

La présence d'une CIVE impliquant l'intégration d'un système avec méthaniseur, il faut bien considérer l'ensemble des évolutions du système de culture.

## ÉVOLUTION DES SOLS

# LES CIVE CONTRIBUENT aux apports de matière organique

**Ajouter une culture intermédiaire à vocation énergétique dans une rotation n'est pas un facteur d'appauvrissement des sols en matière organique. C'est même le contraire si la gestion de cette matière organique est bien raisonnée.**

La mobilisation des cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE) interroge sur les conséquences de ces cultures sur l'état organique des sols et sur le stockage du carbone. Les travaux réalisés dans le cadre du projet OPTICIVE<sup>(1)</sup> se sont penchés sur les conséquences de l'exportation des couverts, ainsi que du retour au sol des digestats de méthaniseur, sur le stockage du carbone organique par les sols, selon les rotations et le type de sol. Le carbone, mesuré en laboratoire, sert de référence pour évaluer la quantité de matière organique des sols. La matière organique (MO) contenant 58 % de carbone, on multiplie la quantité de carbone par 1,72 ou 2 selon le

laboratoire pour obtenir la quantité de MO.

Des mesures de biomasse de CIVE selon la hauteur des plantes ont été effectuées en 2017 et 2018 pour évaluer la quantité de matière restituée en fonction de la hauteur de récolte. Elles ont été complétées en 2017 par des mesures de masse racinaire sur 30 cm de profondeur (dispositif analytique en coteaux argilo-calcaires du Lauragais).

Le premier tronçon de 10 cm au-dessus du sol représente plus de 1 tMS/ha (*figure 1*). Avec les équipements de récolte mobilisés lors des essais, la hauteur de coupe était en moyenne de 15 cm. Cette hauteur peut aujourd'hui être réduite à près de 7 cm avec une bonne préparation de sol et des

### À RETENIR

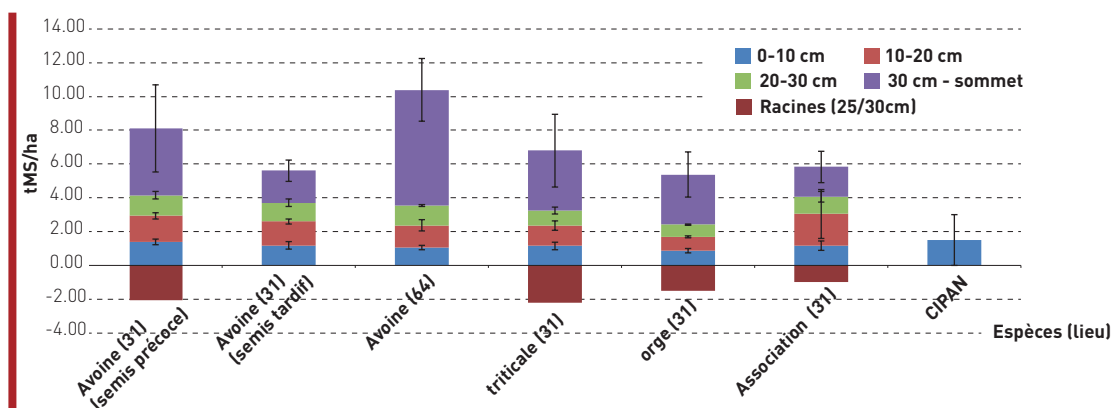
L'évolution du stockage du carbone dans le sol est dépendante de l'état initial.

La CIVE apporte de la matière organique au sol du fait de la présence des racines et des chaumes.

En comparaison à un système sans couvert, l'exportation de CIVE ne déstocke pas de carbone.



**RÉSIDUS DE CIVE : jusqu'à 4 t MS/ha restituées au sol par les chaumes de 15 cm et les racines.**



**Figure 1 : Production de biomasse aérienne et souterraine de CIVE d'hiver.** Essais Arvalis, coteaux du Lauraguais et Touyas du Béarn, 2017.

équipements adaptés. Le poids des chaumes non récoltés représente dans ces essais près de 2 tMS/ha. Cette quantité de biomasse aérienne est équivalente à la biomasse moyenne d'une culture intermédiaire piège à nitrate (CIPAN) enfouie. Les racines ont également été évaluées à près de 2 tMS/ha sur les trente premiers centimètres.

Ces mesures constituent une première série de références qui ont pu être valorisées dans le cadre du projet SOLEBIOM afin d'améliorer le paramétrage du modèle de simulation de l'état organique des sols AMG<sup>(2)</sup> (Andriulo, Mary et Guérif). Elles confirment l'intérêt des couverts pour le retour de la matière organique et donc du carbone organique au sol, malgré une large partie exportée dans le cas des CIVE.

**Des simulations pour aller plus loin**

L'état ou le statut organique d'un sol s'observe à travers la quantité, la qualité et la répartition dans le sol de la matière organique (Duparque et

al. 2007). Pour observer des effets sur le terrain, il est nécessaire de mettre en place des expérimentations de longue durée. Ne disposant pas de tels dispositifs avec des CIVE et des CIPAN, le modèle AMG, qui fait référence en France, a été utilisé afin d'estimer les évolutions du stockage de carbone dans les sols suite à l'introduction de CIVE et de digestats dans un système de culture. Il s'agissait d'évaluer les effets des CIPAN, de la production des CIVE, de la diminution du rendement de la culture qui suit la CIVE et de l'exportation de la biomasse des parcelles.

Des cas types de simulation, représentatifs du Sud-Ouest de la France, ont été construits par étapes successives afin de dissocier les différents facteurs conduisant à d'éventuelles modifications du stockage du carbone dans les sols : succession de cultures (sorgho/orge d'hiver ; blé/orge d'hiver/maïs grain irrigué), types de sol (« terreforts moyens » argilo-calcaires, « boubènes » sablo-limoneux) ou encore production des cultures dans la succession. Dans ces simulations, les pailles de la culture principale sont enfouies. Les rendements moyens utilisés sont représentatifs des types de sols et de la région considérée.

Par ailleurs, deux digestats issus d'unités de méthanisation, avec une mobilisation majeure de CIVE, ont été caractérisés grâce à des prélèvements réalisés au plus près des dates d'apport : composition chimique, fractionnement biochimique de la matière organique de ces digestats et minéralisation du carbone à trois jours pour la détermination de l'indice de stabilité de matière organique (ISMO). Ces digestats bruts ont été intégrés dans les simulations. Ils sont issus pour l'un, de la méthanisation de lisier porc, de déchets verts, de CIVE et de déchets abattoir et pour l'autre, de la méthanisation de CIVE et de plantes mâles de maïs semence.



**Les digestats de méthaniseur apportent aux sols des éléments fertilisants et de la matière organique.**

© S. Maisrac - ARVALIS-Institut du végétal

## SIMULATIONS : des cas-types basés sur des situations concrètes

Cas type	Type de sol	Cultures de la rotation			Production des cultures intermédiaires avant maïs	
		Sorgho : q/ha	Orge d'hiver : q/ha		CIPAN : t MS/ha	CIVE d'hiver avant le sorgho / maïs : t MS/ha
A	Terreforts moyens	Sorgho : 55 q/ha	Orge d'hiver : 65 q/ha	-	CIPAN : 2 t MS/ha	CIVE d'hiver avant le sorgho : 6 t MS/ha
B	Terreforts moyens	Blé tendre : 60 q/ha	Orge d'hiver : 65 q/ha	Maïs grain irrigué : 110 q/ha	CIPAN : 2 t MS/ha	CIVE d'hiver avant le maïs : 6 t MS/ha
C	Boulbènes	Blé tendre : 60 q/ha	Orge d'hiver : 65 q/ha	Maïs grain irrigué : 110 q/ha	CIPAN : 2 t MS/ha	CIVE d'hiver avant le maïs : 6 t MS/ha

Tableau 1 : Rendements moyens et biomasse des cultures de cas-types construits pour les simulations de l'évolution du statut organique des sols avec le modèle AMG dans le cadre du programme OPTICIVE. Systèmes de culture représentatifs du Lauragais (31).

## Les CIPAN augmentent le stock de carbone...

En considérant que les résidus des CIPAN sont enfouis et non exportés, les effets du type de sol et du couvert piège à nitrate ont été analysés dans trois cas-types nommés A, B et C (tableau 1). Il est ainsi constaté que chacun de ces cas stocke du carbone dont les quantités dépendent du type de sol et de la rotation.

À rotation identique (blé, orge d'hiver, maïs irrigué), le cas C (sol de type limons) stocke moins de carbone : +1,72 t C/ha contre +8,92 t C/ha pour le cas B sur 100 années en sols argileux (terreforts moyens). Il y a donc un effet type de sol sur la quantité de carbone stockée. Cette différence provient de la teneur initiale en carbone des deux types de sols et de leur dynamique de minéralisation<sup>(3)</sup> distincte.

À sol identique, la comparaison entre les cas A

(sorgho/orge d'hiver) et B (blé/orge d'hiver/maïs grain irrigué) montre que ces deux rotations stockent quasiment les mêmes quantités de carbone. Au global les restitutions sont équivalentes bien que la CIPAN soit présente un an sur trois (rotation B) ou un an sur deux (rotation A). Les restitutions apportées par les cultures de la rotation B compensent une présence moins importante de CIPAN. Le type de sol et la teneur en carbone initiale des simulations expliquent en très grande partie les écarts de stockage de carbone entre deux parcelles.

## MATIÈRE ORGANIQUE DANS LE SOL : le stock de carbone organique varie selon les cultures de la rotation

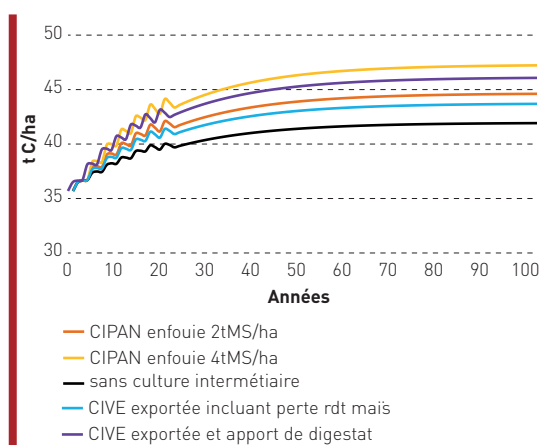


Figure 2 : Evolution du stock de carbone organique du sol sur 0-30 cm de profondeur pour une rotation blé/orge d'hiver/maïs grain irrigué, avec une CIVE d'hiver, une CIPAN ou un sol nu avant le maïs grain, en sol de terreforts moyens (cas-type B). Perte de 10 q/ha pour le maïs pris en compte dans le cas où le couvert est une CIVE, labour à 25 cm.

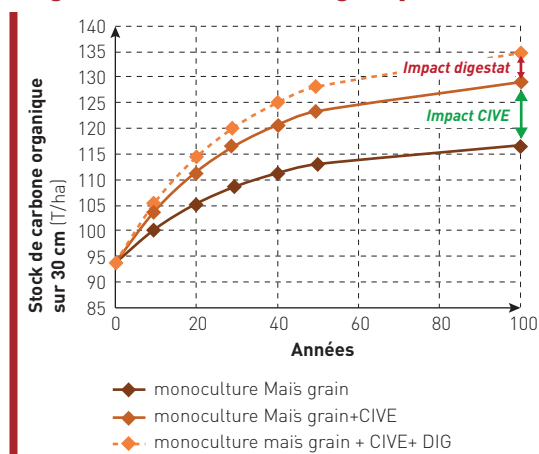


## ... et les CIVE également

De même qu'avec les CIPAN, le niveau de stockage de carbone en utilisant des CIVE dépend du type de sol. Les résultats sont donc à lire au regard du type de sol et de la rotation simulés. Ainsi, la CIVE, bien qu'exportée, permet de stocker du carbone du fait de la présence des racines et des chaumes. Dans ces simulations, sans apport de digestat, le stock de carbone avec une CIVE exportée est légèrement inférieur à celui avec une CIPAN enfouie, pour les rendements testés, mais supérieur à une situation sans couvert.

Les deux types de digestats utilisés dans les

**CIVE ET DIGESTATS : une augmentation à long terme du carbone organique du sol**



**Figure 3 : Résultats de simulations avec le modèle AMG d'évolution des stocks de carbone organique dans les systèmes étudiés sur la plateforme Syppre « Béarn ».** Simulations réalisées dans le cadre du programme SOLEBIOM. CIVE : Avoine. Digestat : apport annuel de 90 kg d'azote total/ha sur CIVE.

simulations aboutissent à des résultats similaires pour un apport calculé de 70 kg d'azote efficace. Un apport de digestat sur une CIVE restitue du carbone au sol. Le système avec CIVE et digestat stocke davantage de carbone qu'une CIPAN enfouie de 2 tMS/ha (figure 2). Toutefois, ces résultats sont très dépendants des rendements estimés pour les CIPAN et les CIVE.

L'analyse des simulations réalisées donne également des indications sur l'effet du rendement des CIPAN et des CIVE sur la quantité de carbone stockée. Il apparaît que plus la production de la CIPAN est élevée, plus le stockage du carbone dans le sol augmente. En revanche, le rendement d'une CIVE a peu d'effet sur le stockage du carbone : un rendement élevé apporte le même niveau de stockage de carbone qu'une CIPAN à 2 t MS/ha. Toutefois, ce stockage est moins élevé que celui obtenu avec une CIPAN ayant une forte biomasse (4 t MS/ha). Cela

pourra être compensé par l'apport de digestats par exemple.

**Des tendances confirmées dans diverses situations**

Les résultats de ces simulations se rapprochent de ceux obtenus dans les simulations sur les essais système de culture du projet Syppre<sup>(4)</sup>, étudiés dans le cadre du programme SOLEBIOM. Ces essais système ont pour objectif d'assurer une rentabilité équivalente ou supérieure à celle de systèmes témoins, tout en améliorant différents indicateurs environnementaux (indice de fréquence des traitements, gaz à effet de serre...).

Dans le cas des coteaux argilo-calcaires de la plateforme Syppre du Sud-Ouest, un système témoin blé dur/tournesol est comparé à un système sans labour diversifié (rotation de huit ans incluant une CIVE). L'objectif de ce système innovant est de limiter les risques d'érosion et d'améliorer la fertilité des sols, via une couverture quasi permanente des sols et un travail du sol simplifié. La diversification des productions, les couverts et les résidus de culture assurent un stockage supplémentaire de carbone qui reste toutefois inférieur à la minéralisation annuelle. La simulation montre que l'ajout d'une CIVE compense cette minéralisation annuelle et stocke plus de 0,8 t/ha de carbone en trente ans. Dans le Béarn, plusieurs alternatives sont étudiées en substitution à la monoculture de maïs pour répondre à des contraintes agronomiques et réglementaires. Sur cette plateforme Syppre, les simulations montrent que près de 10 t/ha de carbone sont stockées en plus en trente ans, grâce à l'introduction de CIVE tous les ans (figure 3). D'autres successions diversifiées de trois ans offrent des potentiels de stockage quasi équivalents. Un apport de digestat augmente ces stocks de 2 à 5 t/ha de carbone selon les successions et les stratégies d'apport.

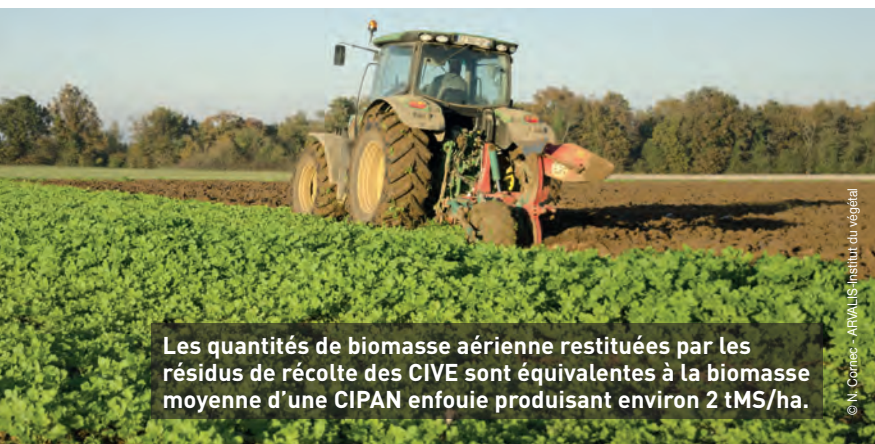
(1) La projet OPTICIVE, soutenu par l'ADEME, a débuté en 2015 avec Terres Univia, Terres Inovia dans le cadre du GIE GAO et avec EURALIS. Il visait à optimiser la conduite des séquences de cultures avec CIVE et d'en évaluer les intérêts technico-économiques et environnementaux.

(2) INRA, AgroTransfert, Arvalis, LDAR ; voir Perspectives Agricoles n°466, mai 2019, p.19 « Evaluer l'évolution du statut organique des sols ».

(3) D'après Clivot et al. 2019, la minéralisation du carbone dépend des paramètres suivants :

- elle diminue quand CaCO<sub>3</sub> augmente [CaCO<sub>3</sub> du sol « A » > CaCO<sub>3</sub> du sol « C »] ;
- elle augmente quand le pH augmente [pH du sol « A » > pH du sol « B »] ;
- elle diminue quand le % d'argile augmente [% d'argile du sol « A » > % d'argile du sol « B »].

(4) Voir Perspectives Agricoles n°471, novembre 2019, dossier à la Une « SYPPRE : tester les nouvelles pratiques culturales ».



Les quantités de biomasse aérienne restituées par les résidus de récolte des CIVE sont équivalentes à la biomasse moyenne d'une CIPAN enfouie produisant environ 2 tMS/ha.

© N. Courne - ARVALIS - Institut du végétal

Hélène Lagrange - h.lagrange@arvalis.fr  
Sylvain Marsac - s.marsac@arvalis.fr  
ARVALIS - Institut du végétal

Benoît Moureaux - b.moureaux@perspectives-agricoles.com