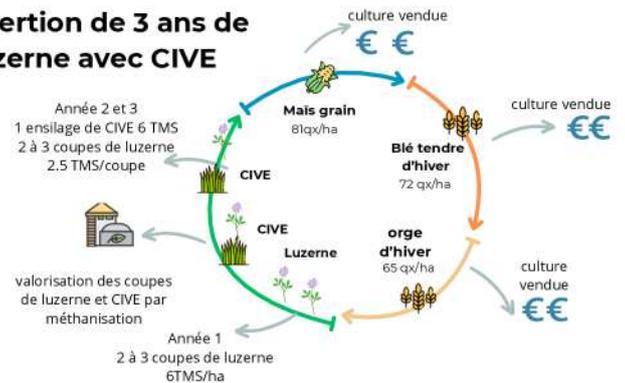
6 ans

Scénario de référence 3 ans



VS

+ Insertion de 3 ans de luzerne avec CIVE



	SCÉNARIO DE REFERENCE	PRAIRIE MIXTE GRAMINÉE LÉGUMINEUSE	LUZERNE CIVE	
RESILIENCE FACE A LA VOLATILITE DES PRIX	⊖	⊕	⊕ ⊕	
FACILITÉ DE MISE EN OEUVRE ET REPLICABILITÉ	⊕	⊕	⊖	Sur les sols acides, remplacer la luzerne par du trèfle violet
MAITRISE DE LA LIXIVIATION DES NITRATES SUR L'ENSEMBLE DE LA ROTATION	⊖	⊕	⊕ ⚠	Après la luzerne, pas de fertilisation sur la culture suivante
STOCKAGE DU CARBONE	= ⚠	⊕	⊕ ⊕	Pour le scénario de référence, dépend du retour au sol des pailles
MAITRISE DE L'EROSION ET RESISTANCE A LA BATTANCE	⊖	⊕	⊕	Les céréales à paille ne couvrent pas suffisamment le sol.
FOURNITURE D'INTRANTS AUX CULTURES SUIVANTES	=	⊕	⊕ ⊕	

⊕ Impact bénéfique de la rotation

⊖ Impact négatif de la rotation

(1) Le reliquat N après la luzerne sera très important : de l'ordre de 170 à 250 kN/ha. La maîtrise de la fertilisation sur les cultures suivantes est indispensable pour maîtriser les risques de fuites.

(2) Les couverts pérennes génèrent d'autres effets : régulation des ravageurs, pollinisation, limitation des adventives, refuge de biodiversités....

Centre de ressources sur la production des fourrages :

- <https://www.perel.autonomie-fourragere-des-elevages.fr/>
- <https://www.herbe-fourrages-centre.fr/>

Centres de ressources et guides sur la luzerne :

- <https://luzco.fr/>
- https://fiches.arvalis-infos.fr/couverts/fiche_couvert.php?mode=fc&type_couv=pures&id_couvert=502
- <https://www.agro-transfert-rt.org/wp-content/uploads/2017/01/Fiche-luzerne.pdf>
- https://biograndest.org/wp-content/uploads/2021/10/2021_Fiche_ALS_luzerne.pdf

Les services éco-systémiques des prairies :

- Martin, G., Durand, J.L., Duru, M. et al. Role of ley pastures in tomorrow's cropping systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 40, 17 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00620-9>
- Duru M., Therond O. (2018) : «La prairie dans tous ses états : 1. Une approche multiniveaux et multidomaines de ses atouts pour l'agriculture et la société», *Fourrages*, 236, 229-237.
- Duru M., Theau J.P., Therond O., Cruz P. (2019) : "La prairie dans tous ses états : 2. Evaluer la production de fourrages et la fourniture de services écosystémiques", *Fourrages*, 240, 295-304

Potentiels énergétiques :

- Base de données des potentiels méthanogènes : <https://ifip.asso.fr/base-de-donnees-methasim/>
- ALMANSOUR, E, BONNET, J, & HEREDIA, M (2011). Potentiel de production de biogaz à partir de résidus agricoles ou de cultures dédiées en France. *Sciences Eaux & Territoires*, 2011/1 Numéro 4. pp. 64-72. <https://doi.org/10.3917/set.004.0064>.

Références des coûts de production :

- <https://chambres-agriculture.fr/informations-economiques/inosys-references-systemes/inosys-grandes-cultures/>
- Fiches PEREL prairie temporaire, maïs et luzerne : <https://www.perel.autonomie-fourragere-des-elevages.fr/couts-des-fourrages/>
- Coût de production des CIVE références RECITAL : <https://www.arvalis.fr/recherche-innovation/nos-travaux-de-recherche/recital>

Valorisation des digestats et impacts sur les sols :

- Guide pour fertiliser avec un digestat : <https://fertiliser-avec-des-digestats.fr/>
- Impacts des digestats sur la fertilité des sols : <https://metha-biosol.hub.inrae.fr/>



Ensilage d'une prairie permanente



Sursemis de CIVE dans une luzerne en place
(Crédit photo : G. Vrignaud)

Cette fiche a été produite dans le cadre du programme de recherche Metha 3G (3ème génération de méthaniseurs : Comment utiliser la méthanisation pour optimiser les services de régulation liés au sol au sein d'un territoire agricole) qui est financé par l'Ademe (APR Graine) et associe Inrae, l'Association Aile et ACE Méthanisation. Ces objectifs sont d'identifier et d'évaluer des systèmes de méthanisation innovants permettant d'optimiser les services environnementaux non énergétiques de la méthanisation comme l'amélioration de la qualité des sols, de la qualité de l'eau, le stockage du carbone dans les sols ou l'autonomie azotée des exploitations. Les résultats synthétisés dans cette fiche sont issus d'enquêtes auprès d'agriculteurs méthaniseurs, de suivis agronomiques sur des systèmes innovants ainsi que de travaux de modélisation de l'effet du déploiement de scénarios à l'échelle de territoires.



initiatives
énergie
environnement



Contact : romain.girault@inrae.fr

Crédit photos : Canva (si non spécifié)