# Atlas territorial qualité et fertilité des sols
# Étude du potentiel de production de biomasse cellulosique

Pour : Communauté de Communes Astarac Arros en Gascogne

Rapport de mission

Novembre 2018


| | |
|---|---|
| Personne en charge du dossier à **Solagro** | Sylvain Doublet, responsable de l'activité Bioéconomie & Ressources |
| Téléphone | ☎ 05.67.69.69.69 |
| Email | sylvain.doublet@solagro.asso.fr |
| Date | Novembre 2018 |

# Sommaire

1. Contexte et objectifs ..... 4
2. Le territoire agricole Astarac Arros en Gascogne ..... 5
2.1 Le territoire Astarac Arros en Gascogne ..... 5
2.1.1 La Communauté de Communes ..... 5
2.1.2 Contexte géologique et paysages de la petite région de l'Astarac ..... 7
2.2 L'agriculture ..... 8
2.2.1 La SAU 2016 (Source RPG) ..... 8
2.2.2 Les cheptels 2016 ..... 10
2.2.3 Les tendances observées ..... 10
3. Vers un atlas des sols et un potentiel d'exportation biomasse / Méthode 11
3.1.1 L'évolution des stocks de carbone des sols ..... 11
3.1.2 Les modifications des pratiques actuelles ..... 14
4. Vers un atlas des sols et un potentiel d'exportation biomasse / Résultats ..... 16
4.1 La qualification des sols – référentiel UCS ..... 16
4.1.1 Les données disponibles ..... 16
4.1.2 Définition des UCS de la Communauté de Communes ..... 17
4.1.3 Regroupement et sélection de 4 grandes entités « sols » ..... 20
4.2 La qualification des systèmes de cultures ..... 21
4.3 Croisements et coulpes sol/systèmes de cultures identifiés ..... 22
4.3.1 Localisation des systèmes de cultures ..... 22
4.3.2 Croisement entre systèmes de cultures et UCS ..... 23
4.4 Les combinaisons sols/systèmes de cultures analysées ..... 23
4.4.1 Introduction ..... 23
4.4.2 Sur les boulbènes profondes ..... 24
4.4.3 Sur les boulbènes profondes colorées ..... 27
4.4.4 Sur les argilo-calcaires ..... 30
4.4.5 Sur les limono-argileux non calcaire ..... 34
4.5 Les dynamiques de carbone des systèmes de cultures dominants (hors variantes) ..... 38
4.5.1 Introduction : l'outil SIMOS-AMG ..... 38
4.5.2 Bilan carbone : les « + » et les « - » ..... 38
4.5.3 Les boulbènes profondes ..... 39
4.5.4 Les boulbènes profondes colorées ..... 40
4.5.5 Les argilo-calcaires ..... 41
4.5.6 Les limono-argileux non calcaires ..... 42
4.6 Les dynamiques de carbone des systèmes de cultures avec les variantes ..... 43
4.6.1 Introduction ..... 43
4.6.2 Les boulbènes profondes ..... 43
4.6.3 Les boulbènes profondes colorées ..... 47
4.6.4 Les argilo-calcaire ..... 50
4.6.5 Les limono-argileux non calcaires ..... 54
4.7 Quantités de résidus exportables annuellement ..... 59
4.7.1 Les maximales (valeurs brutes) ..... 59
4.7.2 Les valeurs brutes – **détail des résultats du système actuel** ..... 62

4.7.3 Analyse des résultats (potentiel maximal) ..... 64
4.7.4 Du potentiel maximal au potentiel réel ..... 65
5. Pour aller plus loin ..... 67
5.1 Scénario « augmentation » du carbone des sols ..... 67
5.2 Les prairies et les systèmes innovants ..... 67
5.2.1 Le devenir de l'élevage et des prairies ..... 67
5.2.2 Quid des systèmes AB et/ou très innovants ..... 68
5.3 Projets bioénergies vs projets bioénergies ..... 71
6. Sols & référentiel pédologique régional ..... 72
6.1 Référentiel pédologique régional (extrait – carte) ..... 72
6.2 UC 15 a Coteaux argilo-calcaires accidentés avec bancs de calcaires ..... 72
6.3 UC 10 Vallées secondaires – Terrasses d'alluvions anciennes – Sud de Gascogne ..... 72
6.4 UC 19 Coteaux accidentés sur molasse acide argileuse ou argilo-caillouteuse – Sud Gascogne et Piémont Pyrénéen ..... 72
7. Les simulations SIMEOS-AMG ..... 72
7.1 Boulbènes profondes ..... 72
7.2 Boulbènes profondes colorées ..... 72
7.3 Argilo-calcaires ..... 72
7.4 Argilo-limoneux non calcaires ..... 72
8. Détails des résultats d'exportation – Simulations stabilité « carbone » 73
9. Résultats des simulations ..... 75

# 1. Contexte et objectifs

Le territoire est engagé depuis plusieurs années dans une démarche vertueuse conciliant des enjeux climatiques, énergétiques et de développement économique (local et durable). Le label TEPcv suppose de mettre en place sur le territoire 3 leviers pour avancer : économies d'énergies, efficacité énergétique et énergies renouvelables (ENR). Ce dernier levier, sur un territoire rural, suppose d'étudier (puis de développer) différentes sources d'ENR : biomasses, solaire, vent, géothermie. La biomasse semble être une voie prometteuse pour le territoire. Cette biomasse peut être issue de la filière « lignine » ou de la filière « cellulose ». La filière « lignine » suppose la mobilisation d'arbres, en forêts ou hors forêt (haies, déchets verts,…). La filière « cellulose » suppose la mobilisation de ressources d'origine agricoles (lisier, fumier, résidus de culture, interculture, …) et non agricoles (déchet vert non ligneux, déchets organiques, …). Pour chacune de ces filières beaucoup d'options techniques sont aujourd'hui possibles pour « extraire » et valoriser l'énergie : chaudières biomasse, méthanisation, méthanation.

C'est la filière « cellulose/résidus de cultures » qui est au cœur de la réflexion de la présente étude. Cette filière a de fortes interactions avec le secteur agricole. Ce dernier ayant ses propres enjeux dont la nécessaire transition agroécologique (incluant des questions climatiques d'atténuation et de séquestration de carbone).
Le territoire doit donc concilier une transition énergétique basée en partie sur la biomasse agricole et une transition agroécologique. La question du carbone est au cœur de ces deux transitions.

Il est une source potentielle d'énergie et il est également dans les sols agricoles :

- Une source d'alimentation pour la biodiversité du sol lorsqu'il est « frais » (fumier, lisier, résidus, …). Cette biodiversité assurant un grand nombre de fonction essentielle à la durabilité des systèmes agricoles (nutrition des plantes, stabilité structurale, …).
- Un élément essentiel de la fertilité chimique des sols lorsqu'il est transformé en « humus » (carbone stable) et associé dans des complexes organo-minéraux (ex. complexe argilo-humique).
- Un moyen de réduire les effets des GES sur le climat en compensant une partie des émissions par une augmentation du stockage de carbone dans les sols agricoles (Cf. 4 pour 1000).

Notre approche du devenir du carbone produit à l'échelle des territoires est la suivante : il n'y a pas de carbone « libre » sur un territoire. Chaque molécule de carbone « captée » a une destination finale et rend un service (alimentaire, fertilité / biodiversité des sols, filière énergie/matériaux, …). Il s'agit pour les territoires :

- d'être en mesure d'arbitrer entre les différentes options et les différents services ;
- de négocier en connaissance de causes avec les acteurs (définir les limites et les seuils) ;
- de proposer des options de compensation couvrant les notions de qualité et de fertilité des sols.

*Note : Qualité et fertilité des sols sont des notions complexes en pleine « réappropriation » par le secteur agricole. Cela signifie qu'il y plusieurs définitions possibles et plusieurs seuils selon les acteurs. De plus « qualité et fertilité » mobilisent des formes de carbone variés que l'on peut classer en au moins deux grandes catégories : carbone stable et carbone frais.*

# 2. Le territoire agricole Astarac Arros en Gascogne

## 2.1 Le territoire Astarac Arros en Gascogne

### 2.1.1 La Communauté de Communes

La Communauté de Communes Astarac Arros en Gascogne (A.A.G.) est issue de la fusion des 18 communes de Vals et Villages en Astarac et des 19 communes de *Hautes Vallées de Gascogne*, elle est effective depuis le 1er janvier 2013. Astarac Arros en Gascogne compte à ce jour 37 communes et près de 8 000 habitants.

La Communauté de Communes Astarac Arros en Gascogne est composée de **37 communes** : Aux-Aussat, Barcugnan, Bazugues, Beccas, Belloc-Saint-Clamens, Berdoues, Betplan, Castex, Clermont-Pouyguilles, Duffort, Estampes, Haget, Idrac-Respailles, Labejan, Lagarde-Hachan, Laguian-Mazous, Loubersan, Malabat, Manas-Bastanous, Miramont d'Astarac, Moncassin, Mont-de-Marrast, Montaut, Montegut-Arros, Ponsampere, Sadeillan, Saint-Elix-Theux, Saint-Martin, Saint-Medard, Saint-Michel, Saint-Ost, Sainte-Aurence-Cazaux, Sainte-Dode, Sarraguzan, Sauviac, Villecomtal-sur-Arros, Viozan

COMMUNAUTE DE COMMUNES
ASTARAC ARROS EN GASCOGNE
N
W
E
S
Auch
Mirande
Office de tourisme
Seissan
Masseube
Office de tourisme
Miélan
Office de tourisme
Rabastens
Office de tourisme
Trie sur Baïse
Office de tourisme
Mirannde d'Astarac
Labejan
Idrac Respaillès
Loubersan
Saint-Martin
Saint-Médard
Berdoues
Ponsampère
Belloc Saint-Clamens
Moncassin
Saint-Michel
Saint-Elix Theux
Laas de Hachan
Sainte Dode
Sadeillan
Montaut
Sauviac
Viozan
Saint-Ost
Mont de Marrast
Barcugnan
Sainte Aurence Cazaux
Serraputan
Duffort
Castex
Aux Aussat
Laguian Mazous
Estampes
Beccas
Malabat
Betplan
Haget
Villecomtal sur Arros
Montégut Arros
LEGENDE

### 2.1.2 Contexte géologique et paysages de la petite région de l'Astarac

Au niveau géologique, la petite région de l'Astarac se présente comme un millefeuilles de dalles calcaires entrecoupées de couches marneuses et limoneuses (alluvions anciennes), découpé en coteaux par les rivières principales s'écoulant du Sud au Nord, ces coteaux étant eux-mêmes redécoupés transversalement par les talwegs tracés par les cours d'eau affluents de ces rivières.

Les coteaux présentent un profil dissymétrique très typique, qui se répète de vallées en vallée :

- en rive droite, versants argilo-calcaires sur marnes dominantes, qui peuvent être très accidentés avec bancs calcaires ;
- en vallée, alluvions récentes argileuses calcaires ;
- en rive gauche, versant à pente douce composés de glacis de limons soliflués, produisant des sols appelés « boulbène ».

Plusieurs rivières et leurs affluents parcourent ce territoire des coteaux accidentés du Gers du Sud au Nord ; d'Ouest en Est, on trouve : l'Osse, la Baïse, le Gers, l'Arrats, la Gimone et la Save.

Le paysage est donc rythmé par cette alternance «coteaux-vallées» très lisibles et dont on distingue aisément les trois ensembles physionomiques qui les composent : **la boubée, la serre et la ribère.** Ils sont distincts par leur relief mais aussi parce que la distribution des cultures, de la végétation :

- La ribère en fond de vallée est un simple ruban alluvial, plat et abondamment cultivé. C'est un couloir de circulation naturel où l'on rencontre les grands axes de communication (mercadère) et les principaux centres urbains.
- La serre, rive droite, prend la forme d'un coteau étroit et abrupt qui s'élève d'une centaine de mètres au-dessus de la ribère. Elle est largement dédiée aux bois et aux pâturage. Au sommet, en sinuant le long des serrades, on bénéficie de multiples vues panoramiques sur les vallées et la succession des coteaux. Fermes isolées et petit villages perchés se succèdent ainsi qu'un important patrimoine diffus : motte, chapelle, moulin à vent...
- La boubée qui s'étale rive gauche en pente douce est un espace de transition. De petits ruisseaux affluents ont creusé un paysage de vallons et de collines amples et cultivés dans l'ensemble, mais ponctués également de bois et de prairies. Le parcellaire reste modeste et les pentes relativement importantes. Elle est surtout le siège d'un habitat dispersé.

## 2.2 L'agriculture

### 2.2.1 La SAU 2016 (Source RPG)

En 2016, le territoire de la Communauté de Communes, comptait 25 624 ha de SAU (Source RGP 2016).

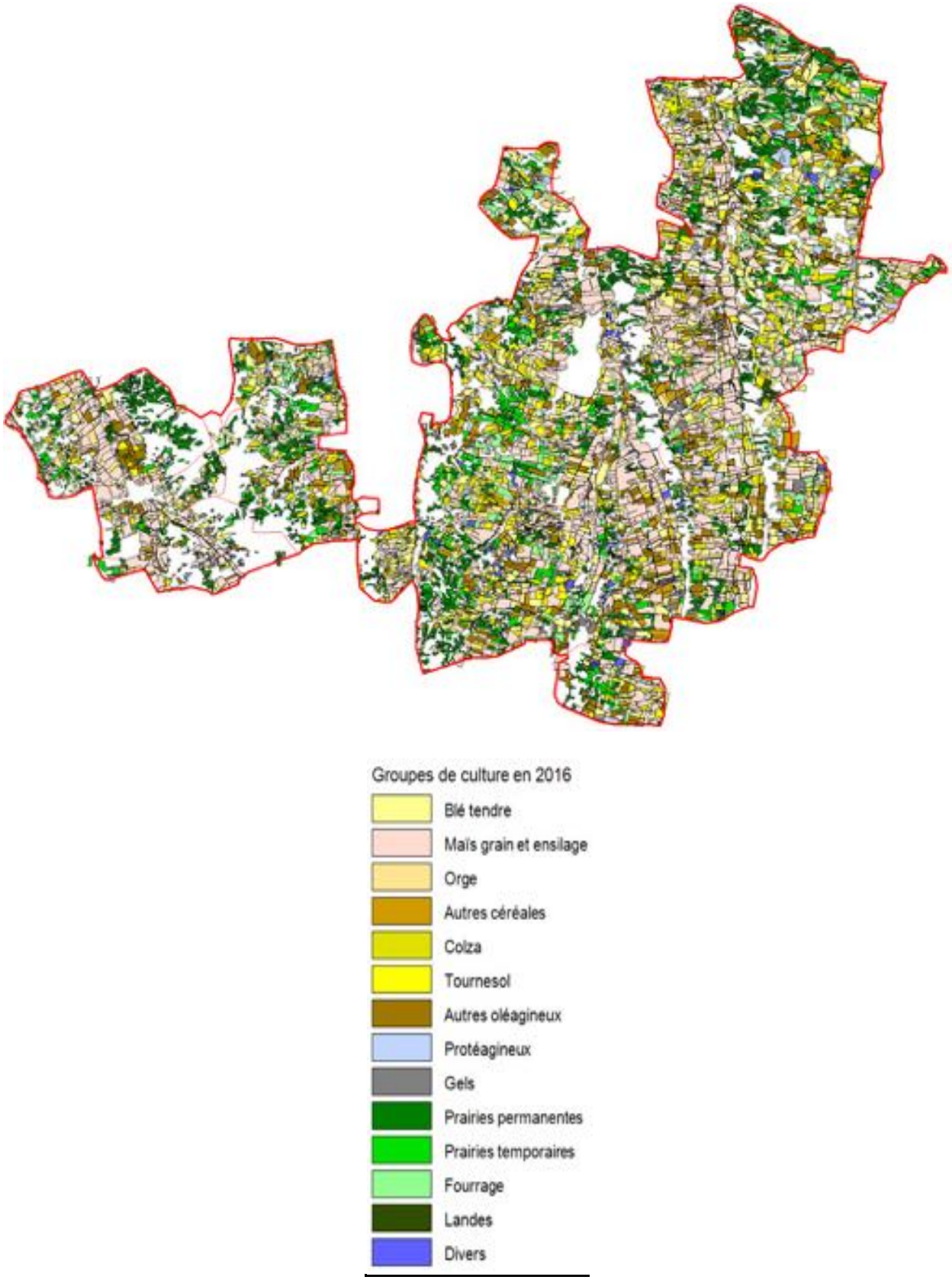
Trois groupes de cultures représentent plus de la moitié des surfaces :

- Mais grain et ensilage – 6 600 ha (26 % de la SAU).
- Blé tendre – 4 500 ha (18 % de la SAU).
- Prairies permanentes – 3 000 ha (12 % de la SAU).

Le détail des groupes de cultures est présenté dans le tableau et la carte ci-dessous.

Tableau 1 : Astarac Arros en Gascogne - SAU 2016 (Source RPG)

| Groupe de culture | Surface (ha) | % |
|---|---|---|
| Blé tendre | **4 567** | 17,8 % |
| Maïs grain et ensilage | **6 643** | 25,9 % |
| Orge | 529 | 2,1 % |
| Autres céréales | 1 105 | 4,3 % |
| Colza | 1 075 | 4,2 % |
| Tournesol | 1 514 | 5,9 % |
| Autres oléagineux | 1 879 | 7,3 % |
| Protéagineux | 517 | 2,0 % |
| Gel | 1 053 | 4,1 % |
| Prairies permanentes | **3 052** | 11,9 % |
| Prairies temporaires | 1 761 | 6,9 % |
| Fourrage | 1 282 | 5,0 % |
| Autres productions | 647 | 2,5 % |
| **Total** | **25 624** | **100 %** |




Carte 1 : Astarac Arros en Gascogne - SAU 2016 (Source RPG)

### 2.2.2 Les cheptels 2016

En 2016, sur le territoire de la Communauté de communes, on dénombrait (source BDNI) :

- 2 94 vaches laitières
- 2 128 vaches allaitantes
- 2 842 autres bovins (génisses et broutards) de plus de 1 an

Ces animaux qui représentent les cheptels dominants du territoire, consomme de la paille pour leurs litières. On estime que ces animaux « consomment » pour leurs litières environ **3 000 tonnes de paille** par an (soit la production de près de 1 000 ha de céréales à pailles).

### 2.2.3 Les tendances observées

Parmi les tendances observées en terme d'occupation des sols, il a été observé depuis quelques années :

- Un recul important du maïs grain irrigué au profit principalement du soja irrigué.
- Un recul de l'utilisation des prairies qui s'est traduit par un abandon (et donc un enfrichement) et/ou un retournement (quand les pentes le permettaient).
- Un déploiement important de l'agriculture biologique avec des impacts très diverses sur la SAU (allongement des rotations, mise en place de prairies temporaires de type « luzerne », …).

# 3. Vers un atlas des sols et un potentiel d'exportation biomasse / Méthode

### 3.1.1 L'évolution des stocks de carbone des sols

#### 3.1.1.1 Méthodologie

Il s'agit de créer des outils (atlas et rapports) permettant d'éclairer la décision d'exporter de la biomasse (principalement des résidus de culture) à des fins énergétiques.

Cette méthodologie est centrée sur l'évolution du carbone des sols et tient compte des paramètres suivants :

- Occupation des sols.
- Type de sols (textures).
- Données climatiques (températures et précipitations).
- Systèmes de cultures et pratiques culturales actuelles.

#### 3.1.1.2 Origine des données

**a ) Bases de données existantes**

Les données d'occupation des sols (RPG, CLC) sont des données accessibles. Certaines peuvent avoir un coût comme les données du RPG.
Les types de sols (texture) sont également accessibles. Notre travail devant consister à récupérer ces données et les adapter à l'objectif (sélection des UCS les plus pertinentes).
Les données concernant le contenu carbone actuel des sols du territoire sont partiellement accessibles (à une échelle cantonale ou PRA) sur la BDAT du GIS-SOL. Le portail européen des sols propose également des données géo-référencées.
Les données climatiques sont disponibles via les portails de Météo-France.

**b ) Données locales**

Un certain nombre de données peuvent avoir déjà fait l'objet d'un traitement récent par un des partenaires du TEPcv. Il s'agira dans les premières étapes de voir comment elles pourront être mises à profit pour la présente étude.

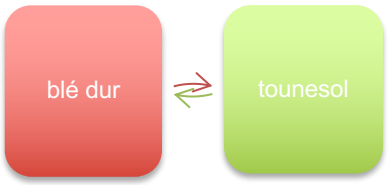
#### 3.1.1.3 Les systèmes de cultures

Les systèmes de cultures sont des combinaisons de facteurs :

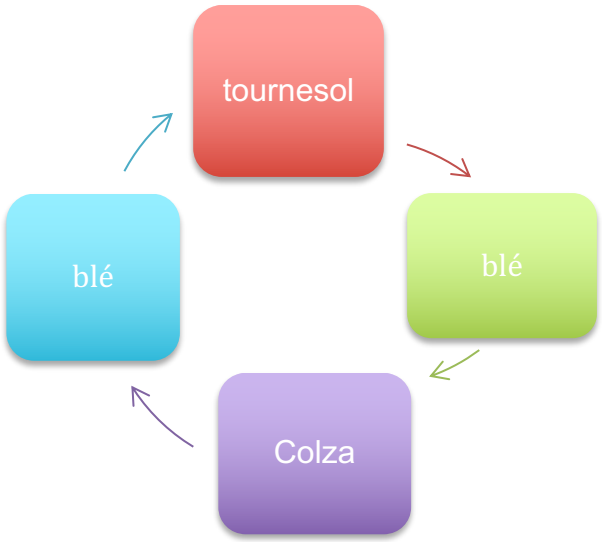
- Rotations.
- Type de sols.
- Climat.
- Pratiques culturales.

A l'échelle du territoire, un nombre limité (3 à 5) de systèmes de cultures représentatifs seront définis. Ces systèmes donneront à voir l'étendu des systèmes et des pratiques, et seront le support à la modélisation dynamique du carbone des sols.

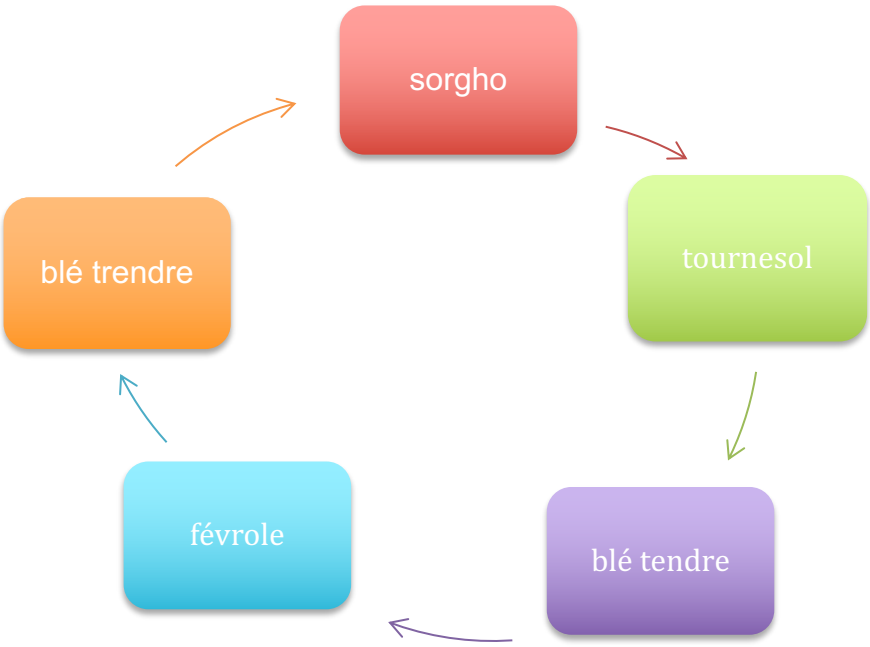
A titre d'exemple, dans les coteaux argilo-calcaires du Gers (sans irrigation), on peut trouver les systèmes de culture suivants :




| Critères | Valeurs | Commentaires |
|---|---|---|
| Nombre de cultures | 2 | |
| Part de culture d'été | 50 % | |
| Gestion de l'inter culture courte | Sols nus | |
| Gestion de l'inter culture longue | Réglementation | Réglementation |
| Travail du sol | Labour avant tournesol – déchaumage avant blé | |
| % légumineuse | 0 % | |




| Critères | Valeurs | Commentaires |
|---|---|---|
| Nombre de cultures min. | 3 | 3 cultures sur 4 ans avec au moins une culture d'hiver<br>ex. : T – B – C - B |
| Part de culture d'été | 50 % ? | |
| Part de la SAU irriguée | 0 % | En sec |
| Gestion de l'inter culture longue | Couverts | |
| Travail du sol | Labour ou non labour profond | De préférence petits labours avec charrues déchaumeuses |
| % légumineuse | | |




| Critères | Valeurs | Commentaires |
|---|---|---|
| Nombre de cultures min. | 4 | 4 cultures sur 5 ans avec un équilibre entre cultures d'été et cultures d'hiver |
| Part de culture d'été | | |
| Part de la SAU irriguée | 0% | En sec |
| Gestion de l'inter culture longue | Couverts | Couverts « optimisés » - destruction tardive |
| Gestion de l'inter culture courte | | Si possible |
| Travail du sol | Non labour superficiel (<5 cm) et semis direct | Intègre le strip-till (traçage) |
| % légumineuse | | |

Ces exemples (uniquement en sec) montrent la diversité des systèmes possibles et donnent à penser que la réponse à l'exportation de résidus sur la dynamique du carbone peut varier énormément.

Ces systèmes de cultures « théoriques » mais représentatifs seront **couplés à des cas réels sur le territoire**. Sur ces cas réels **des entretiens seront conduits** pour recueillir des informations techniques (pratiques culturales) et des **mesures de terrains** (carbone des sols, stabilité structurales,) pourront venir compléter l'analyse.

#### 3.1.1.4 Outils de modélisation de l'évolution du carbone des sols : Le modèle Simeos-AMG

SIMEOS-AMG est un outil de simulation de l'évolution des teneurs et stocks en C organique du sol fondé sur le modèle de calcul du bilan humique AMG de l'INRA de Laon. Il permet de simuler l'évolution des teneurs et stocks en matière organique du sol sous l'effet du système de culture et des conditions pédoclimatiques. Il permet également de visualiser rapidement l'effet d'un changement de pratiques culturales sur le statut organique du sol, à moyen ou long terme.

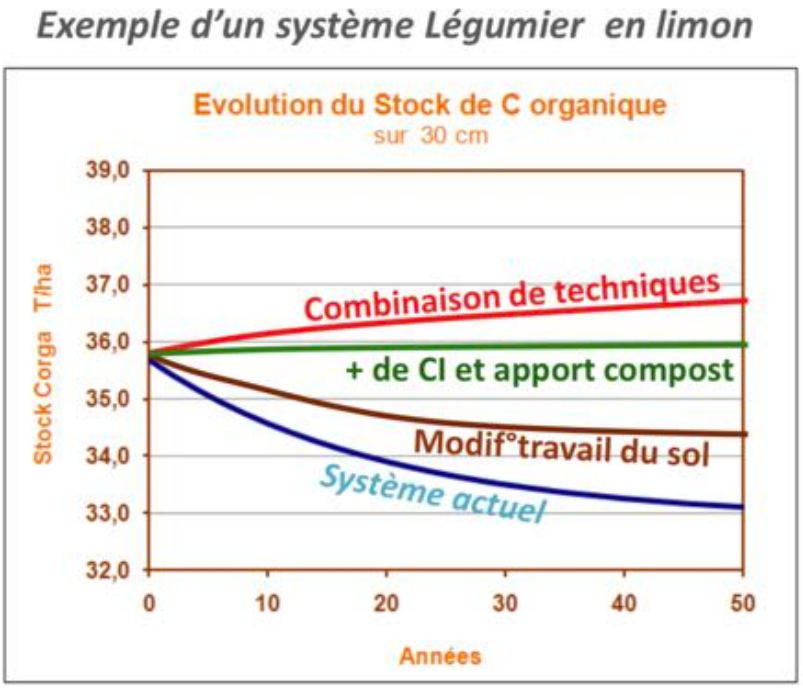



Figure 1 : Exemple de représentation de l'évolution de l'état organique des sols – Source Simeos-AMG

### 3.1.2 Les modifications des pratiques actuelles

La dernière étape de cette approche sur la modélisation de l'état organique des sols repose sur la définition de pratiques culturales pouvant maintenir et/ou augmenter les quantités des carbones des sols (augmentation des apports internes, augmentation des apports exogènes).
Les pratiques sélectionnées sur le territoire et affectées à des systèmes de cultures feront l'objet de modélisation (Siméos-AMG).

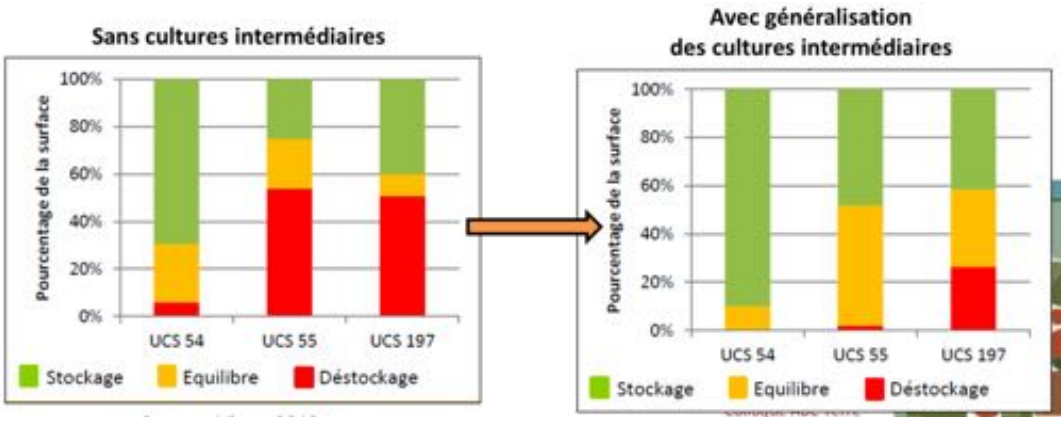



Figure 2 : Exemple de représentation de l'évolution de l'état organique des sols par UCS en fonction de l'adoption de nouvelles pratiques – Source Simeos-AMG

#### 3.1.2.1 Visualisation des résultats

L'ensemble des résultats fera l'objet d'un travail de représentation permettant d'animer les discussions des groupes techniques.

### 3.1.2.2 Des outils pertinents en cours de développement

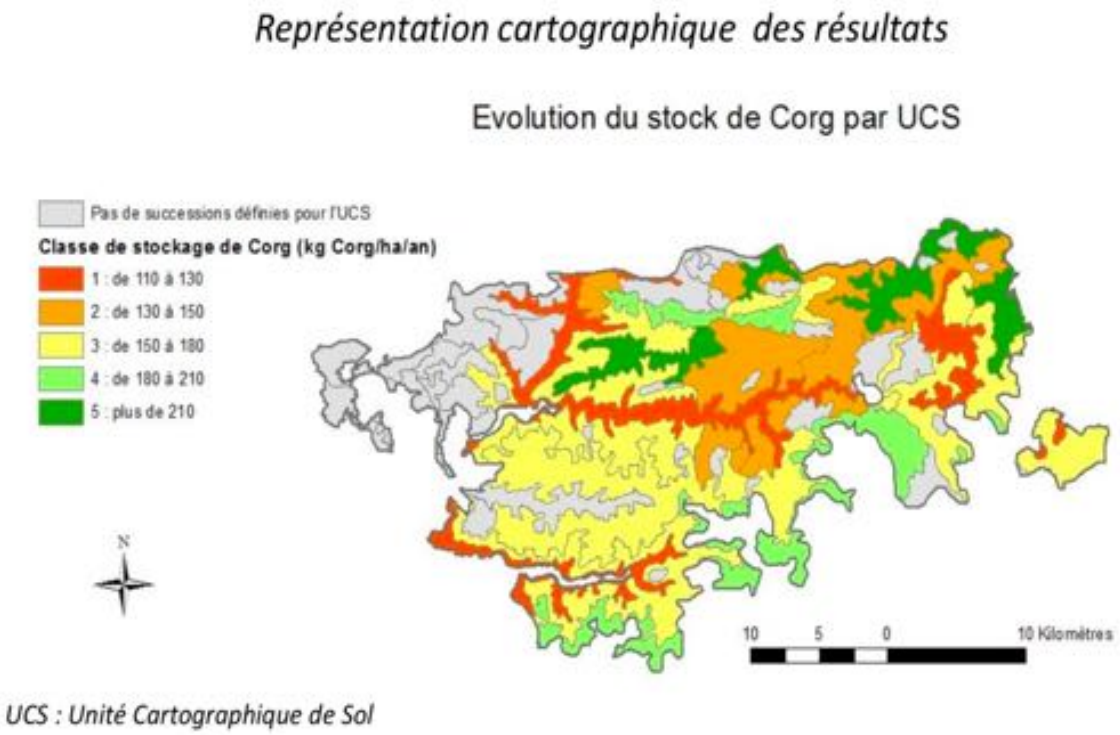
L'outil ABC'Terre (la démarche) est en cours de finalisation. Cet outil est conçu pour donner les moyens à un territoire d'avoir une gestion intégrée des résidus de cultures et de pouvoir :

- visualiser les zones où les prélèvements sont possibles,
- de quantifier les effets de la mise en place de nouvelles pratiques agricoles.

Développer par AgroTransfert et AgroParisTech, cet outil est en cours de finalisation et sera « déployé » prochainement (via des formations et des licences d'utilisation). La représentation graphique d'ABC'Terre est basé sur le RPG et les UCS.

ABC'Terre se base sur deux outils :

- RPG Explorer.
- Simeos-AMG.




Carte 2 : Exemple de résultats obtenus à l'échelle d'un territoire par la méthode ABC'Terre

# 4. Vers un atlas des sols et un potentiel d'exportation biomasse / Résultats

## 4.1 La qualification des sols – référentiel UCS

### 4.1.1 Les données disponibles

La qualité de sols est aujourd'hui un enjeu majeur en matière d'environnement. Les enjeux sont multiples en termes de gestion durable des territoires et de leurs ressources. Pour y répondre, il est nécessaire de connaître de façon précise les propriétés des sols et leur localisation.

En région ex-Midi-Pyrénées, il existe une carte à l'échelle 1 / 500 000 établie à partir du référentiel morpho-pédologiques des sols de Midi-Pyrénées disponible sur le site de la Chambre régionale d'agriculture Occitanie (Longueval et al., 1995). Toutefois, pour améliorer encore la connaissance des sols, le programme « Inventaire, Gestion et Conservation des Sols » (IGCS), a été élaboré par le ministère en charge de l'Agriculture, l'INRA et l'IRD. Ce programme intègre des opérations d'inventaire à différentes échelles dont le volet Référentiel Régional Pédologique (RRP). Ce référentiel donne une vision des sols à l'échelle régionale ou départementale, cette fois au 1 / 250 000.

Le CNRS via le laboratoire EcoLab a finalisé les Référentiels Régionaux Pédologiques (RRP) à l'échelle 1 / 250 000 et les **bases de données Donesol** associées (Infosol, 2013) pour les départements d'ex Midi-Pyrénées. Ce travail a permis la reconnaissance et la caractérisation des Pédo-Paysages de Midi-Pyrénées dont le département du Gers.
Ces **données transmises par le CNRS-EcoLab** pour mener cette présente étude ont permis la réalisation des cartes présentées dans l'étude. Basées sur la bibliographie existante, observations et profils pédologiques, 46 Unités Cartographiques de Sols (UCS) ont été définies permettant de décrire plus de 60 Unité Typologiques de sols (UTS) pour le département du Gers (le RRP du département du Gers a été élaborée entre 2013 et 2016 par le CNRS-EcoLab, sous la direction de M. Guiresse).

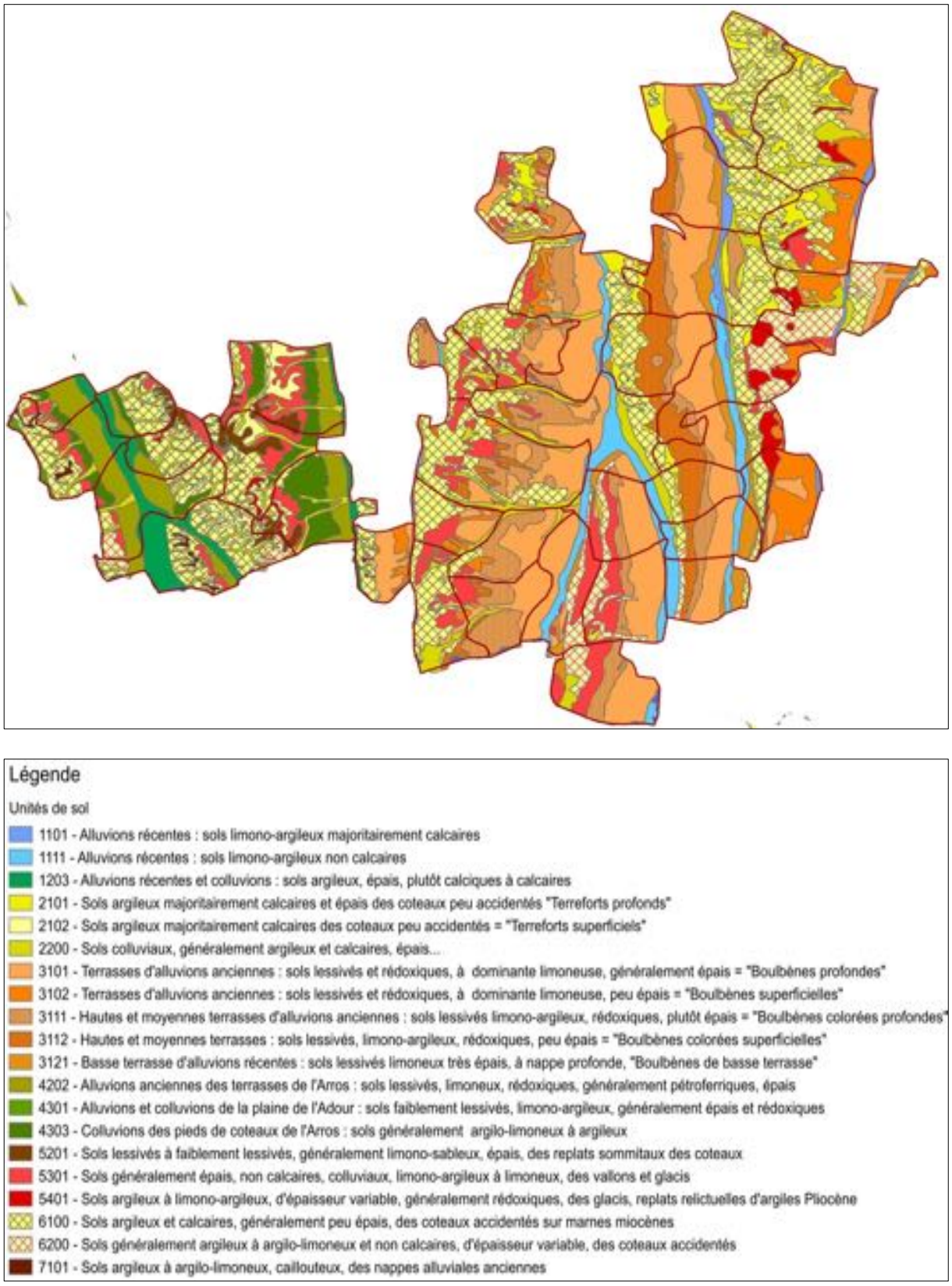
En complément de ces données UCS-UTS, une série d'analyses de sols a permis de définir in fine **4 « formations » sol** à l'échelle de la Communauté de Communes Astarac Arros décrites dans les paragraphe suivants : **Boulbènes profondes, Boulbènes profondes colorées, Argilo-calcaires et Argilo-limoneux.**

### 4.1.2 Définition des UCS de la Communauté de Communes

Le Référentiel Régional Pédologique a donc permis dans un premier temps, à l'échelle de la communauté de communes, d'identifier 20 UCS. Ils sont présentés dans le tableau et la carte ci-dessous.

Table 2 : Les UCS de la Communauté de Communes Astarac Arros en Gascogne

| Intitulé de l'UCS | Code UCS |
|---|---|
| Alluvions récentes des rivières secondaires de la Gascogne : sols limono-argileux majoritairement calcaires | **1101** |
| Alluvions récentes des rivières secondaires de la Gascogne et du Gers : sols limono-argileux non calcaires, peu caillouteux | **1111** |
| Alluvions récentes et colluvions de l'Adour et de ses affluents, secteur Arros-Bouès : sols argileux, épais, plutôt calciques à calcaires en rive droite | **1203** |
| Sols argileux majoritairement calcaires et épais des coteaux peu accidentés de la Gascogne sur marnes miocènes ou "Terreforts profonds" | **2101** |
| Sols argileux essentiellement calcaires et peu épais des coteaux peu accidentés de la Gascogne sur marnes miocènes ou "Terreforts superficiels" | **2102** |
| Sols colluviaux, généralement argileux et calcaires, épais, des glacis colluviaux et fonds de talwegs étroits | **2200** |
| Terrasses d'alluvions anciennes des rivières secondaires de la Gascogne : sols lessivés et rédoxiques, à dominante limoneuse, généralement épais, "Boulbènes profondes" | **3101** |
| Terrasses d'alluvions anciennes et talus entre terrasses des rivières secondaires de la Gascogne : sols lessivés et rédoxiques, à dominante limoneuse, peu épais, "Boulbènes superficielles" | **3102** |
| Hautes et moyennes terrasses d'alluvions anciennes des rivières secondaires : sols lessivés à faiblement lessivés limono-argileux, rédoxiques, plutôt épais, "Boulbènes colorées profondes" | **3111** |
| Hautes et moyennes terrasses d'alluvions anciennes des rivières secondaires de la Gascogne : sols lessivés à faiblement lessivés, limono-argileux, rédoxiques, généralement peu épais, "Boulbènes colorées superficielles" | **3112** |
| Basse terrasse d'alluvions récentes des rivières secondaires de la Gascogne : sols lessivés limoneux très épais, à nappe profonde, "Boulbènes de basse terrasse" | **3121** |
| Alluvions anciennes des terrasses des affluents de l'Adour (Arros, Bouès) : sols lessivés, limoneux, rédoxiques, généralement pétroferriques, épais | **4202** |
| Alluvions et colluvions des pieds de coteaux de la plaine de l'Adour : sols faiblement lessivés, limono-argileux, généralement épais et rédoxiques | **4301** |
| Colluvions des pieds de coteaux des affluents de la plaine de l'Adour (Arros, Bouès) : sols généralement argilo-limoneux à argileux, localement calcaires en rive droite, épais, faiblement rédoxiques | **4303** |
| Sols lessivés à faiblement lessivés, généralement limono-sableux, épais, des replats sommitaux des coteaux du nord de la plaine de l'Adour | **5201** |
| Sols généralement épais, non calcaires, colluviaux, limono-argileux à limoneux, des vallons et glacis dans les coteaux de l'Adour et de la Gascogne | **5301** |
| Sols argileux à limono-argileux, d'épaisseur variable, généralement rédoxiques, des glacis, replats et buttes relictuelles d'argiles Pliocène ou de nappes alluviales anciennes | **5401** |
| Sols argileux et calcaires, généralement peu épais, des coteaux accidentés de la Gascogne sur marnes miocènes | **6100** |
| Sols généralement argileux à argilo-limoneux et non calcaires, d'épaisseur variable, des coteaux accidentés du sud de la Gascogne | **6200** |
| Sols argileux à argilo-limoneux, caillouteux, des nappes alluviales anciennes | **7101** |




Carte 3 : Les UCS de la Communauté de Communes Astarac Arros en Gascogne

Parmi ces 20 types de sols, on trouve **4 formations** qui représentent plus de la moitiés des surfaces agricoles (le détail des 20 UCS est présenté dans le tableau ci-après):

- Terrasses d'alluvions anciennes des rivières secondaires de la Gascogne : sols lessivés et rédoxiques, à dominante limoneuse, généralement épais, "Boulbènes profondes" – 5 700 ha (22 % de la SAU).
- Sols argileux et calcaires, généralement peu épais, des coteaux accidentés de la Gascogne sur marnes miocènes – 4 300 ha (17 % de la SAU).
- Hautes et moyennes terrasses d'alluvions anciennes des rivières secondaires : sols lessivés à faiblement lessivés limono-argileux, rédoxiques, plutôt épais, "Boulbènes colorées profondes" – 2 200 ha (9 % de la SAU).
- Sols généralement épais, non calcaires, colluviaux, limono-argileux à limoneux, des vallons et glacis dans les coteaux de l'Adour et de la Gascogne – 2 000 ha (8 % de la SAU).

Table 3 : Les UCS et leur représentation dans la SAU de la Communauté de Communes Astarac Arros en Gascogne

| | Description | Surface (en ha) | % |
|---|---|---|---|
| **3101** | « Boulbènes profondes" | **5 700** | 22,2 % |
| **6100** | "Sols argileux et calcaires" | **4 282** | 16,7 % |
| **3111** | "Boulbènes colorées profondes" | **2 246** | 8,8 % |
| **5301** | "Sols généralement épais, non calcaires, limono-argileux à limoneux" | **2 001** | 7,8 % |
| **2200** | "Sols colluviaux, généralement argileux et calcaires, épais" | 1 489 | 5,8 % |
| **3112** | "Boulbènes colorées superficielles" | 1 420 | 5,5 % |
| **3102** | "Boulbènes superficielles" | 1 397 | 5,5 % |
| **4202** | Alluvions anciennes des terrasses : sols lessivés, limoneux, épais | 1 183 | 4,6 % |
| **1111** | Alluvions récentes : sols limono-argileux non calcaires, peu caillouteux | 927 | 3,6 % |
| **3121** | "Boulbènes de basse terrasse" | 855 | 3,3 % |
| **2101** | "Terreforts profonds" | 831 | 3,2 % |
| **6200** | Sols argileux à argilo-limoneux, non calcaires de coteaux | 785 | 3,1 % |
| **4303** | Colluvions des pieds de coteaux, argilo-limoneux à argileux, épais | 759 | 3,0 % |
| **1203** | Alluvions récentes : sols argileux, épais, plutôt calciques | 645 | 2,5 % |
| **1101** | Alluvions récentes : sols limono-argileux majoritairement calcaires | 359 | 1,4 % |
| **5401** | Sols argileux à limono-argileux, sur glacis, replats et buttes relictuelles d'argiles… | 336 | 1,3 % |
| **5201** | Sols lessivés à faiblement lessivés, généralement limono-sableux, épais, des replats sommitaux des coteaux du nord de la plaine de l'Adour | 172 | 0,7 % |
| **2102** | "Terreforts superficiels" | 132 | 0,5 % |
| **4301** | Alluvions et colluvions des pieds de coteaux, limono-argileux, épais et rédoxiques | 39 | 0,2 % |
| **7101** | Sols argileux à argilo-limoneux, caillouteux, des nappes alluviales anciennes | 34 | 0,1 % |
| | **ENSEMBLE** | **25 624** | **100 %** |

### 4.1.3 Regroupement et sélection de 4 grandes entités « sols »

Par soucis de simplification, pour la partie « modélisation de la dynamique du carbone » de l'étude nous retiendrons les 4 formations dominantes.

Les résultats obtenus sur ces 4 UCS seront « extrapolés » aux autres formations :

- 3101 – « Boulbènes profondes » sera associé aux UCS 3102, 3121, 4202, 5201
  - Avec 16,5 % d'argile
  - Un taux de CaCO3 inférieur ou égal à 5 g / kg
  - Une teneur en Carbone organique médian de 9 g/ kg soit un taux de Matière Organique compris entre **1,55 % et 1,8 %**
- 6100 – « Argilo-calcaire » sera associé aux UCS 2200, 2101, 2102, 1203, 1101
  - Avec 35 % d'argile
  - Un taux de CaCO3 de 130 g / kg
  - Charge en cailloux : 7,5%
  - Une teneur en Carbone organique médian de 10 g / kg soit un taux de Matière Organique compris entre **1,7 % et 2,0 %**
- 3111 – « Boulbènes profondes colorées » sera associé aux UCS 3112, 1111
  - Avec 20,5 % d'argile
  - Un taux de CaCO3 inférieur ou égale à 5 g / kg
  - Une teneur en Carbone organique médian de 11 g / kg soit un taux de Matière Organique compris entre **1,9 % et 2,2 %**
- 5301 – « Argilo-limoneux non calcaire » sera associé aux UCS 4303 6200, 5401, 4301, 7101
  - Avec 25 % d'argile
  - Un taux de CaCO3 inférieur ou égale à 5 g /kg
  - Charge en cailloux : 7,5%
  - Une teneur en Carbone organique médian de 10 g / kg soit un taux de Matière Organique compris entre **1,7 % et 2,0 %**

Les **taux de matière organique** listés ci-dessus sont issus de valeurs proposées par SOLAGRO (Source Donesol) puis modifiées à la suite des entretiens menés avec les experts des 3 coopératives présentes sur le territoire.

*Note : La densité apparente, elle a été fixée à 1,4 pour les 4 entités.*

## 4.2 La qualification des systèmes de cultures

En utilisant les données du RGP sur 5 années de 2012 à 2016, nous avons reconstitué les principales rotations sur les 25 000 ha de SAU de la Communauté de Communes Astarac Arros en Gascogne.
Six rotations (sur les **11 identifiées**) occupent plus de 70 % de la SAU (en moyenne sur la période). Il s'agit :

- Des prairies (permanentes ou temporaires) – 5 200 ha (soit 20 % de la SAU).
- Des rotations dites « maïs-maïs », dans lesquelles le maïs revient au moins 4 années sur 5 – 5 200 ha (soit 20 % de la SAU).
- Des rotations dites « maïs-céréales à pailles », dans lesquelles le maïs revient au moins 3 années sur 5 et est complémenté par au moins un blé tendre– 3 200 ha (soit 12 % de la SAU).
- Des rotations dites « céréales à pailles – tournesol », dans lesquelles blé tendre et tournesol reviennent au moins 4 années sur 5 – 3 000 ha (soit 12 % de la SAU).
- Des rotations dites « céréales – colza », dans lesquelles blé tendre et colza reviennent au moins 4 années sur 5 – 1 500 ha (soit 6 % de la SAU).
- Des rotations dites « céréales – oléagineux », dans lesquelles blé tendre et colza et/ou tournesol reviennent au moins 4 années sur 5 – 1 400 ha (soit 5 % de la SAU).

L'ensemble des 11 rotations est présenté dans le tableau ci-après.

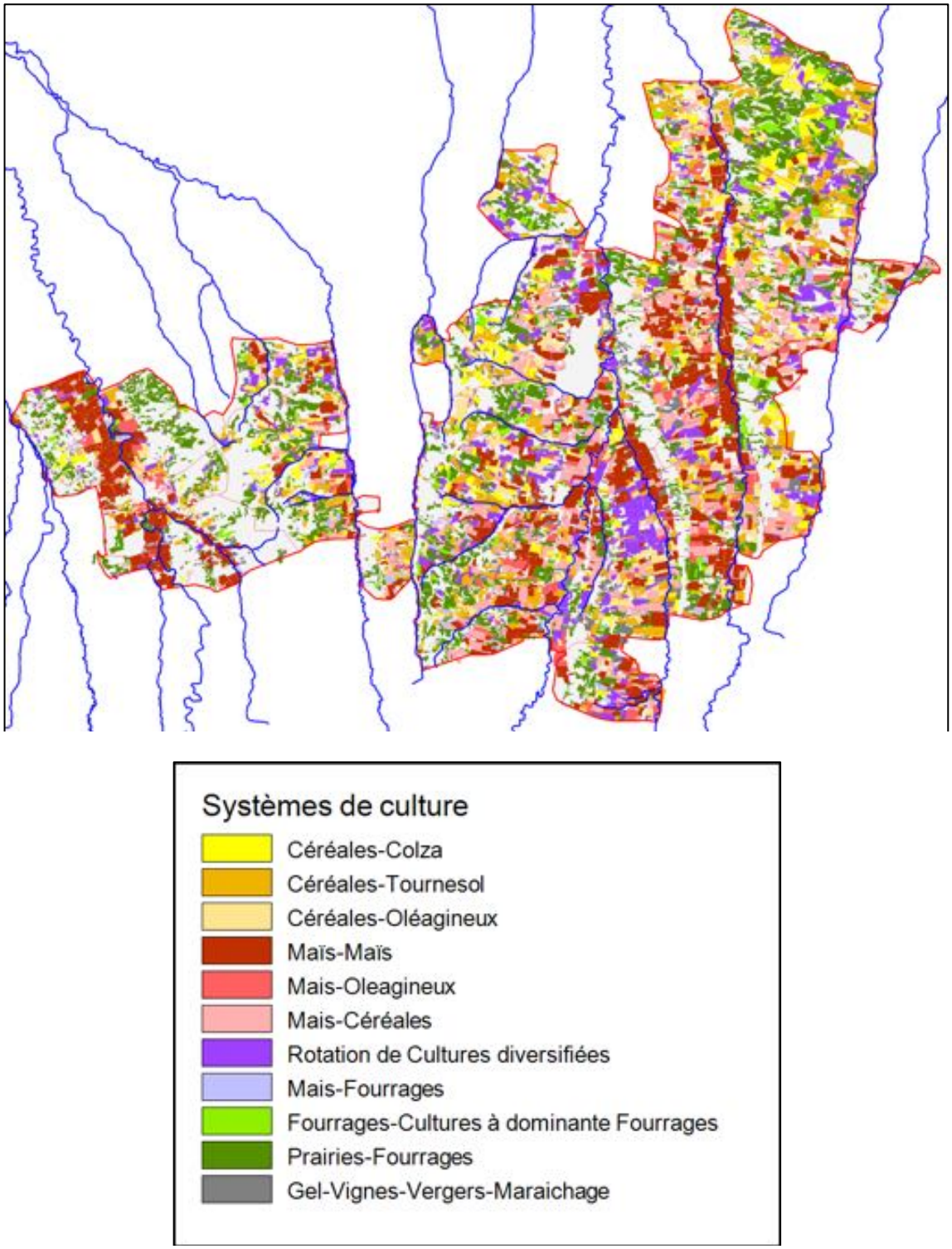
Tableau 4 : Système de cultures (2012 – 2016)

| Systèmes de culture | Systèmes de culture – description | Surface (en ha) | % |
|---|---|---|---|
| **Prairies-Fourrages** | Prairies permanents/temporaires avec/sans fourrages annuels | 5 160 | **20,1 %** |
| **Maïs-Maïs** | Maïs au moins 4 fois en 5 ans | 5 153 | **20,1 %** |
| **Maïs-Céréales** | Maïs dominant : maïs au moins 3 ans/5 | 3 166 | **12,4 %** |
| **Céréales-Tournesol** | Céréales (blé) et tournesol au moins 4 ans/5 | 2 976 | **11,6 %** |
| **Céréales-Colza** | Céréales (blé) et colza au moins 4 ans/5 | 1 440 | **5,6 %** |
| **Céréales-Oléagineux** | Céréales et oléagineux (colza, tournesol, autres) au moins 4 ans/5 | 1 392 | **5,4 %** |
| **Rotation de cultures diversifiées** | Au moins 4 catégories de cultures ≠ (céréales, maïs, oléagineux, légumineuses, protéagineux, fourrage), ou seulement cultures et prairies temporaires. | 2 600 | 10,1 % |
| **Gel-Vignes-Vergers-Maraichage** | Principalement gel et vergers (noix…). | 1 571 | 6,1 % |
| **Maïs-Oléagineux** | Maïs et oléagineux (colza, tournesol, …) | 1 056 | 4,1 % |
| **Fourrages-cultures annuelles** | Prairies temporaires/annuelles combinés avec céréales et/ou oléo-protéagineux | 708 | 2,8 % |
| **Maïs-Fourrages** | Maïs & prairies temporaires ou fourrages annuels | 402 | 1,6 % |
| **Ensemble** | | **25 624** | **100 %** |

## 4.3 Croisements et coulpes sol/systèmes de cultures identifiés

### 4.3.1 Localisation des systèmes de cultures

En traitant les données du RPG, il est possible de définir (quantifier) des systèmes de cultures dominants et de les localiser. La carte ci-après présente la distribution des systèmes de cultures à l'échelle du territoire.




Carte 4 : Répartition des 11 systèmes de cultures identifiés à l'échelle du territoire

### 4.3.2 Croisement entre systèmes de cultures et UCS

Les 11 systèmes de cultures sont inégalement répartis sur les 20 UCS. Sur les 4 UCS dominantes on trouve :

- Sur les **boulbènes**, près de la moitié de la SAU est occupée par des systèmes dominés par le maïs (« **maïs-maïs** » et « **maïs-céréales à pailles** »), les autres surfaces sont occupées, en autres, par des systèmes sans maïs et avec céréales à paille (couplée avec un colza ou un tournesol).
- Sur les **sols argileux et calcaires**, près de la moitié de la SAU est occupée par des prairies. Sur les surfaces restantes, la moitié est occupée par des systèmes sans maïs avec des céréales à paille (« **Céréales-Tournesol** » - « **Céréales-Colza** » - « **Céréales-Oléagineux** »). Parmi ces 3 systèmes de cultures, le système « Céréales-Tournesol » est majoritaire.
- Sur les **boulbènes colorées**, (a priori les terres les plus fertiles et irrigables) on retrouve une dominante de systèmes de cultures avec du maïs (« **Maïs-Maïs** » et « **Maïs-Céréales à pailles** »), sur près de 40 % des surfaces ; puis on retrouve les systèmes « **Céréales-Tournesol** » et « **Céréales-Colza** ».
- Sur les sols **limono-argileux non calcaires**, un quart des surfaces est occupé par des prairies. Le reste des surfaces, les systèmes à base de maïs et de céréales à paille sont présents sans qu'un système ne prédomine.

## 4.4 Les combinaisons sols/systèmes de cultures analysées

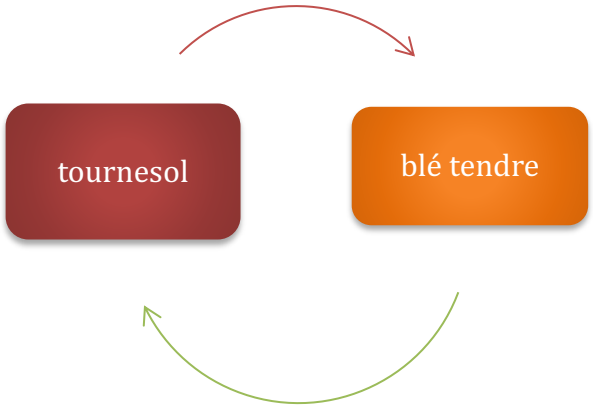
### 4.4.1 Introduction

Parmi les systèmes de cultures présents sur le territoire, les plus représentatifs ont fait l'objet d'une simulation « carbone ». Ces systèmes ont été co-construits par Solagro (sur la base du RGP) et les représentants des coopératives agricoles présentes sur le territoire : **Gercy-coop, Vivadour et Euralis**. Les entretiens menés avec ces 3 coopératives nous ont permis d'affiner notre vision technique des systèmes de cultures et de tenir compte des tendances récentes (comme par exemple le recul du maïs au profit du soja) et des variantes possibles.

Dans les paragraphes suivant les systèmes de cultures sont décrits par UCS avec leur variantes. 2 niveaux de variantes ont été envisagés :

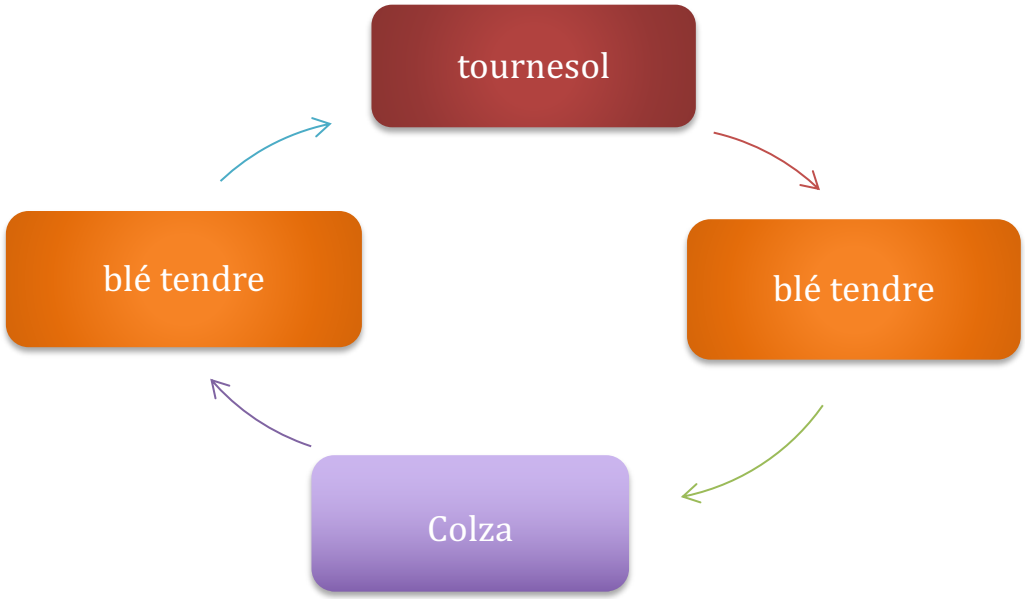
- Variante de niveau 1 : des améliorations techniques déjà présentes sur le territoire mais non majoritaires (généralement entre 10 % et 20 % des agriculteurs utilisent déjà les améliorations décrites).
- Variante de niveau 2 : des améliorations techniques possibles mais très marginales (<10 % des agricultures) sur le territoire.

### 4.4.2 Sur les boulbènes profondes



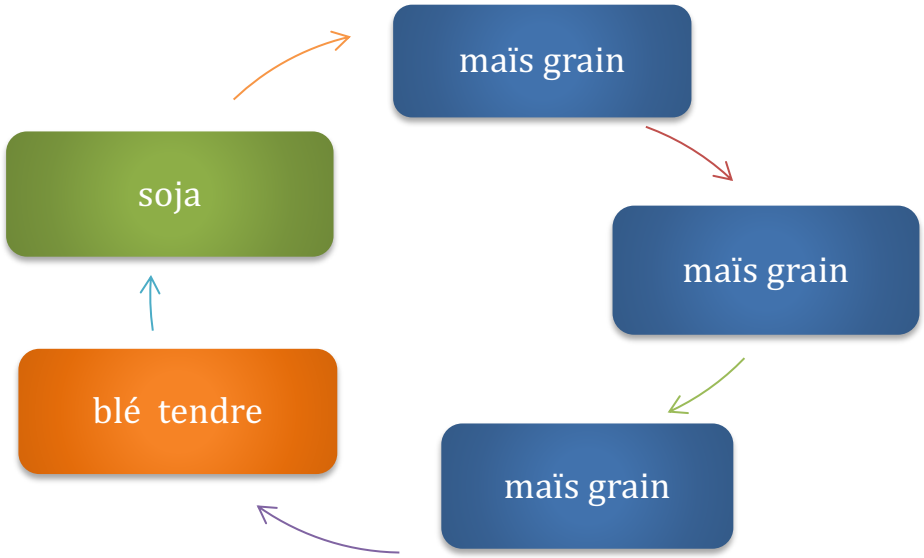

| Code UCS : **BbP** | Valeurs | Commentaires | **Codes cultures** |
|---|---|---|---|
| Rotation | Blé tendre d'hiver – tournesol | | **C – To 1.1** |
| Part de la SAU irriguée | 0 % | En sec | |
| Conduite du blé tendre | Non labour (20 cm), semis octobre-novembre, rendement 60 qtx | | |
| Conduite du tournesol | Labour (25 cm), rendement 30 qtx | | |
| Gestion des pailles | Restitution des pailles de blé et de tournesol | | |
| Gestion de l'interculture | Sols nus | | |
| **Variante 1** (<15 % des cas) | Mise en place d'une interculture (type féverole) une année sur 2 entre blé et tournesol – semis septembre – destruction mars/avril – rendement entre 2 et 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **C – To 2.1** |
| **Variante 2** (<5 % des cas) | Suppression du labour avant tournesol (non labour profond 20 cm) – non labour superficiel avant blé (max 15 cm) - Mise en place d'une interculture (type féverole) une année sur 2 entre blé et tournesol - rendement > 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **C – To 3.1** |

**code simulation Siméos-AMG : **BbPCTo1.1 / BbPCTo2.1 / BbPCTo3.1***




| Code UCS : **BbP*** | Valeurs | Commentaires | **Codes cultures*** |
|---|---|---|---|
| Rotation | Tournesol – blé tendre – colza blé tendre | | **C – Co 1.1** |
| Part de la SAU irriguée | 0 % | En sec | |
| Conduite du blé tendre | Non labour (20 cm), semis octobre-novembre, rendement 60 qtx | | |
| Conduite du tournesol | Labour (25 cm), rendement 30 qtx | | |
| Conduite du colza | Labour (25 cm), rendement 30 qtx | | |
| Gestion des pailles | Restitution de toutes les pailles | | |
| Gestion de l'interculture | Sols nus | | |
| **Variante 1** (<15 % des cas) | Mise en place d'une **plante compagne** sur colza (type légumineuses gélives < 2 TMS)<br>Mise en place d'une **interculture** (type féverole) une année sur 4 entre blé et tournesol – semis septembre – destruction mars/avril – rendement entre 2 et 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **C – Co 2.1** |
| **Variante 2** (<5 % des cas) | Mise en place d'une **plante compagne** sur colza (type légumineuses gélives < 2 TMS)<br>**Suppression du labour** avant tournesol (non labour profond 20 cm) – non labour superficiel avant blé (max 15 cm) - Mise en place d'une **interculture** (type féverole) une année sur 4 entre blé et tournesol - rendement > 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **C – Co 3.1** |

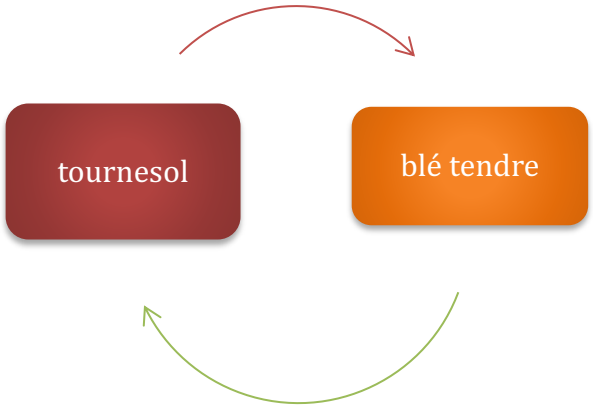
**code simulation Siméos-AMG : **BbPCCo1.1 / BbPCCo2.1 / BbPCCo3.1***




| Code UCS : **BbP*** | Valeurs | Commentaires | **Codes cultures*** |
|---|---|---|---|
| Rotation | Maïs (irri) – maïs (irri) – maïs (irri) – blé tendre – soja (irri) | | **M – M 1.1** |
| Part de la SAU irriguée | 80 % | Irrigation maïs et soja | |
| Conduite du blé tendre | Non labour (20 cm), semis octobre-novembre, rendement 60 qtx | | |
| Conduite du maïs | Labour (25 cm), irrigation 200 mm, rendement 110 qtx | | |
| Conduite du soja | Labour (25 cm), irrigation 150 mm, rendement 30 qtx | | |
| Gestion des pailles | Restitution de toutes les pailles | | |
| Gestion de l'interculture | Sols nus | | |
| **Variante 1** (<15 % des cas) | Mise en place d'une **interculture** (type féverole) une année sur 5 entre blé et soja – semis septembre – destruction mars/avril – rendement entre 2 et 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **M – M 2.1** |
| **Variante 2** (<5 % des cas) | **Suppression du labour** avant maïs et soja (non labour profond 20 cm) – non labour superficiel avant blé (max 15 cm) - Mise en place d'une **interculture** (type féverole) une année sur 5 entre blé et soja – rendement > 3 TMS. Mise en place d'une **interculture** (type graminée) une année sur 5 entre deux maïs – rendement entre 2 et 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **M – M 3.1** |

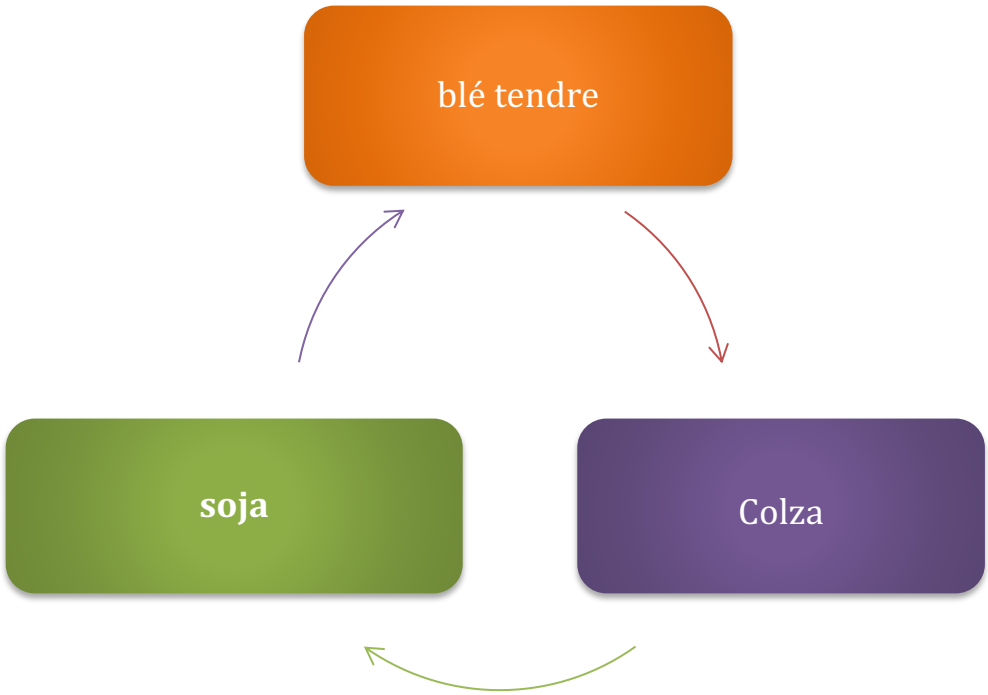
**code simulation Siméos-AMG : **BbPMM1.1 / BbPMM2.1 / BbPMM3.1***

### 4.4.3 Sur les boulbènes profondes colorées



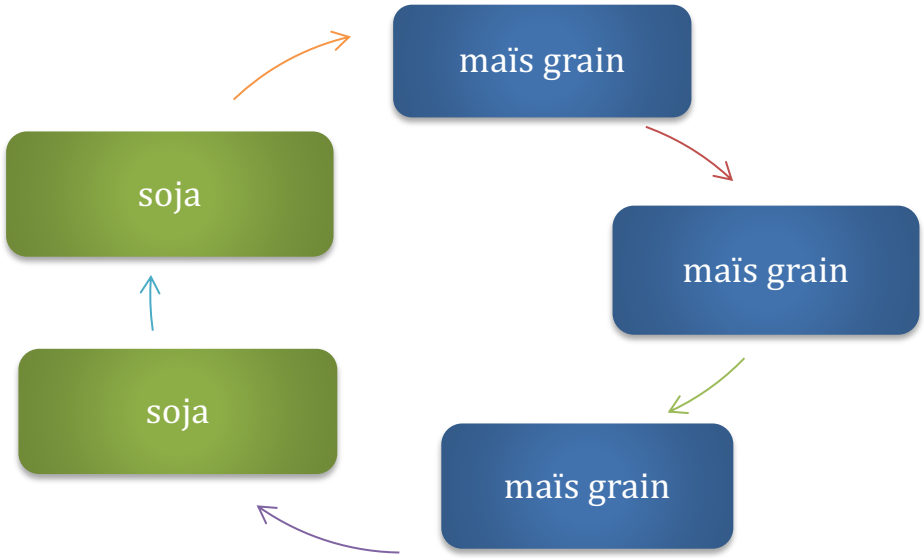

| Code UCS : **BbPc*** | Valeurs | Commentaires | **Codes cultures*** |
|---|---|---|---|
| Rotation | Blé tendre d'hiver – tournesol | | **C – To 1.1** |
| Part de la SAU irriguée | 0 % | En sec | |
| Conduite du blé tendre | Non labour (20 cm), semis octobre-novembre, rendement 65 qtx | | |
| Conduite du tournesol | Labour (25 cm), rendement 35 qtx | | |
| Gestion des pailles | Restitution des pailles de blé et de tournesol | | |
| Gestion de l'interculture | Sols nus | | |
| **Variante 1** (<15 % des cas) | Mise en place d'une interculture (type féverole) une année sur 2 entre blé et tournesol – semis septembre – destruction mars/avril – rendement entre 2 et 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **C – To 2.1** |
| **Variante 2** (<5 % des cas) | Suppression du labour avant tournesol (non labour profond 20 cm) – non labour superficiel avant blé (max 15 cm) - Mise en place d'une interculture (type féverole) une année sur 2 entre blé et tournesol - rendement > 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **C – To 3.1** |

**code simulation Siméos-AMG : **BbPcCTo1.1 / BbPcCTo2.1 / BbPcCTo3.1***




| Code UCS : **BbPc*** | Valeurs | Commentaires | **Codes cultures*** |
|---|---|---|---|
| Rotation | Soja (irri) - blé tendre – colza blé tendre | | **C – Co 1.1** |
| Part de la SAU irriguée | 33 % | Irrigation du soja | |
| Conduite du blé tendre | Non labour (20 cm), semis octobre-novembre, rendement 65 qtx | | |
| Conduite du soja | Labour (25 cm), irrigation 150 mm, rendement 35 qtx | | |
| Conduite du colza | Labour (25 cm), rendement 35 qtx | | |
| Gestion des pailles | Restitution de toutes les pailles | | |
| Gestion de l'interculture | Sols nus | | |
| **Variante 1** (<15 % des cas) | Mise en place d'une **plante compagne** sur colza (type légumineuses gélives < 2 TMS)<br>Restitution des pailles | | **C – Co 2.1** |
| **Variante 2** (<5 % des cas) | Mise en place d'une **plante compagne** sur colza (type légumineuses gélives < 2 TMS)<br>**Suppression du labour** avant soja et colza (non labour profond 20 cm) – non labour superficiel avant blé (max 15 cm) - Mise en place d'une **interculture** (type féverole) une année sur 3 entre colza et soja – rendement > 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **C – Co 3.1** |

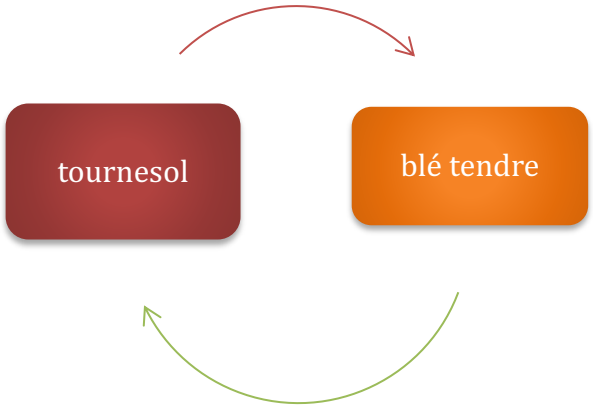
**code simulation Siméos-AMG : **BbPcCCo1.1 / BbPcCCo2.1 / BbPcCCo3.1***




| Code UCS : **BbPc*** | Valeurs | Commentaires | **Codes cultures*** |
|---|---|---|---|
| Rotation | Maïs (irri) – maïs (irri) – maïs (irri) – soja (irri) – soja (irri) | | **M – M 1.1** |
| Part de la SAU irriguée | 100 % | Irrigation maïs et soja | |
| Conduite du maïs | Labour (25 cm), irrigation 200 mm, rendement 120 qtx | | |
| Conduite du soja | Labour (25 cm), irrigation 150 mm, rendement 35 qtx | | |
| Gestion des pailles | Restitution de toutes les pailles | | |
| Gestion de l'interculture | Sols nus | | |
| **Variante 1** (<15 % des cas) | Mise en place d'une **interculture** une année sur 5 entre 2 maïs – semis fin septembre – destruction mars/avril – rendement entre 2 et 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **M – M 2.1** |
| **Variante 2** (<5 % des cas) | **Suppression du labour** avant maïs et soja (non labour profond 20 cm) - Mise en place d'une **interculture** 2 année sur 5 entre 2 maïs – rendement > 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **M – M 3.1** |

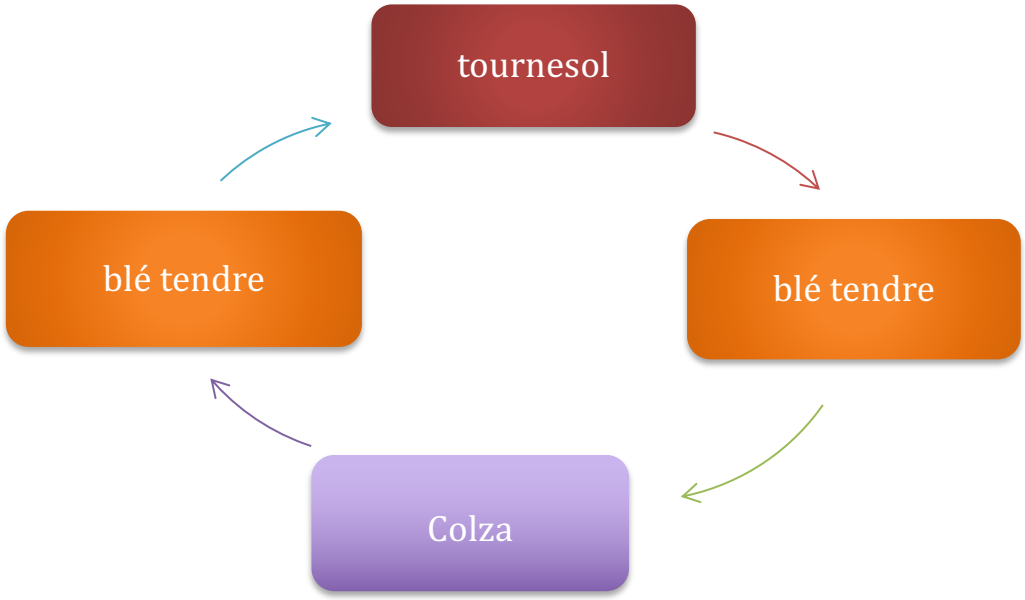
**code simulation Siméos-AMG : **BbPcMM1.1 / BbPcMM2.1 / BbPcMM3.1***

### 4.4.4 Sur les argilo-calcaires



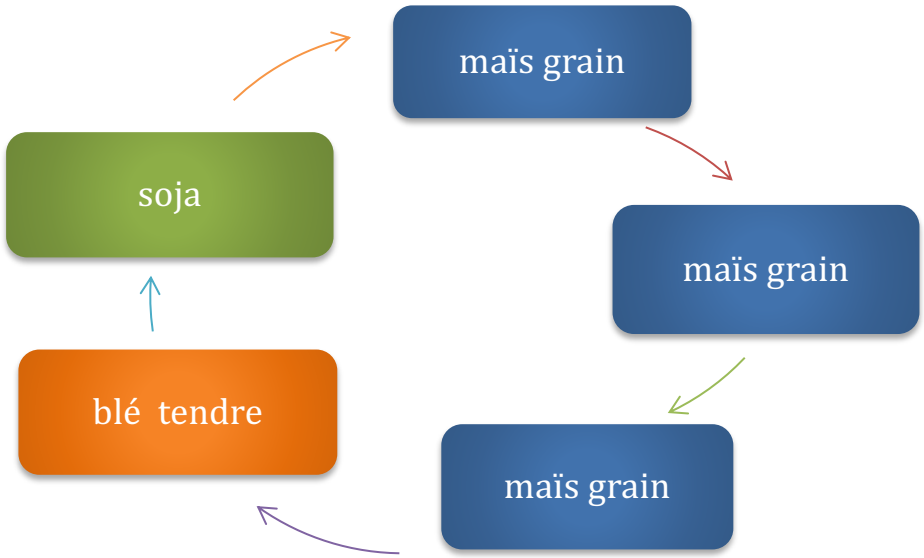

| Code UCS : **AC*** | Valeurs | Commentaires | **Codes cultures*** |
|---|---|---|---|
| Rotation | Blé tendre d'hiver – tournesol | | **C – To 1.1** |
| Part de la SAU irriguée | 0 % | En sec | |
| Conduite du blé tendre | Non labour (20 cm), semis octobre-novembre, rendement 60 qtx | | |
| Conduite du tournesol | Labour (25 cm), rendement 25 qtx | | |
| Gestion des pailles | Restitution des pailles de blé et de tournesol | | |
| Gestion de l'interculture | Sols nus | | |
| **Variante 1** (<10 % des cas) | Mise en place d'une interculture (type féverole) une année sur 2 entre blé et tournesol – semis septembre – destruction mars/avril – rendement entre 2 et 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **C – To 2.1** |
| **Variante 2** (<5 % des cas) | Suppression du labour avant tournesol (non labour profond 20 cm) – non labour superficiel avant blé (max 15 cm) - Mise en place d'une interculture (type féverole) une année sur 2 entre blé et tournesol – rendement > 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **C – To 3.1** |

**code simulation Siméos-AMG : **ACCTo1.1 / ACCTo2.1 / ACCTo3.1***



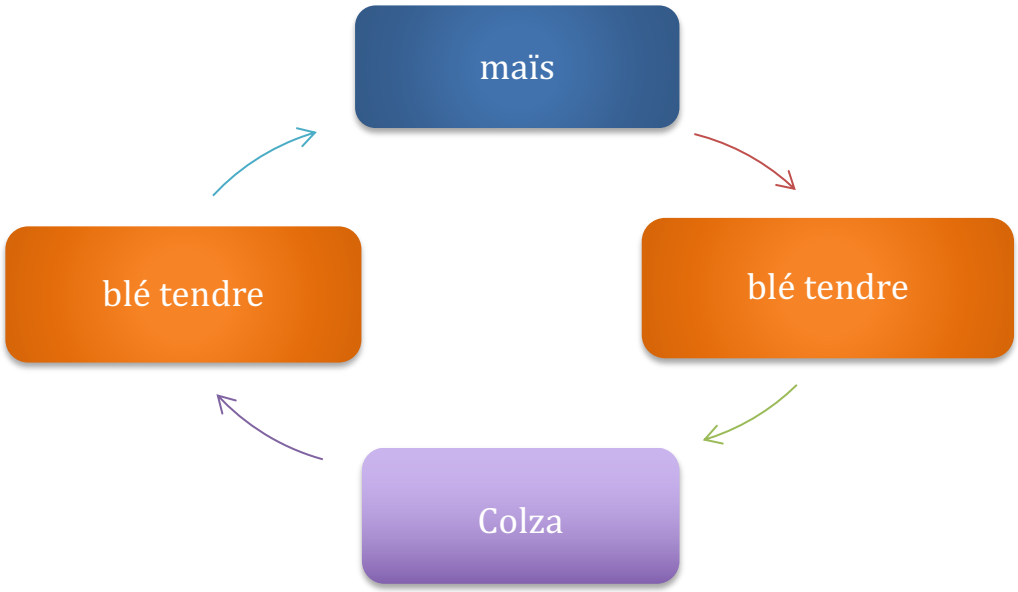

| Code UCS : **AC*** | Valeurs | Commentaires | **Codes cultures *** |
|---|---|---|---|
| Rotation | Tournesol – blé tendre – colza - blé tendre | | **C – Co 1.1** |
| Part de la SAU irriguée | 0 % | En sec | |
| Conduite du blé tendre | Non labour (20 cm), semis octobre-novembre, rendement 60 qtx | | |
| Conduite du tournesol | Labour (25 cm), rendement 30 qtx | | |
| Conduite du colza | Labour (25 cm), rendement 25 qtx | | |
| Gestion des pailles | Restitution de toutes les pailles | | |
| Gestion de l'interculture | Sols nus | | |
| **Variante 1** (<10 % des cas) | Mise en place d'une **plante compagne** sur colza (type légumineuses gélives < 2 TMS)<br>Restitution des pailles | | **C – Co 2.1** |
| **Variante 2** (<5 % des cas) | Mise en place d'une **plante compagne** sur colza (type légumineuses gélives < 2 TMS)<br>**Suppression du labour** avant tournesol (non labour profond 20 cm) – non labour superficiel avant blé (max 15 cm) - Mise en place d'une **interculture** (type féverole) une année sur 4 entre blé et tournesol - – rendement > 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **C – Co 3.1** |

**code simulation Siméos-AMG : **ACCCo1.1 / ACCCo2.1 / ACCCo3.1***




| Code UCS : **AC*** | Valeurs | Commentaires | **Codes cultures*** |
|---|---|---|---|
| Rotation | Maïs (irri) – maïs (irri) – maïs (irri) – blé tendre – soja (irri) | | **M – M 1.1** |
| Part de la SAU irriguée | 80 % | Irrigation maïs et soja | |
| Conduite du blé tendre | Non labour (20 cm), semis octobre-novembre, rendement 60 qtx | | |
| Conduite du maïs | Labour (25 cm), irrigation 200 mm, rendement 100 qtx | | |
| Conduite du soja | Labour (25 cm), irrigation 150 mm, rendement 25 qtx | | |
| Gestion des pailles | Restitution de toutes les pailles | | |
| Gestion de l'interculture | Sols nus | | |
| **Variante 1** (<10 % des cas) | Mise en place d'une **interculture** (type féverole) une année sur 5 entre blé et soja – semis septembre – destruction mars/avril – rendement entre 2 et 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **M – M 2.1** |
| **Variante 2** (<5 % des cas) | **Suppression du labour** avant maïs et soja (non labour profond 20 cm) – non labour superficiel avant blé (max 15 cm) - Mise en place d'une **interculture** (type féverole) une année sur 5 entre blé et soja – rendement > 3 TMS. Mise en place d'une **interculture** (type graminée) une année sur 5 entre deux maïs – rendement entre 2 et 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **M – M 3.1** |

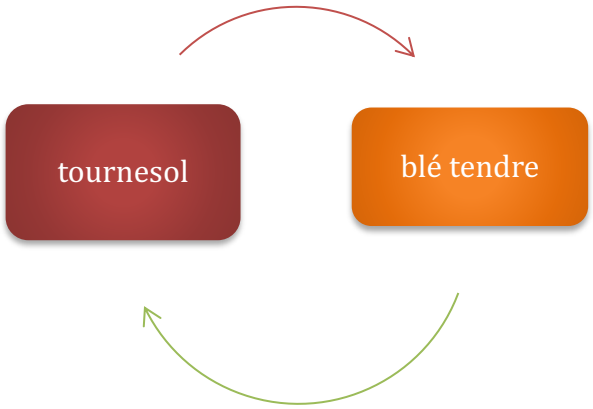
**code simulation Siméos-AMG : **ACMM1.1 / ACMM2.1 / ACMM3.1***




| Code UCS : **AC*** | Valeurs | Commentaires | **Codes cultures *** |
|---|---|---|---|
| Rotation | Maïs – blé tendre – colza - blé tendre | | **C – Ma 1.1** |
| Part de la SAU irriguée | 0 % | En sec | |
| Conduite du blé tendre | Non labour (20 cm), semis octobre-novembre, rendement 60 qtx | | |
| Conduite du maïs | Labour (25 cm), irrigation 150 mm, rendement 100 qtx | | |
| Conduite du colza | Labour (25 cm), rendement 25 qtx | | |
| Gestion des pailles | Restitution de toutes les pailles | | |
| Gestion de l'interculture | Sols nus | | |
| **Variante 1** (<10 % des cas) | Mise en place d'une **plante compagne** sur colza (type légumineuses gélives < 2 TMS)<br>Restitution des pailles | | **C – Ma 2.1** |
| **Variante 2** (<5 % des cas) | Mise en place d'une **plante compagne** sur colza (type légumineuses gélives < 2 TMS)<br>**Suppression du labour** avant maïs et colza (non labour profond 20 cm) – non labour superficiel avant blé (max 15 cm) - Mise en place d'une **interculture** (type féverole) une année sur 4 entre blé et maïs – rendement > 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **C – Ma 3.1** |

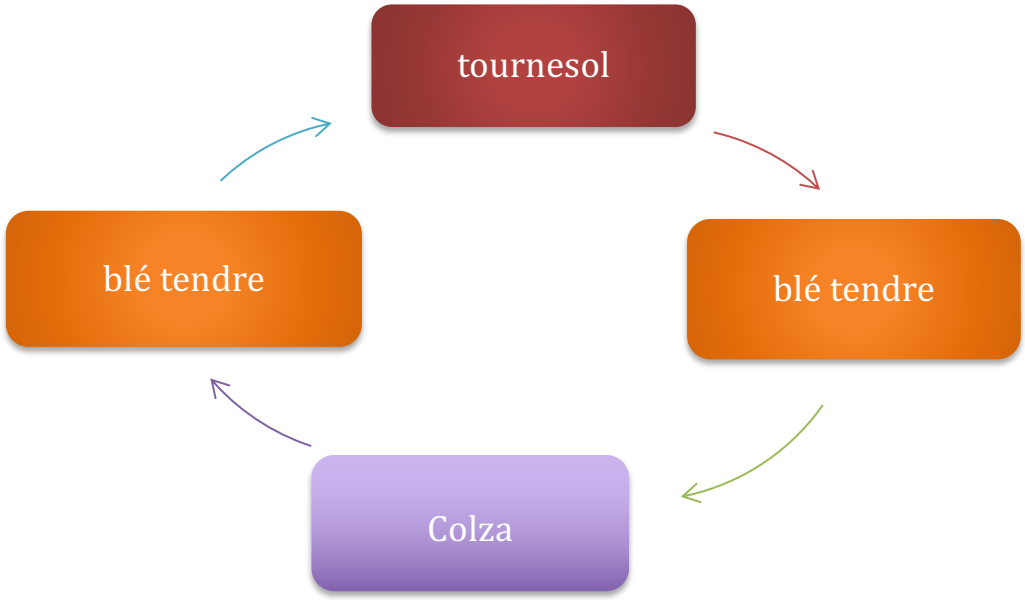
**code simulation Siméos-AMG : **ACCMa1.1 / ACCMa2.1 / ACCMa3.1***

### 4.4.5 Sur les limono-argileux non calcaire



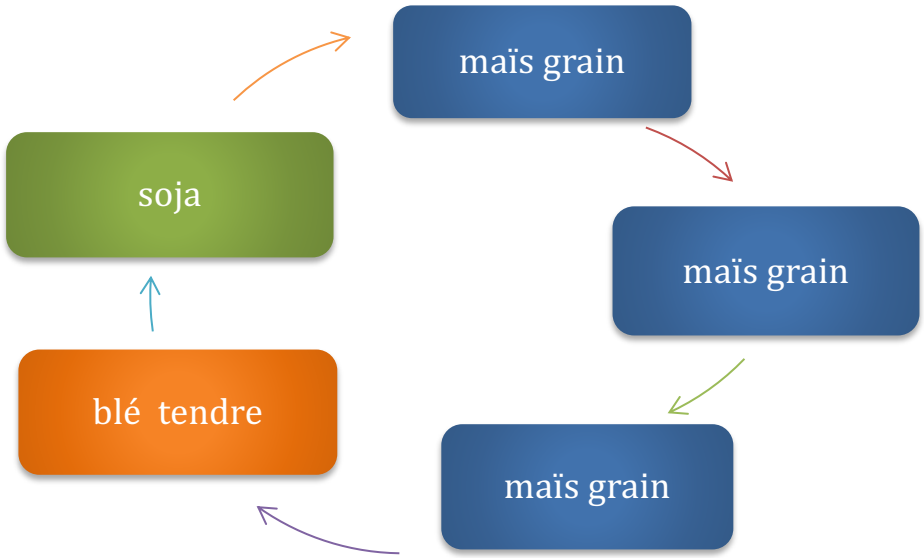

| Code UCS : **AL*** | Valeurs | Commentaires | **Codes cultures*** |
|---|---|---|---|
| Rotation | Blé tendre d'hiver – tournesol | | **C – To 1.1** |
| Part de la SAU irriguée | 0 % | En sec | |
| Conduite du blé tendre | Non labour (20 cm), semis octobre-novembre, rendement 60 qtx | | |
| Conduite du tournesol | Labour (25 cm), rendement 25 qtx | | |
| Gestion des pailles | Restitution des pailles de blé et de tournesol | | |
| Gestion de l'interculture | Sols nus | | |
| **Variante 1** (<10 % des cas) | Mise en place d'une interculture (type féverole) une année sur 2 entre blé et tournesol – semis septembre – destruction mars/avril – rendement entre 1 et 2 TMS<br>Restitution des pailles | | **C – To 2.1** |
| **Variante 2** (<5 % des cas) | Suppression du labour avant tournesol (non labour profond 20 cm) – non labour superficiel avant blé (max 15 cm) - Mise en place d'une interculture (type féverole) une année sur 2 entre blé et tournesol - rendement > 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **C – To 3.1** |

**code simulation Siméos-AMG : **ALCTo1.1 / ALCTo2.1 / ALCTo3.1***



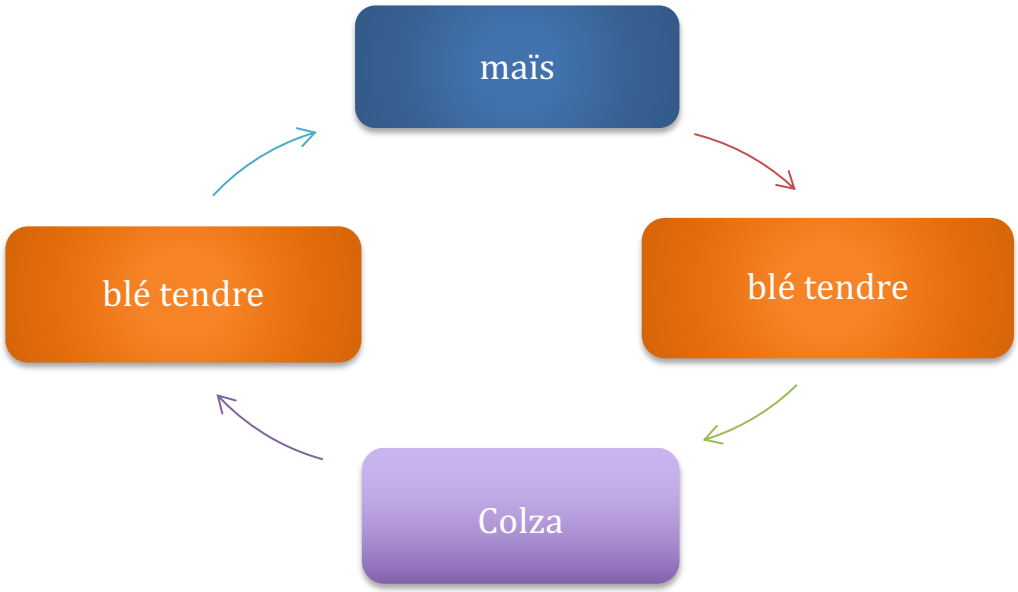

| Code UCS : **AL*** | Valeurs | Commentaires | **Codes cultures *** |
|---|---|---|---|
| Rotation | Tournesol – blé tendre – colza - blé tendre | | **C – Co 1.1** |
| Part de la SAU irriguée | 0 % | En sec | |
| Conduite du blé tendre | Non labour (20 cm), semis octobre-novembre, rendement 60 qtx | | |
| Conduite du tournesol | Labour (25 cm), rendement 30 qtx | | |
| Conduite du colza | Labour (25 cm), rendement 25 qtx | | |
| Gestion des pailles | Restitution de toutes les pailles | | |
| Gestion de l'interculture | Sols nus | | |
| **Variante 1** (<10 % des cas) | Mise en place d'une **plante compagne** sur colza (type légumineuses gélives < 2 TMS)<br>Restitution des pailles | | **C – Co 2.1** |
| **Variante 2** (<5 % des cas) | Mise en place d'une **plante compagne** sur colza (type légumineuses gélives < 2 TMS)<br>**Suppression du labour** avant tournesol (non labour profond 20 cm) – non labour superficiel avant blé (max 15 cm) - Mise en place d'une **interculture** (type féverole) une année sur 4 entre blé et tournesol - rendement > 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **C – Co 3.1** |

**code simulation Siméos-AMG* ***: ALCCo1.1 / ALCCo2.1 / ALCCo3.1***




| Code UCS : **AL*** | Valeurs | Commentaires | **Codes cultures*** |
|---|---|---|---|
| Rotation | Maïs (irri) – maïs (irri) – maïs (irri) – blé tendre – soja (irri) | | **M – M 1.1** |
| Part de la SAU irriguée | 80 % | Irrigation maïs et soja | |
| Conduite du blé tendre | Non labour (20 cm), semis octobre-novembre, rendement 60 qtx | | |
| Conduite du maïs | Labour (25 cm), irrigation 150 mm, rendement 100 qtx | | |
| Conduite du soja | Labour (25 cm), irrigation 150 mm, rendement 30 qtx | | |
| Gestion des pailles | Restitution de toutes les pailles | | |
| Gestion de l'inter culture | Sols nus | | |
| **Variante 1** (<10 % des cas) | Mise en place d'une **interculture** (type féverole) une année sur 5 entre blé et soja – semis septembre – destruction mars/avril – rendement entre 1 et 2 TMS<br>Restitution des pailles | | **M – M 2.1** |
| **Variante 2** (<5 % des cas) | **Suppression du labour** avant maïs et soja (non labour profond 20 cm) – non labour superficiel avant blé (max 15 cm) - Mise en place d'une **interculture** (type féverole) une année sur 5 entre blé et soja – rendement > 3 TMS. Mise en place d'une **interculture** (type graminée) une année sur 5 entre deux maïs – rendement entre 2 et 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **M – M 3.1** |

**code simulation Siméos-AMG : **ALMM1.1 / ALMM2.1 / ALMM3.1***




| Code UCS : **AL*** | Valeurs | Commentaires | **Codes cultures *** |
|---|---|---|---|
| Rotation | Maïs – blé tendre – colza - blé tendre | | **C – Ma 1.1** |
| Part de la SAU irriguée | 0 % | En sec | |
| Conduite du blé tendre | Non labour (20 cm), semis octobre-novembre, rendement 60 qtx | | |
| Conduite du maïs | Labour (25 cm), irrigation 150 mm, rendement 100 qtx | | |
| Conduite du colza | Labour (25 cm), rendement 25 qtx | | |
| Gestion des pailles | Restitution de toutes les pailles | | |
| Gestion de l'interculture | Sols nus | | |
| **Variante 1** (<10 % des cas) | Mise en place d'une **plante compagne** sur colza (type légumineuses gélives < 2 TMS)<br>Restitution des pailles | | **C – Ma 2.1** |
| **Variante 2** (<5 % des cas) | Mise en place d'une **plante compagne** sur colza (type légumineuses gélives < 2 TMS)<br>**Suppression du labour** avant maïs et colza (non labour profond 20 cm) – non labour superficiel avant blé (max 15 cm) - Mise en place d'une **interculture** (type féverole) une année sur 4 entre blé et maïs – rendement > 3 TMS<br>Restitution des pailles | | **C – Ma 3.1** |

**code simulation Siméos-AMG : **ALCMa1.1 / ALCMa2.1 / ALCMa3.1***

## 4.5 Les dynamiques de carbone des systèmes de cultures dominants (hors variantes)

### 4.5.1 Introduction : l'outil SIMOS-AMG

L'outil SIMEOS-AMG (développé par Agro-Transfert Picardie et l'INRA) pour simuler l'évolution des teneurs et stocks en matière organique du sol sous l'effet des pratiques culturales, sur le long terme, pour :

- Effectuer un diagnostic agronomique du système de culture : Quelle évolution de l'état organique du sol ?
- Accompagner la décision vers une meilleure gestion de l'état organique des sols cultivés :
  - Test de l'impact des pratiques culturales sur l'évolution de l'état organique du sol.
  - Choix des pratiques favorables à une amélioration du statut organique du sol.
  - Traitement de certaines problématiques agronomiques.
  - Quelles possibilités d'exportation des pailles ?
  - Quels produits organiques apporter ?
  - Comment gérer les transferts de fertilité au sein d'une exploitation ?
  - Comment réduire un problème de battance ou d'érosion ?
- Évaluer le stockage de carbone dans le sol (évaluation environnementale).

Dans les paragraphes suivants les résultats des « simulations carbone » seront présentées en ne considérant aucun export de résidus de culture. Il s'agit de présenter dans un premier temps les dynamiques d'évolution du carbone sur un pas de temps long en tenant compte des données « systèmes » et des données « sols ».

### 4.5.2 Bilan carbone : les « + » et les « - »

L'état carbone d'une sol à un instant données est le résultat d'un équilibre entre les processus qui vont augmenter les stocks de carbone et ceux qui vont les réduire. Le schéma ci-après résume les phénomènes impliqués dans le bilan humique.

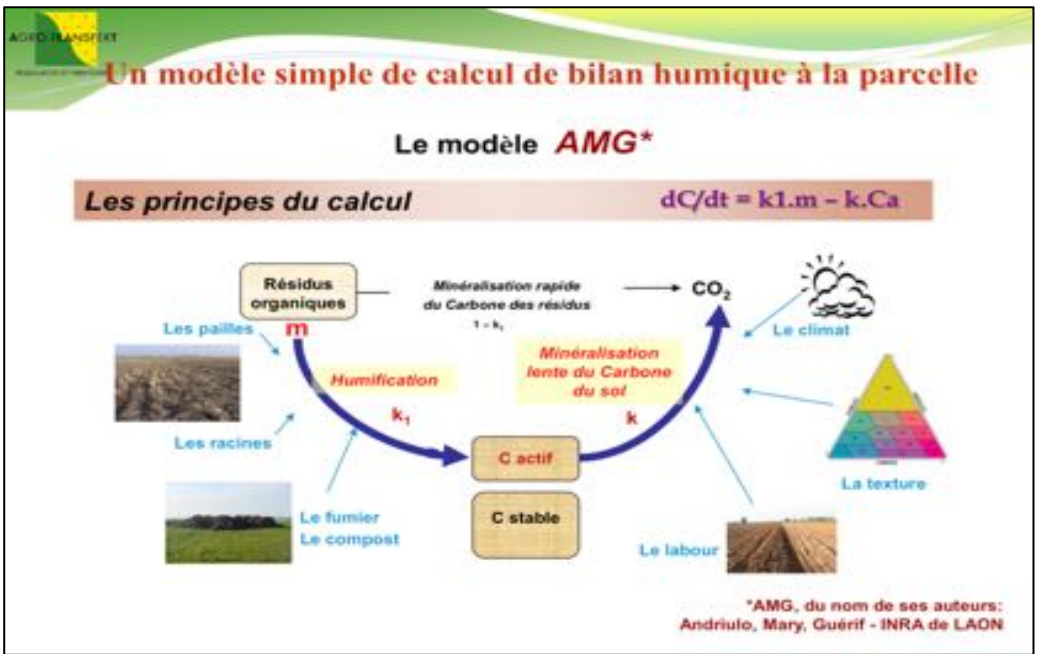



Figure 3 : Calcul de bilan humique à la parcelle – Modèle AMG (Source Agro-Transfert/INRA)

Parmi les situations/phénomènes que l'on peut qualifier de « **stockants** », on peut citer :

- Les cultures présentant des rendements élevés et des ratios grain/paille faible.
- Les couverts végétaux (avec également un effet rendements).
- La présence de calcaire ou inversement les pH acides.
- Les sols qui se réchauffent lentement (ex. : terreforts / argileux).
- La réduction (voire la suppression) du travail du sol .
- Des taux de matière organique bas (plus le point de départ est bas plus il est « facile » de l'améliorer).

Parmi les situations/phénomènes que l'on peut qualifier de « dés**tockants** », on peut citer :

- Les sols qui se réchauffent rapidement (ex. : boulbènes).
- Les sols nus.
- L'irrigation.
- Les rendements faibles.
- Le travail du sol intensif .
- Des taux de matière organique élevés (plus le point de départ est haut, plus il est difficile à maintenir).

### 4.5.3 Les boulbènes profondes

Pour les boulbènes profondes, seules les situations avec beaucoup de maïs (3/5 ans) permet d'avoir des situations avec une trajectoire « stockante ». Sur les autres systèmes à base de blé tendre, colza et tournesol les situations sont soit à l'équilibre soit « déstockantes ».
Les systèmes à base de maïs (rotation : maïs-maïs-maïs-soja-blé) autoriseraient seulement une exportations d'une paille de blé sur 5 ans. Cette exportation ramènerait la courbe d'évolution sur une trajectoire plane (« équilibrée »).

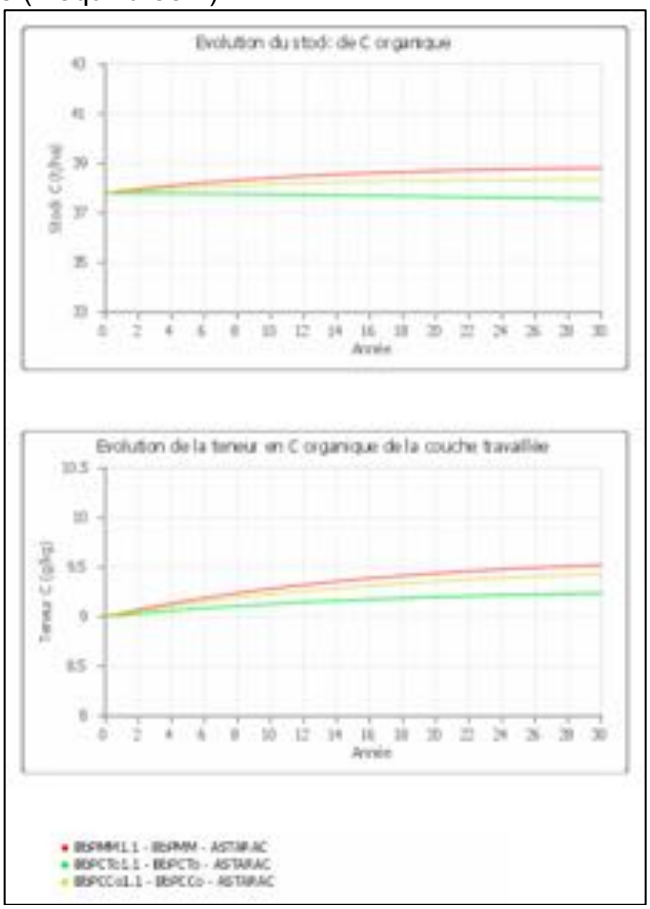



Figure 4 : Évolution des stocks de carbone sur les boulbènes profondes avec les rotations dominantes aujourd'hui – Simulations hors variantes (en rouge : rotation maïs dominant – en jaune : rotation blé colza tournesol – en vert : rotation blé tournesol)

Tableau 5 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Boulbènes profondes** | BTH – To | Labour sans IC | Déstockage | 85 % |
| **Boulbènes profondes** | M-M-M-BTH-So | Labour sans IC | 1 paille de blé sur 5 ans soit 3 TMS (0,6 TMS/ha/an) | 85 % |
| **Boulbènes profondes** | Co – BTH – To – BTH | Labour sans IC | Équilibre | 85 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*

### 4.5.4 Les boulbènes profondes colorées

Pour les boulbènes profondes colorées, aucune des situations n'est sur une trajectoire « stockante ». Cela s'explique notamment par : les caractéristiques du sol (forte minéralisation), la présence d'une part importante de soja (faible rendement matière), la forte présence de l'irrigation et la part importante de sols nus. Les rendements élevés ne compensent qu'en partie cette situations.

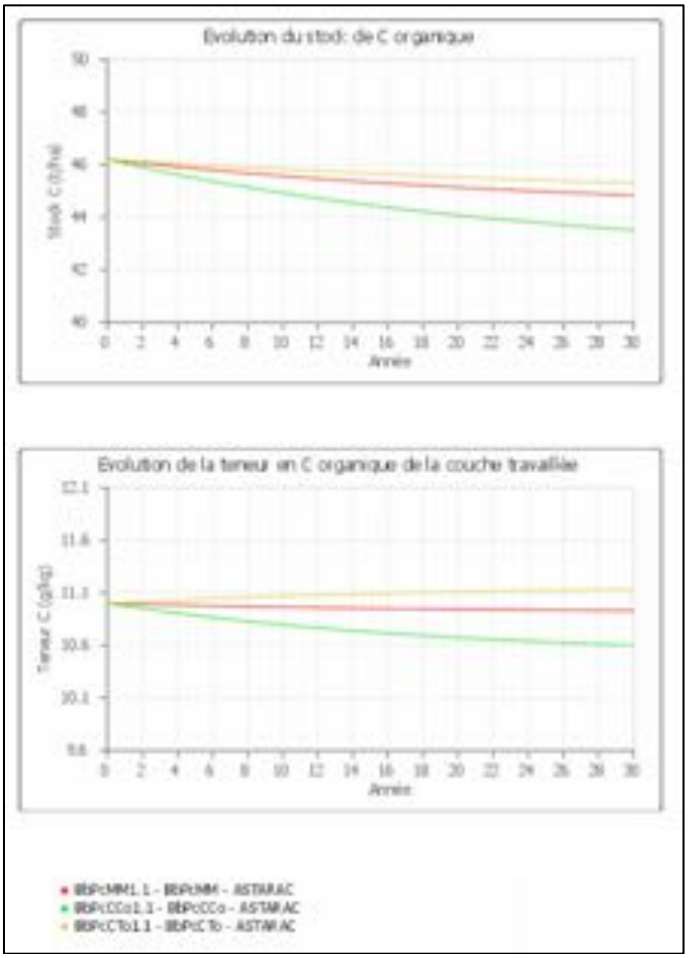



Figure 5 : Évolution des stocks de carbone sur les boulbènes profondes colorées avec les rotations dominantes aujourd'hui – Simulations hors variantes (en rouge : rotation maïs soja – en jaune : rotation blé tournesol– en vert : rotation blé colza tournesol)

Tableau 6 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Boulbènes profondes colorées** | BTH – To | Labour sans IC | Déstockage | 85 % |
| **Boulbènes profondes colorées** | M-M-M-So-So | Labour sans IC | Déstockage | 85 % |
| **Boulbènes profondes colorées** | Co – BTH - So | Labour sans IC | Déstockage | 85 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*

### 4.5.5 Les argilo-calcaires

Pour les argilo-calcaires, toutes les situations sont sur une trajectoire « stockante ». Cela s'explique notamment par : les caractéristiques du sol (faible minéralisation : sols « froids », effet « calcaire »), la présence d'une part faible de soja (faible rendement matière), la conduite en sec, et la part relativement faible de sols nus (présence majoritaire de plantes à cycles longs hivernaux). Dans ces situations on peut exporter entre 1 et 1,5 TMS/an/ha (voir détails dans le tableau ci-après) :

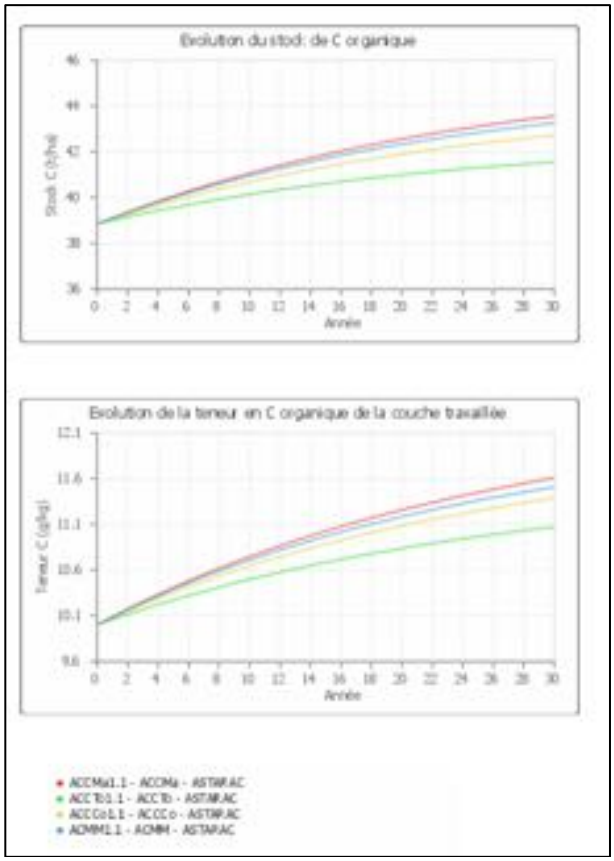



Figure 6 : Évolution des stocks de carbone sur les argilo-calcaires avec les rotations dominantes aujourd'hui – Simulations hors variantes (en rouge : rotation maïs blé – en jaune : rotations blé colza tournesol – en vert : rotation blé tournesol – en bleu : rotations maïs dominants)

Tableau 7 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Argilo-Calcaire** | BTH - To | Labour sans IC | 3 pailles de blé en 8 ans soit 9 TMS (soit 1.1 TMS/ha/an) | 90 % |
| **Argilo-Calcaire** | Co – BTH – To - BTH | Labour sans IC | 2 pailles de blé en 4 ans soit 6 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | 90 % |
| **Argilo-Calcaire** | Ma – BTH – Co - BTH | Labour sans IC | 2 pailles de blé en 4 ans soit 6 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | 90 % |
| **Argilo-Calcaire** | Ma – Ma – Ma - BTH - So | Labour sans IC | 1 paille de blé + 1 pailles maïs en 5 ans soit 7 TMS (soit 1,4 TMS/ha/an) | 90 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*

### 4.5.6 Les limono-argileux non calcaires

Pour les sols limono-argileux non calcaires, toutes les situations sont sur une trajectoire « stockante » ou « équilibrée ». Cela s'explique notamment par : les caractéristiques du sol (faible minéralisation : sols « froids »), la présence d'une part faible de soja (faible rendement matière), la conduite en sec, et la part relativement faible de sols nus (présence majoritaire de plantes à cycles longs hivernaux). Dans ces situations on peut exporter entre 0,5 et 1,5 TMS/an/ha (voir détails dans le tableau ci-après) :

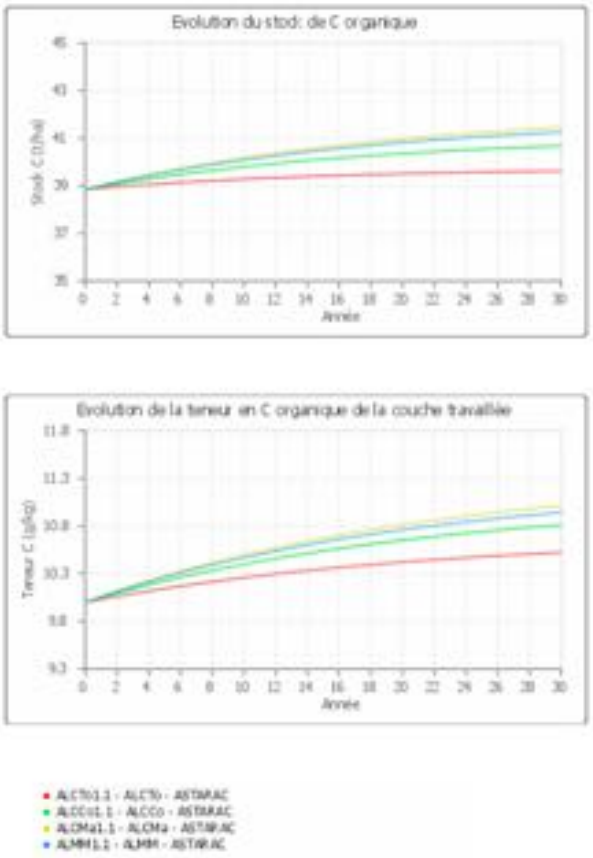



Figure 7 : Évolution des stocks de carbone sur les argilo-calcaires avec les rotations dominantes aujourd'hui – Simulations hors variantes (en rouge : rotation blé tournesol – en jaune : rotation maïs blé – en vert : rotations blé colza tournesol – en bleu : rotations maïs dominants)

Tableau 8 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Argilo-Limoneux** | BTH - To | Labour sans IC | Équilibre | 90 % |
| **Argilo-Limoneux** | Co – BTH – To - BTH | Labour sans IC | 1 paille de blé en 4 ans soit 3 TMS (soit 0,75 TMS/ha/an) | 90 % |
| **Argilo-Limoneux** | Ma – BTH – Co - BTH | Labour sans IC | 2 pailles de blé en 4 ans soit 6 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | 90 % |
| **Argilo-Limoneux** | Ma – Ma – Ma - BTH - So | Labour sans IC | 1 paille de blé en 5 ans soit 3 TMS (soit 0,6 TMS/ha/an) | 90 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*

## 4.6 Les dynamiques de carbone des systèmes de cultures avec les variantes

### 4.6.1 Introduction

Dans les paragraphes suivants, sont présentés les résultats des « simulations carbone » par type de sol et par systèmes de cultures. Pour chaque système de cultures, 2 variantes ont été élaborées pour maximiser les stocks de carbones (Cf. paragraphes précédents pour la description technique des variante). Les potentiels d'exportation des résidus ont également été calculés. La notion de « résidus exportables » correspondant à la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane). Il s'agit dès lors d'un **potentiel d'exportation maximal** pour les systèmes de cultures étudiés.

### 4.6.2 Les boulbènes profondes

#### 4.6.2.1 Systèmes blé tendre – tournesol

Par rapport à la situation de départ (courbe en rouge), les 2 variantes sont des situations « stockantes ». Elles introduisent des couverts végétaux et/ou une simplification du travail du sol (non-labour profond ou non labour superficiel). Ces variantes permettraient d'exporter entre **1 et 1,5 TMS/ha/an** (voir détails dans le tableau ci-après).

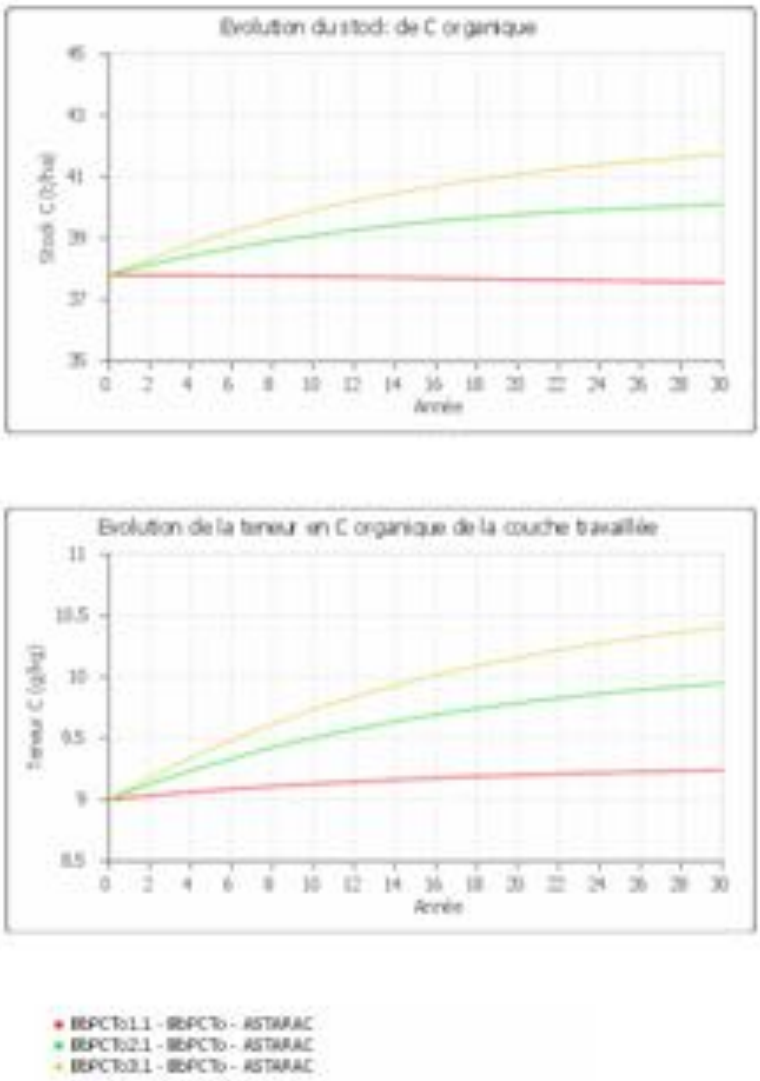



Figure 8 : Évolution des stocks de carbone sur les boulbènes profondes avec les rotations blé tendre - tournesol (en rouge : situation actuelle dominante – en vert : variante 1– en jaune : variante 2)

Tableau 9 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Boulbènes profondes** | BTH – To | Labour sans IC | Déstockage | 85 % |
| **Boulbènes profondes** | BTH – To | Labour avec IC (2-3TMS) | 3 pailles de blé sur 8 ans soit 9 TMS sur 8 ans (1,1 TMS/ha/an) | <15 % |
| **Boulbènes profondes** | BTH – To | Non labour avec IC (>3TMS) | 4 pailles de blé sur 8 ans soit 12 TMS sur 8 ans (1,5 TMS/ha/an) | <5 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*
***IC** : interculture – **PC** : plante compagne*

#### 4.6.2.2 Systèmes blé tendre – colza - tournesol

Par rapport à la situation de départ (courbe en rouge), les 2 variantes sont des situations « stockantes ». Elles introduisent des couverts végétaux (et/ou des plantes compagnes) et/ou une simplification du travail du sol (non-labour profond ou non labour superficiel). Ces variantes permettraient d'exporter entre **1,5 et 2 TMS/ha/an** (voir détails dans le tableau ci-après).

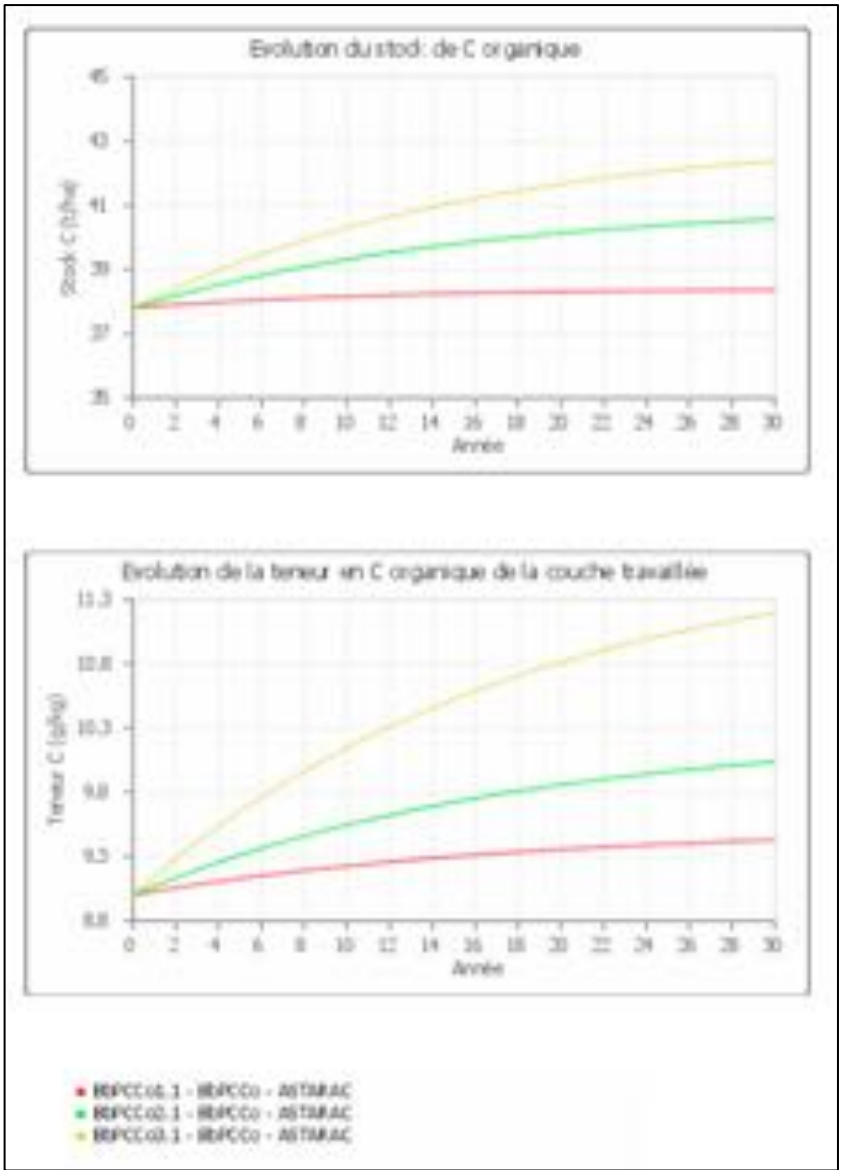



Figure 9 : Évolution des stocks de carbone sur les boulbènes profondes avec les rotations blé tendre - tournesol – colza (en rouge : situation actuelle dominante – en vert : variante 1– en jaune : variante 2)

Tableau 10 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Boulbènes profondes** | Co – BTH – To - BTH | Labour sans IC | Équilibre | 85 % |
| **Boulbènes profondes** | Co – BTH – To - BTH | Labour avec PC (trèfle <2TMS) + IC (<3 TMS) | 2 pailles de blé sur 4 ans soit 6 TMS (1,5 TMS/ha/an) | <15 % |
| **Boulbènes profondes** | Co – BTH – To - BTH | Non labour avec PC (trèfle <2TMS) et IC (>3 TMS) | 2 paille de blé + 1 paille de colza sur 4 ans soit 8 TMS (2 TMS/ha/an) | <5 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*
***IC** : interculture – **PC** : plante compagne*

#### 4.6.2.3 Systèmes maïs – blé tendre - soja

Par rapport à la situation de départ (courbe en rouge), les 2 variantes sont des situations d'avantage « stockantes ». Elles introduisent des couverts végétaux et/ou une simplification du travail du sol (non-labour profond ou non labour superficiel). Ces variantes permettraient d'exporter entre **1,5 et 2 TMS/ha/an** (voir détails dans le tableau ci-après).

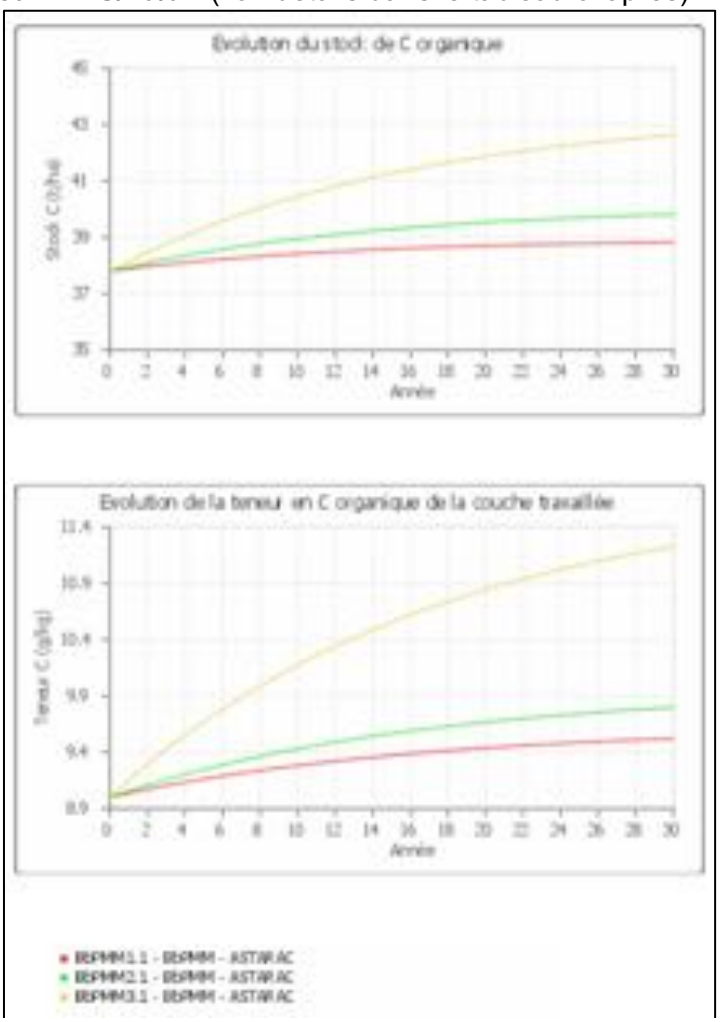



Figure 10 : Évolution des stocks de carbone sur les boulbènes profondes avec les rotations maïs blé tendre - soja (en rouge : situation actuelle dominante – en vert : variante 1– en jaune : variante 2)

Tableau 11 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Boulbènes profondes** | M-M-M-BTH-So | Labour sans IC | 1 paille de blé sur 5 ans soit 3 TMS (0,6 TMS/ha/an) | 85 % |
| **Boulbènes profondes** | M-M-M-BTH-So | Labour avec IC (2-3TMS) avant soja | 1 paille de blé et 1 canne de maïs sur 5 ans soit 3+4=7 TMS (1,4 TMS/an/ha) | <15 % |
| **Boulbènes profondes** | M-M-M-BTH-So | Non labour avec IC (>3TMS) avant soja et entre maïs | 1 paille de blé et 2 cannes de maïs sur 5 ans soit 3+4+4=11 TMS (2,2 TMS/an/ha) | <5 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*
***IC** : interculture – **PC** : plante compagne*

### 4.6.3 Les boulbènes profondes colorées

#### 4.6.3.1 Systèmes blé tendre – tournesol

Par rapport à la situation de **départ** (courbe en **jaune**), les 2 variantes sont des situations « stockantes ». Elles introduisent des couverts végétaux et/ou une simplification du travail du sol (non-labour profond ou non labour superficiel). Ces variantes permettraient d'exporter entre **0,75 et 1,5 TMS/ha/an** (voir détails dans le tableau ci-après).

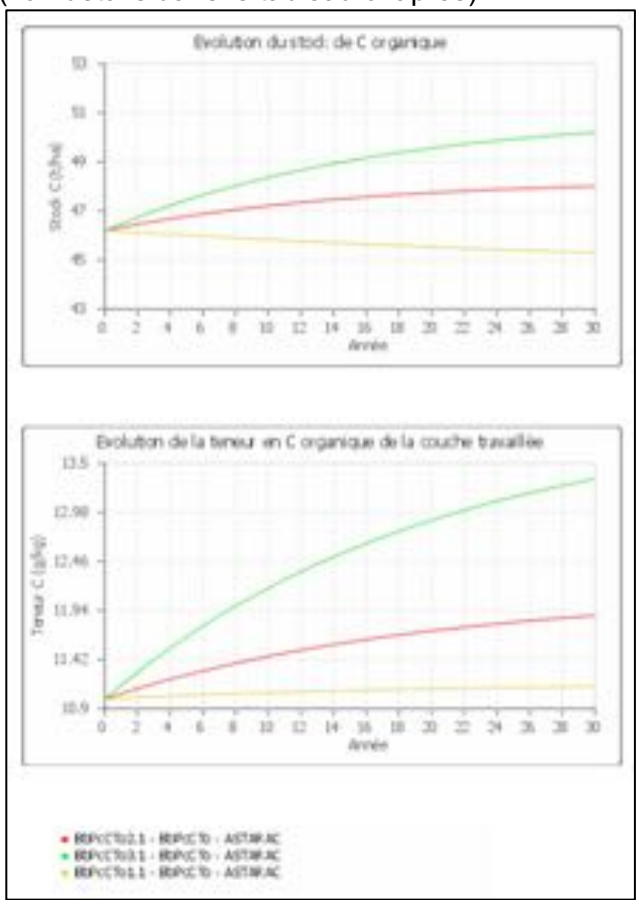



Figure 11 : Évolution des stocks de carbone sur les boulbènes profondes colorées avec les rotations blé tendre - tournesol (en jaune : situation actuelle dominante – en rouge: variante 1– en vert : variante 2)

Tableau 12 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Boulbènes profondes colorées** | BTH – To | Labour sans IC | Déstockage | 85 % |
| **Boulbènes profondes colorées** | BTH – To | Labour avec IC (2-3TMS) | 2 pailles de blé sur 8 ans soit 6 TMS sur 8 ans (0,75 TMS/ha/an) | <15 % |
| **Boulbènes profondes colorées** | BTH – To | Non labour avec IC (>3TMS) | 4 pailles de blé sur 8 ans soit 12 TMS sur 8 ans (1,5 TMS/ha/an) | <5 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*
***IC** : interculture – **PC** : plante compagne*

### 4.6.3.2 Systèmes blé tendre – colza - soja

Par rapport à la situation de départ (courbe en rouge), seule la variantes 2 est une situation « stockantes ». Elle introduit des couverts végétaux, des plantes compagnes et une simplification du travail du sol (non-labour profond ou non labour superficiel). Cette variante 2 permettrait d'exporter **1 TMS/ha/an** (voir détails dans le tableau ci-après).

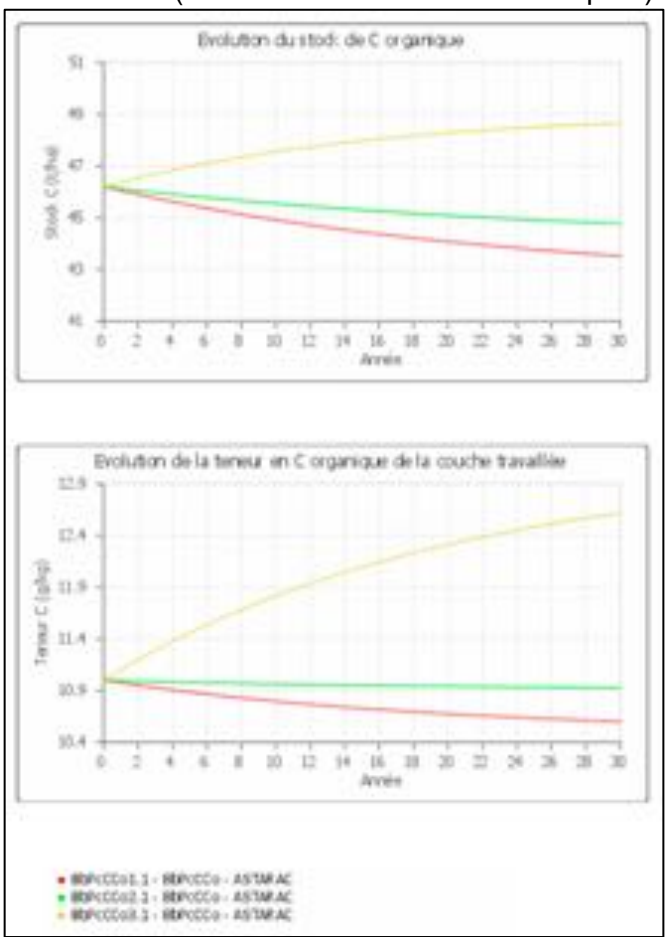



Figure 12 : Évolution des stocks de carbone sur les boulbènes profondes colorées avec les rotations colza - blé tendre - soja (en rouge : situation actuelle dominante - en vert : variante 1- en jaune : variante 2)

Tableau 13 : résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Boulbènes profondes colorées** | Co – BTH - So | Labour sans IC | Déstockage | 85 % |
| **Boulbènes profondes colorées** | Co – BTH - So | Labour avec PC (trèfle <2TMS) | Déstockage | <15 % |
| **Boulbènes profondes colorées** | Co – BTH - So | Non labour avec PC (trèfle <2TMS) et IC (>3 TMS) avant soja | 1 paille de blé sur 3 ans soit 3 TMS (1 TMS/ha/an) | <5 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*
***IC** : interculture – **PC** : plante compagne*

#### 4.6.3.3 Systèmes maïs - soja

Par rapport à la situation de départ (courbe en rouge), seule la variante 2 est une situations d'avantage « stockantes ». Elle introduit des couverts végétaux et une simplification du travail du sol (non-labour profond ou non labour superficiel). Cette variante 2 permettrait d'exporter **1,5 TMS/ha/an** (voir détails dans le tableau ci-après).

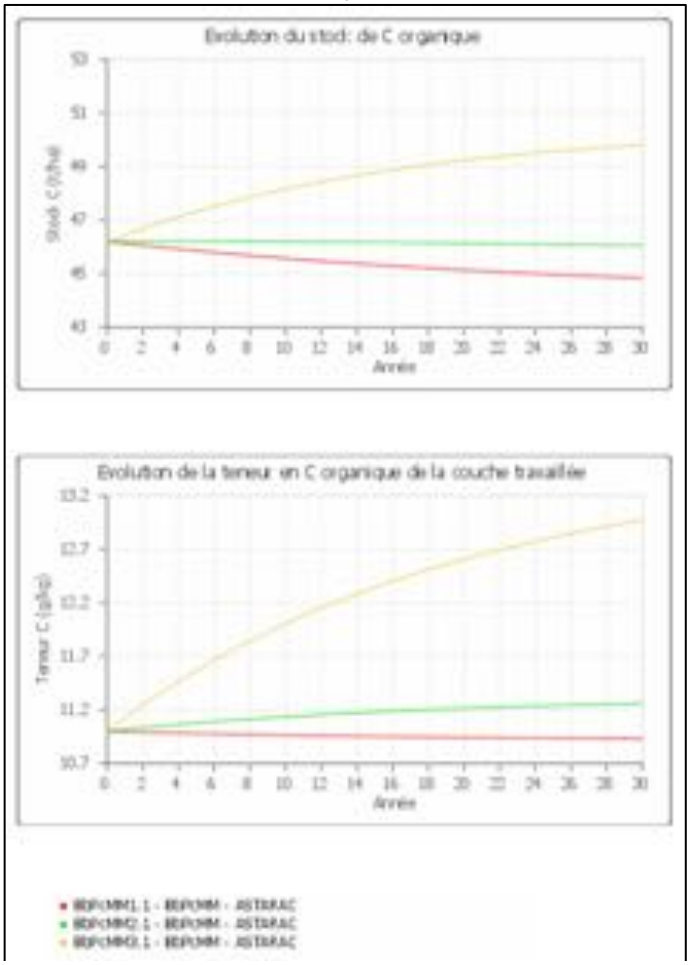



Figure 13 : Évolution des stocks de carbone sur les boulbènes profondes colorées avec les rotations maïs - soja (en rouge : situation actuelle dominante – en vert : variante 1– en jaune : variante 2)

Tableau 14 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Boulbènes profondes colorées** | Ma-Ma-Ma-So-So | Labour sans IC | Déstockage | 85 % |
| **Boulbènes profondes colorées** | Ma-Ma-Ma-So-So | Labour avec IC (2-3TMS) entre 2 maïs (X1) | À l'équilibre | <15 % |
| **Boulbènes profondes colorées** | Ma-Ma-Ma-So-So | Non labour avec IC (>3TMS) entre 2 maïs (X2) | 2 cannes de maïs sur 5 ans soit 4+4=8 TMS (1,6 TMS/an/ha) | <5 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau à la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*
***IC** : interculture – **PC** : plante compagne*

### 4.6.4 Les argilo-calcaire

#### 4.6.4.1 Systèmes blé tendre – tournesol

Comme la situation de **départ** (courbe en **rouge**), les 2 variantes sont des situations « stockantes ». Elles introduisent des couverts végétaux et/ou une simplification du travail du sol (non-labour profond ou non labour superficiel). Ces variantes permettraient d'exporter entre **1,5 et 2,5 TMS/ha/an** (voir détails dans le tableau ci-après).

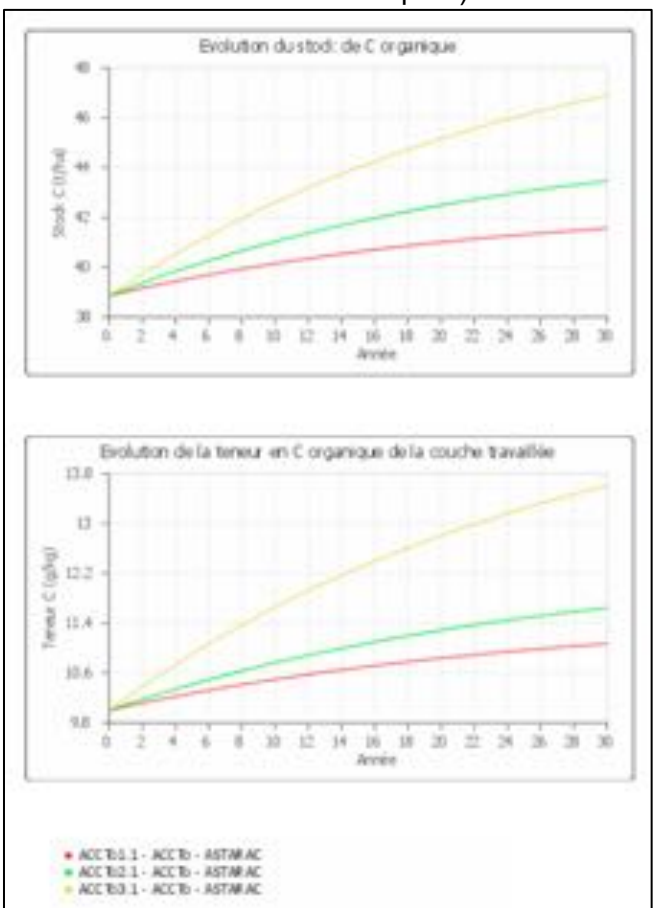



Figure 14 : Évolution des stocks de carbone sur les argilo calcaire avec les rotations blé tendre - tournesol (en rouge : situation actuelle dominante – en vert :variante 1 – en jaune : variante 2)

Tableau 15 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Argilo-Calcaire** | BTH - To | Labour sans IC | 3 pailles de blé en 8 ans soit 9 TMS (soit 1.1 TMS/ha/an) | 90 % |
| **Argilo-Calcaire** | BTH – To | Labour avec IC (1 an/2 - <2 TMS) | 4 pailles de blé en 8 ans soit 12 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | <10 % |
| **Argilo-Calcaire** | BTH – To | Non Labour avec IC (1 an/2 - >3 TMS) | 4 pailles de blé et 4 paille de tournesol en 8 ans soit 20 TMS (soit 2,5 TMS/ha/an) | <5 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*
***IC** : interculture – **PC** : plante compagne*

#### 4.6.4.2 Systèmes blé tendre – colza - tournesol

Comme la situation de **départ** (courbe en **rouge**), les 2 variantes sont des situations « stockantes ». Elles introduisent des couverts végétaux (et/ou des plantes compagnes sur colza) et/ou une simplification du travail du sol (non-labour profond ou non labour superficiel). Ces variantes permettraient d'exporter entre **2 et 2,75 TMS/ha/an** (voir détails dans le tableau ci-après).

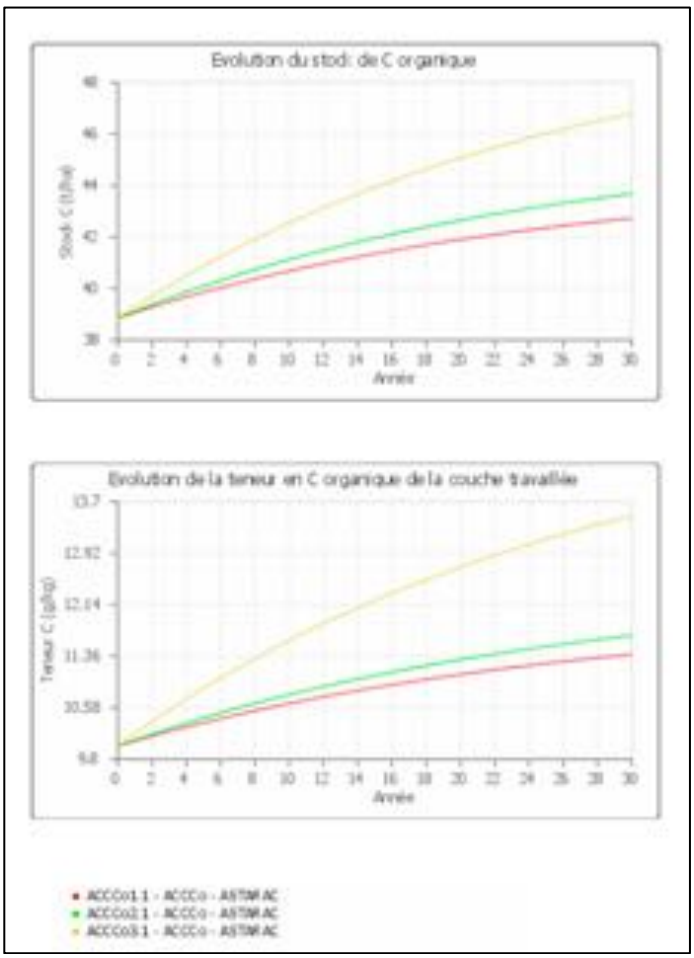



Figure 15 : Évolution des stocks de carbone sur les argilo-calcaires avec les rotations colza - blé tendre - tournesol (en rouge : situation actuelle dominante – en vert : variante 1 – en jaune : variante 2)

Tableau 16 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Argilo-Calcaire** | Co – BTH – To - BTH | Labour sans IC | 2 pailles de blé en 4 ans soit 6 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | 90 % |
| **Argilo-Calcaire** | Co – BTH – To - BTH | Labour avec PC (1 an/4 - <2 TMS) | 2 pailles de blé + 1 paille colza en 4 ans soit 9 TMS (soit 2,2 TMS/ha/an) | <10 % |
| **Argilo-Calcaire** | Co – BTH – To - BTH | Non Labour avec IC (1 an/4 - >3 TMS) et PC (1 an/4 - <2 TMS) | 2 pailles de blé + 1 paille colza + tournesol en 4 ans soit 11 TMS (soit 2,75 TMS/ha/an) | <5 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*
***IC** : interculture – **PC** : plante compagne*

### 4.6.4.3 Systèmes maïs – blé tendre - soja

Comme la situation de **départ** (courbe en **rouge**), les 2 variantes sont des situations « stockantes ». Elles introduisent des couverts végétaux et/ou une simplification du travail du sol (non-labour profond ou non labour superficiel). Ces variantes permettraient d'exporter entre **2 et 3 TMS/ha/an** (voir détails dans le tableau ci-après).

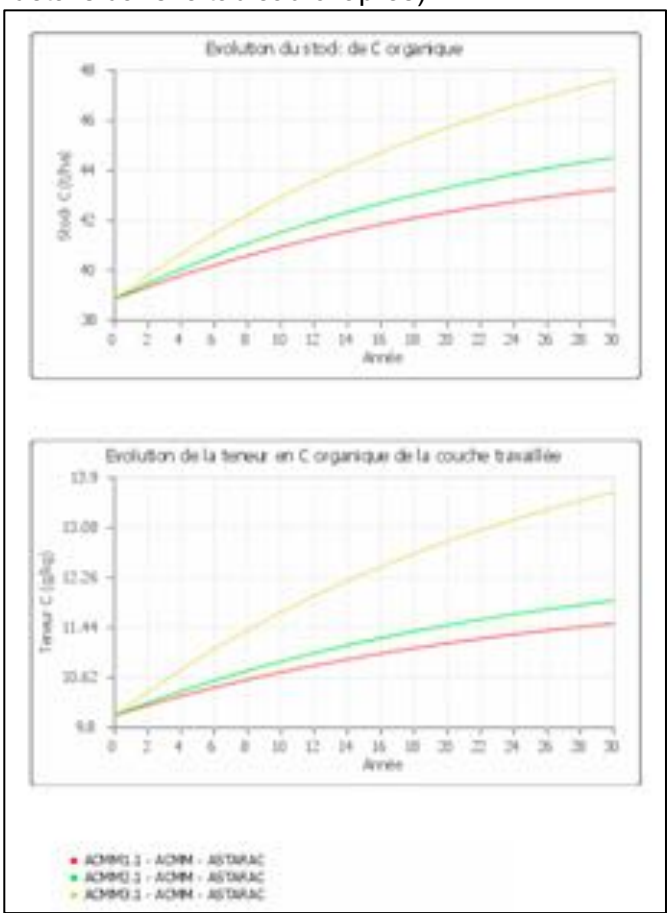



Figure 16 : Évolution des stocks de carbone sur les argilo-calcaires avec les rotations maïs - blé tendre - soja (en rouge : situation actuelle dominante – en vert : variante 1– en jaune : variante 2)

Tableau 17 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Argilo-Calcaire** | Ma – Ma – Ma -BTH - So | Labour sans IC | 1 paille de blé + 1 pailles maïs en 5 ans soit 7 TMS (soit 1,4 TMS/ha/an) | 90 % |
| **Argilo-Calcaire** | Ma – Ma – Ma -BTH - So | Labour avec IC (1/5 ans - <3 TMS) | 1 paille de blé + 2 pailles maïs en 5 ans soit 11 TMS (soit 2,2 TMS/ha/an) | <10 % |
| **Argilo-Calcaire** | Ma – Ma – Ma -BTH - So | Non Labour avec IC (1/5 ans - >3 TMS) + IC entre maïs (1/5 ans <3TMS) | 1 paille de blé + 3 pailles maïs en 5 ans soit 15 TMS (soit 3 TMS/ha/an) | <5 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*
***IC** : interculture – **PC** : plante compagne*

#### 4.6.4.4 Systèmes maïs – blé tendre - colza

Comme la situation de **départ** (courbe en **rouge**), les 2 variantes sont des situations « stockantes ». Elles introduisent des couverts végétaux (et/ou des plantes compagnes sur colza) et/ou une simplification du travail du sol (non-labour profond ou non labour superficiel). Ces variantes permettraient d'exporter entre **1,5 et 3 TMS/ha/an** (voir détails dans le tableau ci-après).

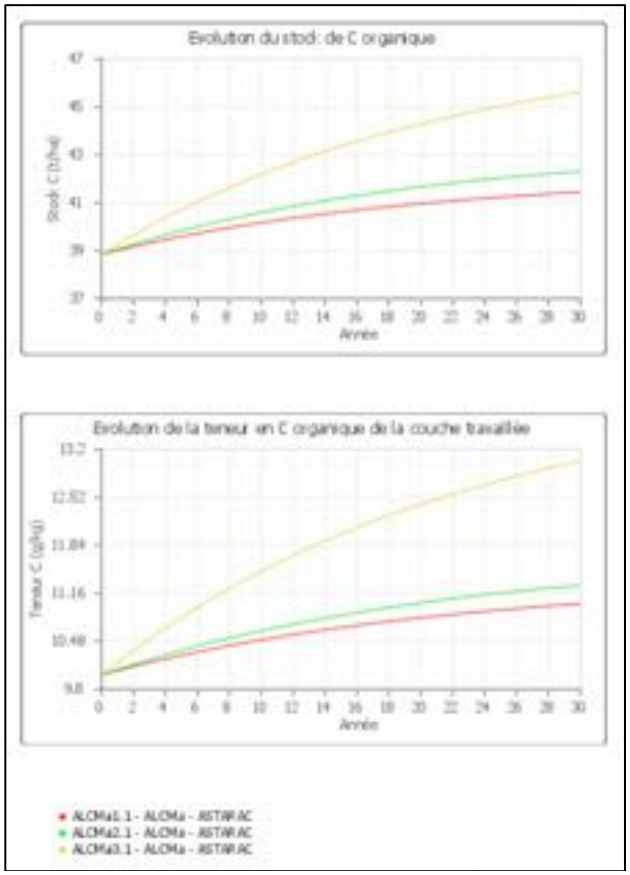



Figure 17 : Évolution des stocks de carbone sur les argilo calcaire avec les rotations maïs - blé tendre - colza – blé tendre (en rouge : situation actuelle dominante – en vert : variante 1 – en jaune : variante 2)

Tableau 18 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Argilo-Limoneux** | Ma – BTH – Co - BTH | Labour sans IC | 2 pailles de blé en 4 ans soit 6 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | 90 % |
| **Argilo-Limoneux** | Ma – BTH – Co - BTH | Labour avec PC (1/4 ans - <2 TMS) | 2 pailles de blé en 4 ans soit 6 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | <10 % |
| **Argilo-Limoneux** | Ma – BTH – Co - BTH | Non Labour avec PC (1 an/4 - <2 TMS)+ IC (1/4 ans - >3 TMS) | 2 pailles de blé et une paille de maïs et une paille de colza en 4 ans soit 12 TMS (soit 3 TMS/ha/an) | <5 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*
***IC** : interculture – **PC** : plante compagne*

### 4.6.5 Les limono-argileux non calcaires

#### 4.6.5.1 Systèmes blé tendre – tournesol

Comme la situation de **départ** (courbe en **rouge**), les 2 variantes sont des situations « stockantes ». Elles introduisent des couverts végétaux et/ou une simplification du travail du sol (non-labour profond ou non labour superficiel). Ces variantes permettraient d'exporter entre **1 et 1,5 TMS/ha/an** (voir détails dans le tableau ci-après).

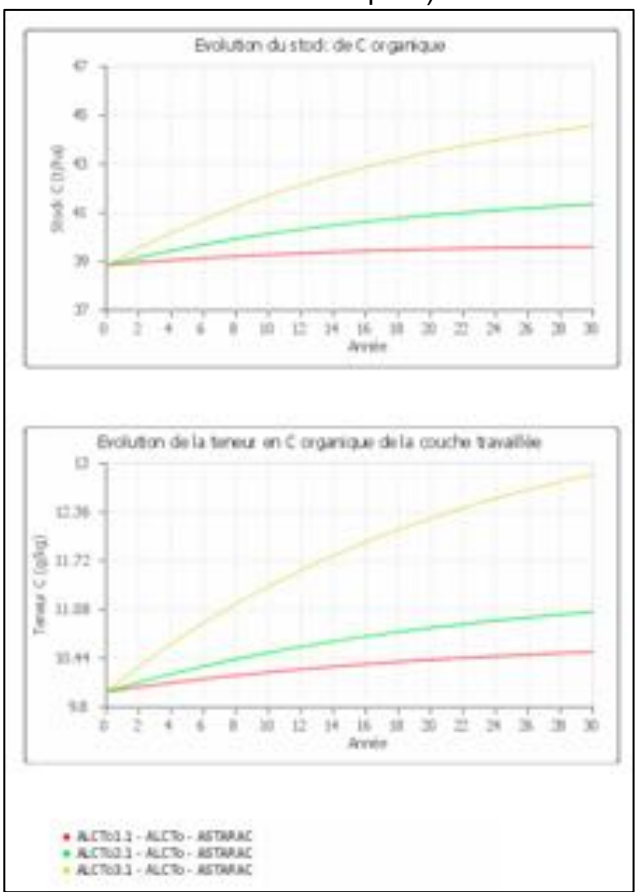



Figure 18 : Évolution des stocks de carbone sur les limono-argileux avec les rotations blé tendre - tournesol (en rouge: situation actuelle dominante – en vert :variante 1 – en jaune : variante 2)

Tableau 19 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Argilo-Limoneux** | BTH - To | Labour sans IC | Équilibre | 90 % |
| **Argilo-Limoneux** | BTH – To | Labour avec IC (1/2 ans - <2 TMS) | 3 pailles de blé en 8 ans soit 9 TMS (soit 1,1 TMS/ha/an) | <10 % |
| **Argilo-Limoneux** | BTH – To | Non Labour avec IC (1/2 ans - >3 TMS) | 3 pailles de blé et 2 pailles de tournesol en 8 ans soit 13 TMS (soit 1,6 TMS/ha/an) | <5 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*
***IC** : interculture – **PC** : plante compagne*

#### 4.6.5.2 Systèmes blé tendre – colza - tournesol

Comme la situation de **départ** (courbe en **rouge**), les 2 variantes sont des situations « stockantes ». Elles introduisent des couverts végétaux (et/ou des plantes compagnes sur colza) et/ou une simplification du travail du sol (non-labour profond ou non labour superficiel). Ces variantes permettraient d'exporter entre **1,5 et 2 TMS/ha/an** (voir détails dans le tableau ci-après).

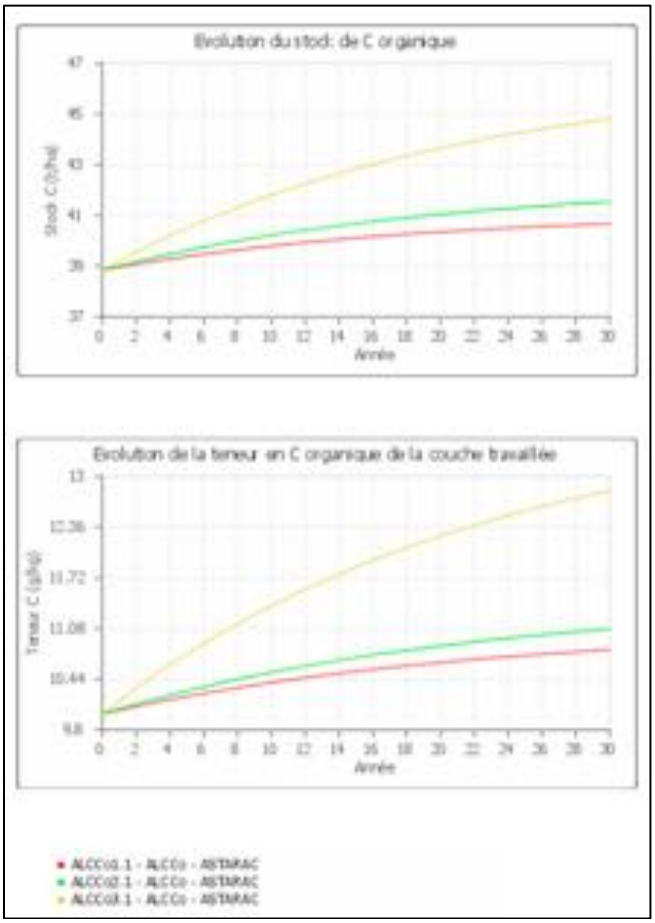



Figure 19 : Évolution des stocks de carbone sur les limono-argileux avec les rotations colza - blé tendre - tournesol (en rouge : situation actuelle dominante – en vert : variante 1 – en jaune : variante 2)

Tableau 20 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Argilo-Limoneux** | Co – BTH – To - BTH | Labour sans IC | 1 paille de blé en 4 ans soit 3 TMS (soit 0,75 TMS/ha/an) | 90 % |
| **Argilo-Limoneux** | Co – BTH – To - BTH | Labour avec PC (1/4 ans - <2 TMS) | 2 pailles de blé en 4 ans soit 6 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | <10 % |
| **Argilo-Limoneux** | Co – BTH – To - BTH | Non Labour avec PC (1 an/4 - <2 TMS)+ IC (1/4 ans - >3 TMS) | 2 pailles de blé et une paille de colza en 4 ans soit 8 TMS (soit 2 TMS/ha/an) | <5 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*
***IC** : interculture – **PC** : plante compagne*

#### 4.6.5.3 Systèmes maïs – blé tendre - soja

Comme la situation de **départ** (courbe en **rouge**), les 2 variantes sont des situations « stockantes ». Elles introduisent des couverts végétaux et/ou une simplification du travail du sol (non-labour profond ou non labour superficiel). Ces variantes permettraient d'exporter entre **1,5 et 3 TMS/ha/an** (voir détails dans le tableau ci-après).

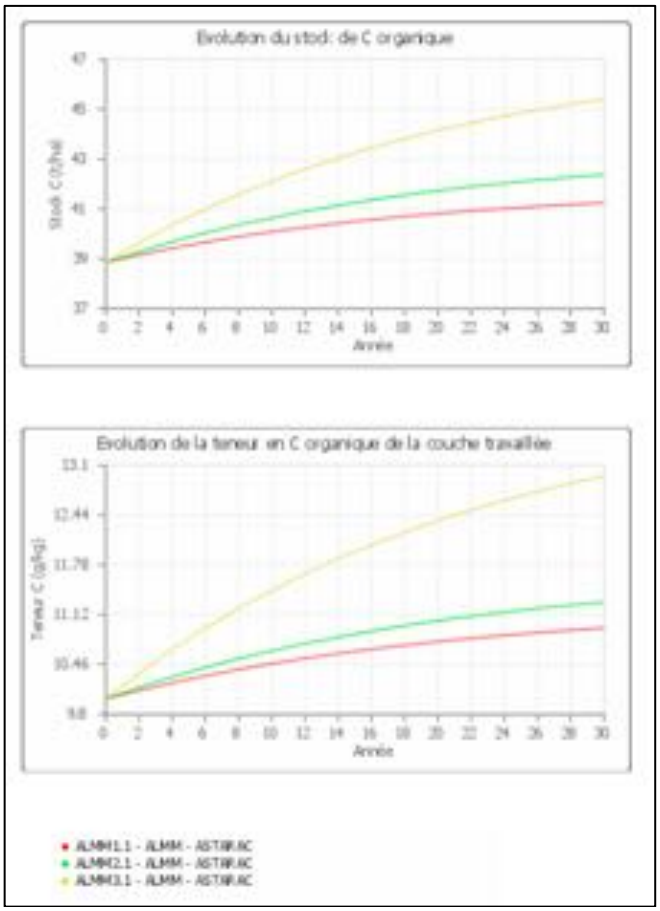



Figure 20 : Évolution des stocks de carbone sur les limono-argileux avec les rotations maïs - blé tendre - soja (en rouge : situation actuelle dominante – en vert : variante 1 – en jaune : variante 2)

Tableau 21 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Argilo-Limoneux** | Ma – Ma – Ma -BTH - So | Labour sans IC | 1 paille de blé en 5 ans soit 3 TMS (soit 0,6 TMS/ha/an) | 90 % |
| **Argilo-Limoneux** | Ma – Ma – Ma -BTH - So | Labour avec IC (1/5 ans - <3 TMS) | 1 paille de blé + 1 pailles maïs en 5 ans soit 7 TMS (soit 1,4 TMS/ha/an) | <10 % |
| **Argilo-Limoneux** | Ma – Ma – Ma -BTH - So | Non Labour avec IC (1/5 ans - >3 TMS) + IC (1/5 ans - < 3 TMS) | 1 paille de blé + 3 pailles maïs en 5 ans soit 15 TMS (soit 3 TMS/ha/an) | <5 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*
***IC** : interculture – **PC** : plante compagne*

#### 4.6.5.4 Systèmes maïs – blé tendre - colza

Comme la situation de **départ** (courbe en **rouge**), les 2 variantes sont des situations « stockantes ». Elles introduisent des couverts végétaux (et/ou des plantes compagnes sur colza) et/ou une simplification du travail du sol (non-labour profond ou non labour superficiel). Ces variantes permettraient d'exporter entre **1,5 et 3 TMS/ha/an** (voir détails dans le tableau ci-après).

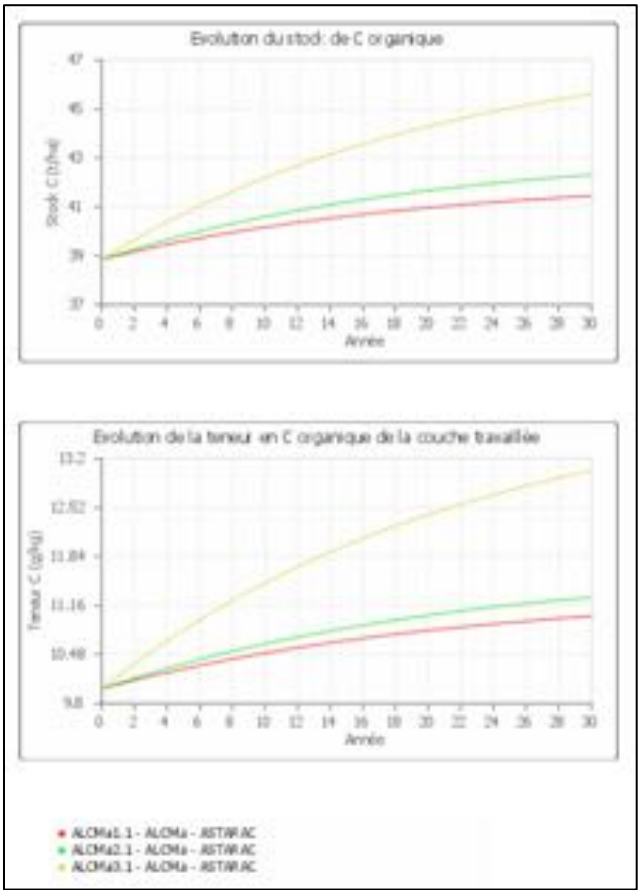



Figure 21 : Évolution des stocks de carbone sur les limono-argileux avec les rotations maïs - blé tendre - colza – blé tendre (en rouge : situation actuelle dominante – en vert : variante 1 – en jaune : variante 2)

Tableau 22 : Résultats des simulations et quantifications des résidus exportables

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables* | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Argilo-Limoneux** | Ma – BTH – Co - BTH | Labour sans IC | 2 pailles de blé en 4 ans soit 6 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | 90 % |
| **Argilo-Limoneux** | Ma – BTH – Co - BTH | Labour avec PC (1/4 ans - <2 TMS) | 2 pailles de blé en 4 ans soit 6 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | <10 % |
| **Argilo-Limoneux** | Ma – BTH – Co - BTH | Non Labour avec PC (1 an/4 - <2 TMS)+ IC (1/4 ans - >3 TMS) | 2 pailles de blé et une paille de maïs et une paille de colza en 4 ans soit 12 TMS (soit 3 TMS/ha/an) | <5 % |

** la notion « d'exportable » signifie dans ce tableau la quantité de résidus de culture que l'on peut exporter sans « perdre » de carbone (en ramenant la courbe l'évolution du stock sur une trajectoire plane).*
***IC** : interculture – **PC** : plante compagne*

## 4.7 Quantités de résidus exportables annuellement

### 4.7.1 Les maximales (valeurs brutes)

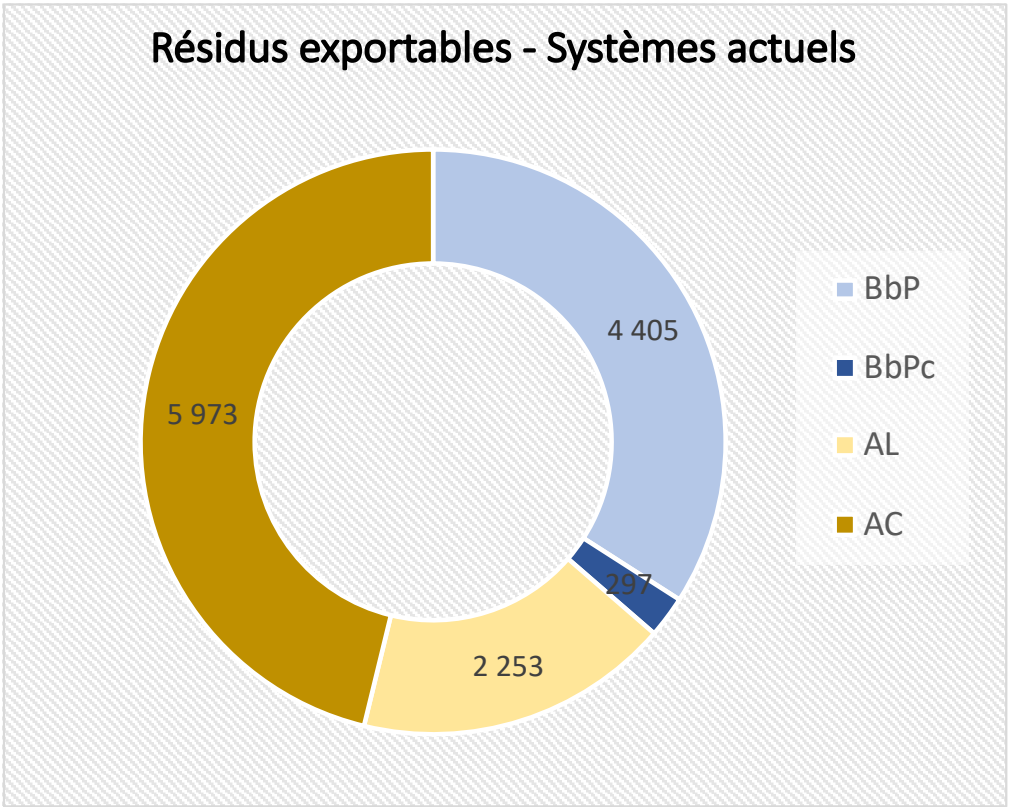
Sur la base des données présentées dans les chapitres précédents, on obtient les valeurs de carbone « exportables » (« exportables » dans le sens : qui permet de **stabiliser les stocks de carbone aux valeurs actuelles**) sur la SAU (hors prairies) variant de près de **10 000 t/an** à plus de **35 000 t/an (voir le détail dans le tableau et les graphes suivants).**

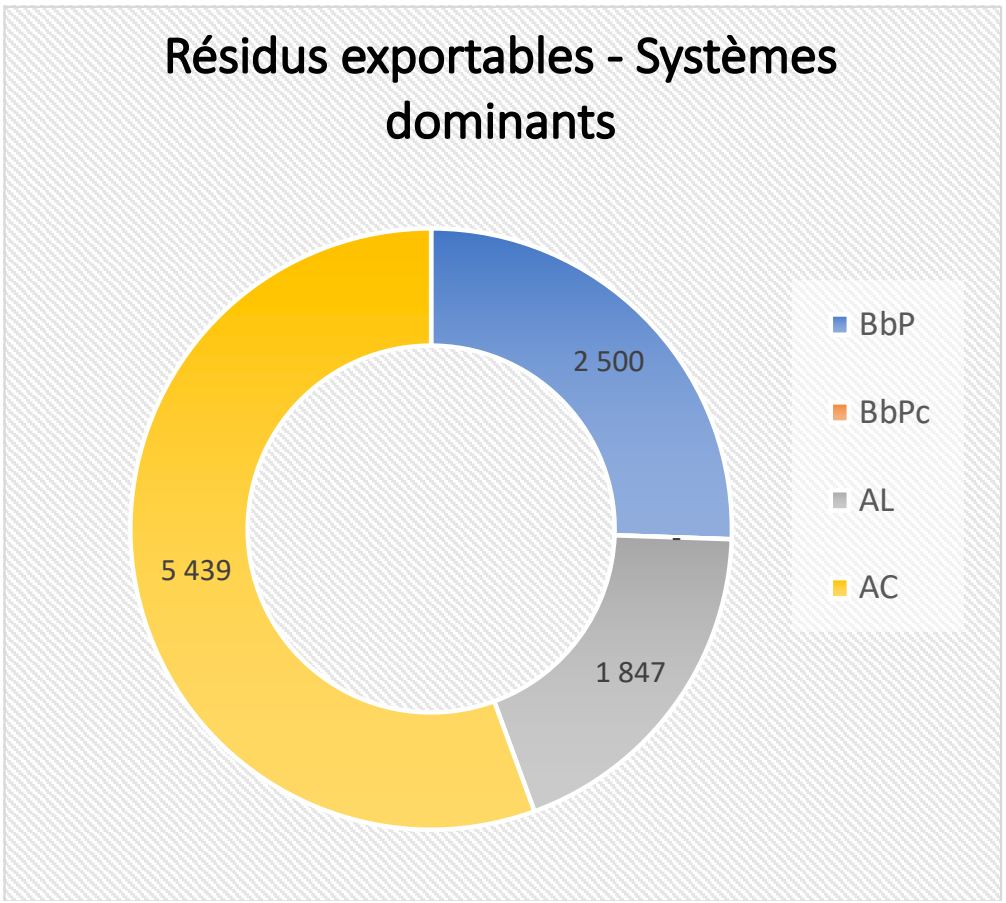
**Ces variations correspondent aux choix des scénarios agricoles :**

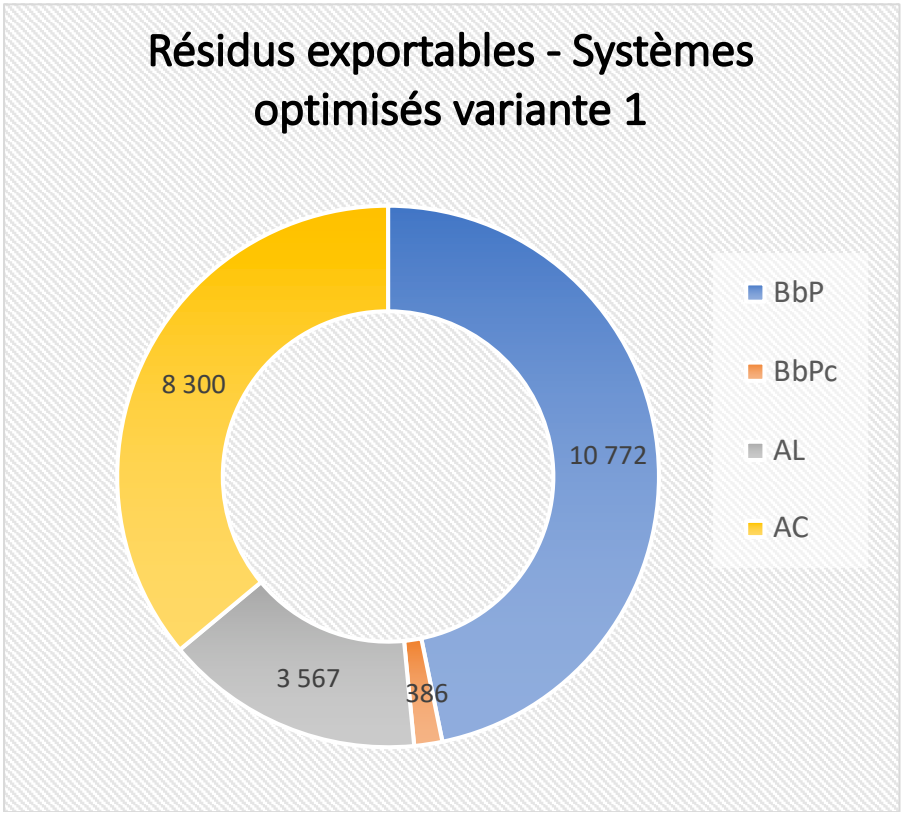
- **Systèmes dominants :** Les systèmes et les pratiques qui aujourd'hui sont majoritaires sur les différents types de sols. Dans la plupart des situations décrites, il s'agit des pratiques qui sont adoptées par plus de 80 % des agriculteurs. Dans ce scénario, on considère que 100 % des agriculteurs appliquent ces pratiques (généralement labour et sols nus).
- **Systèmes optimisés variante 1 :** On considère dans ce scénario que 100 % des agriculteurs appliquent les variantes de niveau 1 (généralement une interculture peu productive ou une plante compagne - et une réduction du labour).
- **Systèmes optimisés variante 2 :** On considère dans ce scénario que 100 % des agriculteurs appliquent les variantes de niveau 2 (généralement une ou deux intercultures productives et une suppression du labour).
- **Systèmes actuels :** On prend en compte les niveaux d'application actuels des variantes (généralement 15 à 20 % de variante 1 et 5 à 10 % de variante 2).

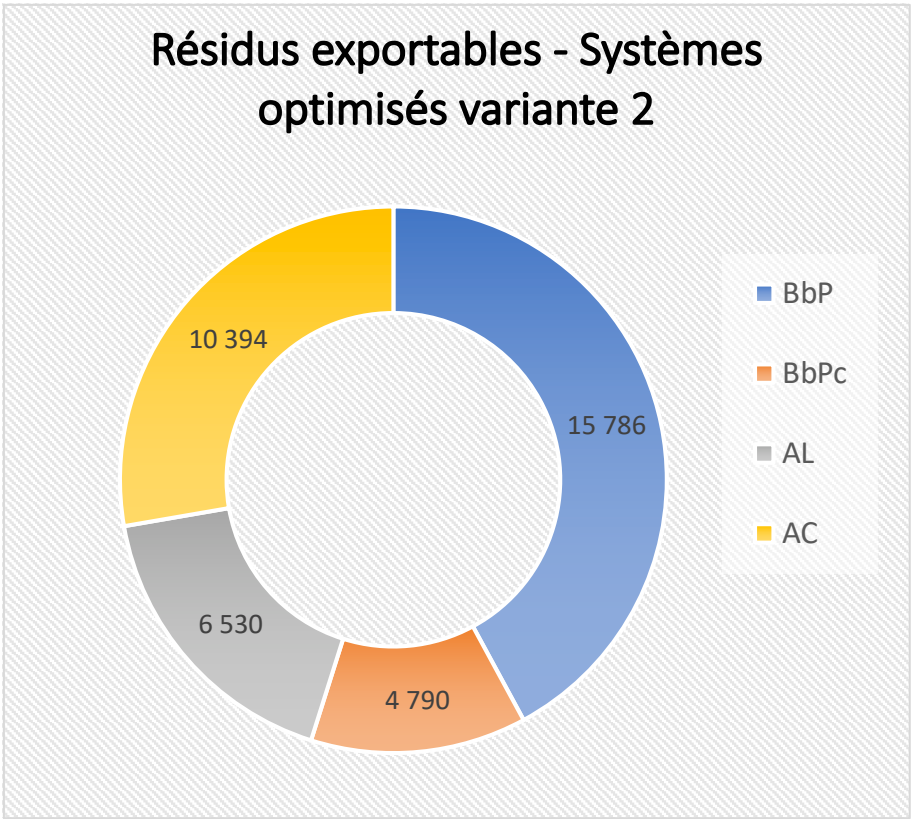
Tableau 23 : Les résidus exportables (maintien du carbone) en fonction des scénarios agricoles

| Scénarios agricoles | Résidus exportables – total – en t/an | Résidus exportables/Boulbènes profondes (BbP) en t/an | Résidus exportables/Boulbènes profondes colorées (BbPc) en t/an | Résidus exportables/Argilo-limoneux (AL) en t/an | Résidus exportables /Argilo-calcaires (AC) en t/an |
|---|---|---|---|---|---|
| Systèmes **dominants** | **9 900** | 2 500 | 0 | 1 900 | 5 500 |
| Systèmes optimisés **variante 1** | **23 000** | 11 000 | 500 | 3 500 | 8 000 |
| Systèmes optimisés **variante 2** | **37 500** | 16 000 | 5 000 | 6 500 | 10 000 |
| Systèmes **actuels** | **13 500** | 4 500 | 500 | 2 500 | 6 000 |


Résidus exportables - Systèmes actuels
4 405
297
2 253
5 973
BbP
BbPc
AL
AC

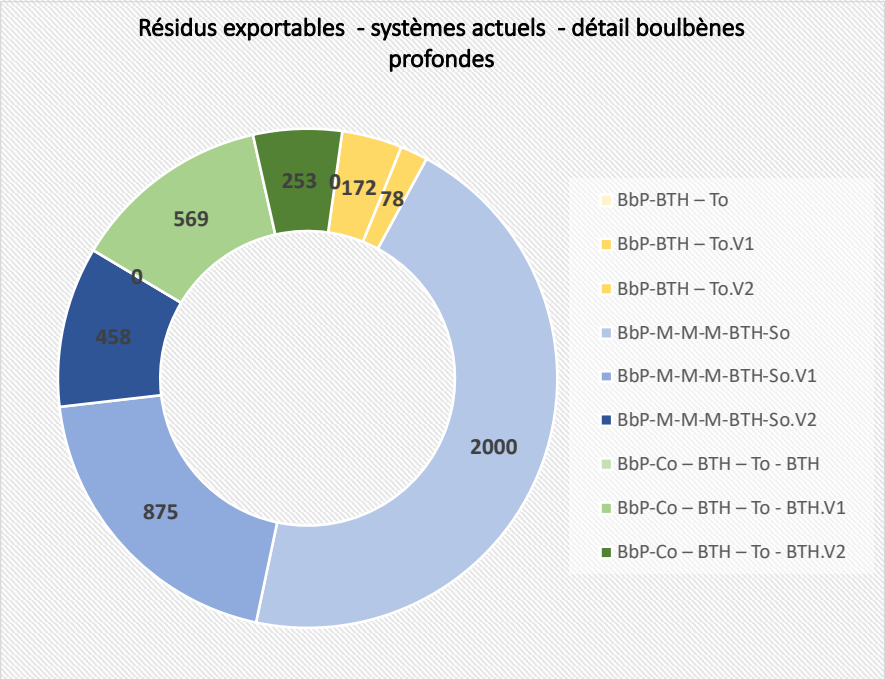

Résidus exportables - Systèmes dominants
2 500
1 847
5 439
BbP
BbPc
AL
AC


Résidus exportables - Systèmes optimisés variante 1
10 772
386
3 567
8 300
BbP
BbPc
AL
AC

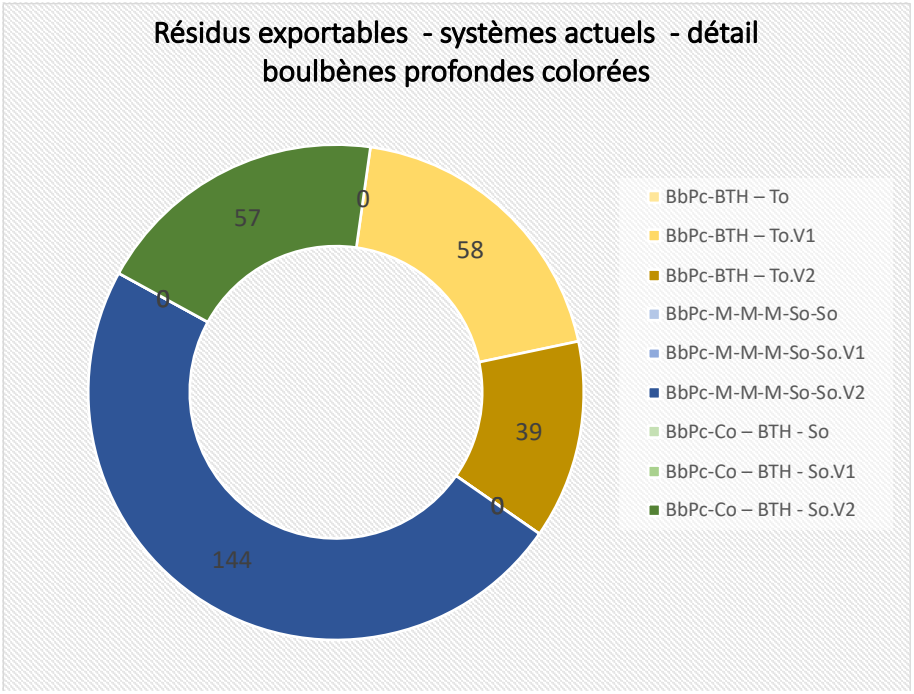

Résidus exportables - Systèmes optimisés variante 2
15 786
4 790
6 530
10 394
BbP
BbPc
AL
AC

### 4.7.2 Les valeurs brutes – **détail des résultats du système actuel**

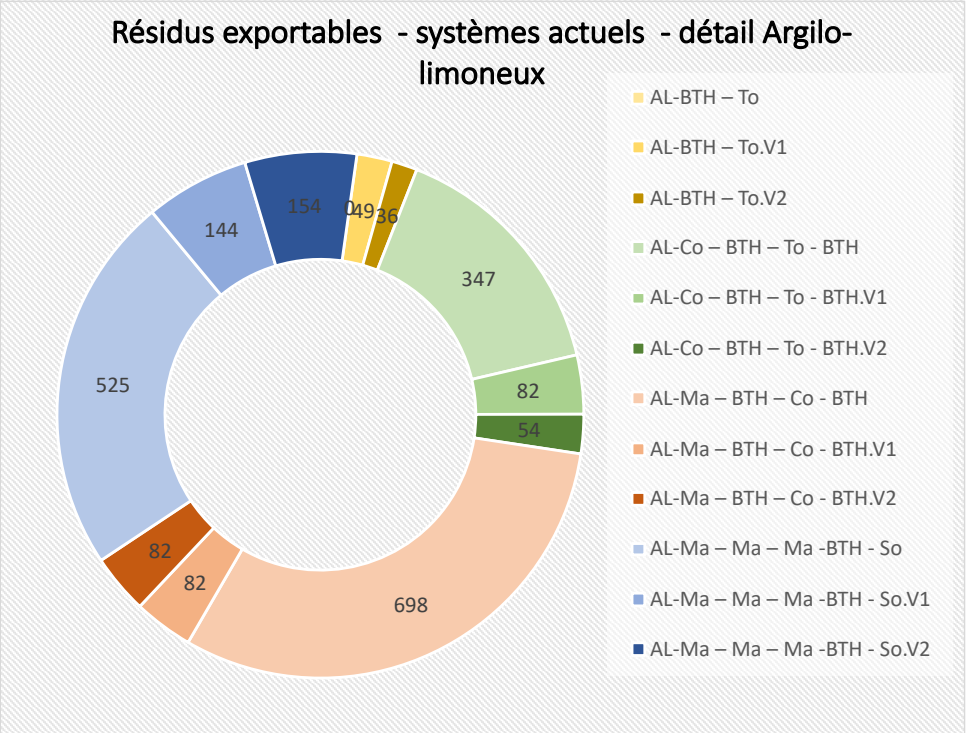
#### 4.7.2.1 Les résidus exportables provenant des systèmes présents sur les boulbènes profondes – 4 500 t/an



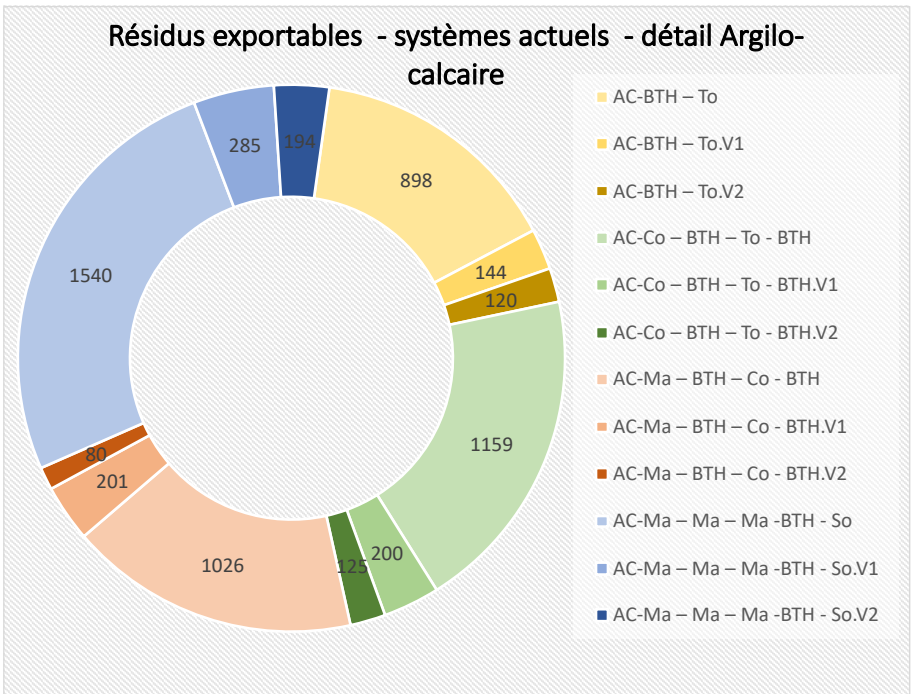

#### 4.7.2.2 Les résidus exportables provenant des systèmes présents sur les boulbènes profondes colorées – 300 t/an



#### 4.7.2.3 Les résidus exportables provenant des systèmes présents sur les argilo-limoneux – 2 500 t/an



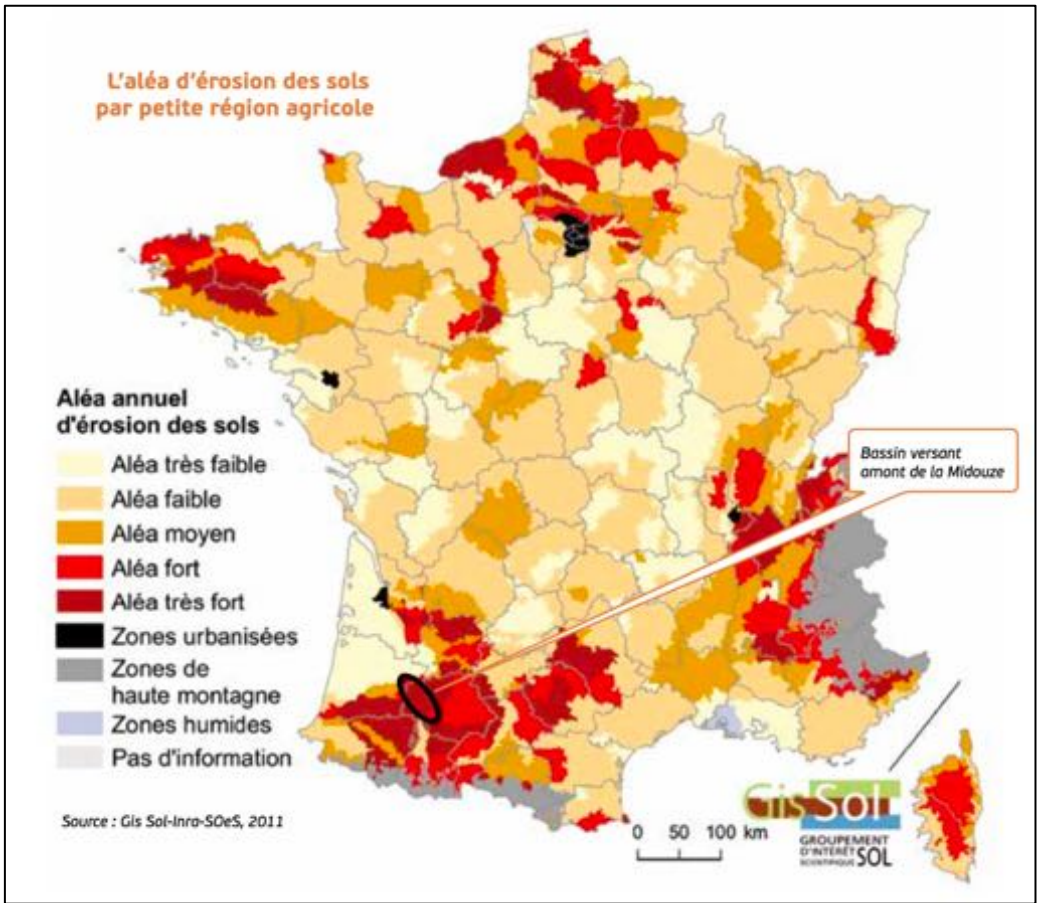

#### 4.7.2.4 Les résidus exportables provenant des systèmes présents sur les argilo-calcaires – 6 000 t/an



### 4.7.3 Analyse des résultats (potentiel maximal)

#### 4.7.3.1 Focus sur les argilo-calcaires

Dans le système actuel, les potentiels maximales d'exportation sont sur les **sols argilo-calcaires** (la mise en place des variantes permettrait de multiplier par 1,5 ce potentiel).
Cela dit, c'est généralement sur ces sols en pente que l'on constate des **aléas érosion très forts**. Cet aléa qualifié de « très fort » s'explique d'une part à des facteurs climatiques (fortes pluies de printemps et d'automne), des facteurs morphologique (pentes moyennes à fortes, taille des parcelles), des facteurs d'occupation des sols (forte proportion de sols nus), des facteurs techniques (préparations fines des sols pour la mise en place de la culture de tournesol) et des facteurs agronomique (stabilité structurale des sols moyenne à faible).




Carte 5 : Aléas érosion des sols par petites régions agricoles (Source : Gis Sol)

Dans ces sols et pour les systèmes à forte proportion de tournesol**, l'exportation des pailles de céréales peut être, dès lors très contrainte**. Cela représente environ 1/3 du potentiel de paille (près de 2 000 t/an) exportable identifié ci-dessus.

Dans ces sols, la mise en place de cultures intermédiaires et la suppression du labour (variantes 1 et 2) permettraient de limiter (voir d'annuler) les phénomènes d'érosion en **augmentant la capacité d'infiltration** des sols :

- Accroissement de la porosité verticale des sols.
- Amélioration de la stabilité structurale de surface.
- Augmenter la rugosité de surface des sols (via les résidus et la couverture végétale).

#### 4.7.3.2 Focus sur les boulbènes

Dans les systèmes actuels, les boulbènes n'apparaissent pas comme « une cible » prioritaire. Ils sont « pénalisés » par :

- Des taux de minéralisation élevés.
- La présence de l'irrigation.
- La présence de culture à faible rendement de biomasse (soja).

Cela dit, ce sont sur les sols à hauts potentiels de biomasse que les meilleurs résultats sont attendus. La généralisation des variantes 1 permettrait de doubler le potentiel actuel et d'atteindre plus de **10 000 t/an**. La généralisation des variantes 2 permettrait de quadrupler le potentiel actuel et d'atteindre plus de **20 000 t/an. De plus, c'est sur ce type de sols que la mise en place de couverts et/ou de la simplification du travail du sols sont les plus faciles à mettre en place (techniquement), par opposition aux sols argileux.**

### 4.7.4 Du potentiel maximal au potentiel réel

Quel que soit le scénario agricole envisagé, il y a un potentiel d'exportation de biomasse sur le territoire de la communauté de commune.

Les potentiels décrits ci-dessus sont des **valeurs maximales** qui :

- Ne tiennent pas compte de situations particulières (comme des taux de matières organiques des sols très bas) excluant l'exportation de biomasse.
- Ne tiennent pas compte des **usages concurrentiels** actuels (principalement **fumier** et vente de paille), **environ 3 000 tonnes par an**.
- Ne tiennent pas compte d'autres problèmes environnementaux et notamment **l'érosion sur les sols argilo-calcaires** qui peut nécessiter de maintenir les résidus (pailles de blé) en place pour améliorer la stabilité structurale des sols (Cf. ci-dessus).
- Supposent une **adhésion de tous les agriculteurs** dans l'application des variantes technique et/ou la participation à un projet « biomasse ».
- Suppose le renforcement de l'accompagnement et du conseil technique .
- Une adhésion (une **contractualisation**) des agriculteurs sur le long terme ; correspondant à la durée de vie des projets valorisant la biomasse. C'est une question essentielle pour ce type de projet, dont la durée de vie dépasse les **20 ans**. Généralement, une adhésion sur une longue période est liée à deux facteurs : une forte appropriation du projet (voir une participation financière directe) par les agriculteurs et les habitants, et/ou une bonne valorisation économique de la biomasse.
- Ne tiennent pas compte des éventuels problèmes logistiques (accès aux parcelles) et techniques ; notamment pour la récolte des résidus de cultures de maïs grain actuellement broyés (et enfouis selon la réglementation sur les nitrates). On ne trouve que peu d'exemples de **récolte des résidus de maïs grain** dans les Landes (collecte simultanée avec la récolte des grains pour éviter un second passage dans les champs en période humide).
- Ne tiennent pas compte des **aléas climatiques** pouvant affecter sévèrement les rendements (notamment des cultures estivales – maïs) et donc la quantité de résidus disponibles ; ou la demande en paille/fourrage d'une région voisine.
- Ne tiennent pas compte des **modifications rapides et profondes des assolements** (exemple : l'apparition d'un ravageur sur une culture phare, la suppression d'une molécule phytosanitaire sans équivalence, …).

Photo 1 : Récolte des rafles de maïs pour alimenter une chaudière – Mimbaste (Source : Lafargue Bioénergie)

Pour toutes les raisons citées ci-dessus, on considère généralement que pour un projet collectif que le **potentiel maximal d'exportation doit être au moins trois fois supérieur aux besoins du projet** pour assurer une viabilité sur le long terme et faire face :

- aux aléas climatiques,
- à l'apparition de nouveaux ravageurs,
- au désengagement de certains agriculteurs,
- à l'apparition de nouveaux usages concurrentiels,
- à la prise en compte de phénomène locaux d'érosion,
- …

# 5. Pour aller plus loin

## 5.1 Scénario « augmentation » du carbone des sols

Tous les potentiels d'exportation présentés jusqu'à présent sont basés sur une hypothèse de maintien du carbone des sols. Il va de soi que la définition d'un objectif d'augmentation à moyen terme du carbone des sols, réduira le potentiel d'exportation de biomasse (sans retour).
Le tableau ci-dessous présente un potentiel d'exportation réduit de 1/3 qui « garantit » une augmentation (faible) du carbone des sols. **Ce potentiel « stockant » varie de 7 000 t/an à 25 000 t/an**.

Table 24 : Les résidus exportables (augmentation du carbone) en fonction des scénarios agricoles

| Scénario agricole | Résidus exportables – total – en t/an | Résidus exportables/Boulbènes profondes (BbP) en t/an | Résidus exportables/Boulbènes profondes colorées (BbPc) en t/an | Résidus exportables/Argilo-limoneux (AL) en t/an | Résidus exportables/Argilo-calcaires (AC) en t/an |
|---|---|---|---|---|---|
| Systèmes **dominants** | **6 930** | **1 750** | **-** | **1 330** | **3 850** |
| Systèmes optimisés **variante 1** | **16 100** | **7 700** | **350** | **2 450** | **5 600** |
| Systèmes optimisés **variante 2** | **26 250** | **11 200** | **3 500** | **4 550** | **7 000** |
| Systèmes **actuels** | **9 450** | **3 150** | **350** | **1 750** | **4 200** |

## 5.2 Les prairies et les systèmes innovants

### 5.2.1 Le devenir de l'élevage et des prairies

Les prairies occupent environs **5 000 hectares** sur le territoire de la Communauté de Communes. On doit regarder ces surfaces également comme un « réservoir » de biomasse. L'herbe (sous forme d'ensilage ou de foin) peut aujourd'hui être valorisée dans des projets biomasses. Par rapport à la question du carbone des sols, une exportation de 3 à 4 tonnes par an ne nuit pas au stock de carbone des sols.
Dans un contexte de réduction des troupeaux bovins et ovins, l'utilisation de la ressource « herbe » dans un projet biomasse peut être envisagée. Avec 5 000 hectares, le potentiel de biomasse maximal est de l'ordre de **15 000 à 20 000 tonnes** par an. Évidemment, ce potentiel maximal est « contraint » par le maintien des troupeaux, l'accessibilité, les usages concurrentiels, etc.

### 5.2.2 Quid des systèmes AB et/ou très innovants

#### 5.2.2.1 Les systèmes AB en grandes cultures

Les systèmes AB sont également capables de participer à une bio-économie du carbone à l'échelle territoriale. Ils sont pénalisés la plupart du temps par des rendements plus faible (baisse de l'ordre de 40 %) et un travail du sol important pour la maîtrise des adventices. Ces difficultés sont par une grande technicité permettant d'introduire des couverts dans les rotations et de réduire le travail du sol ; et le choix de variétés avec des ratios grains/paille plus faibles.

Pour simplifier en AB, on peut distinguer 2 grands types de rotations en sec :

- Rotation **avec** 2 (ou 3) ans de **prairies artificielles** (type luzerne).
- Rotations longue (6-8 ans) **sans prairies artificielles** (Cf. exemple ci-après).

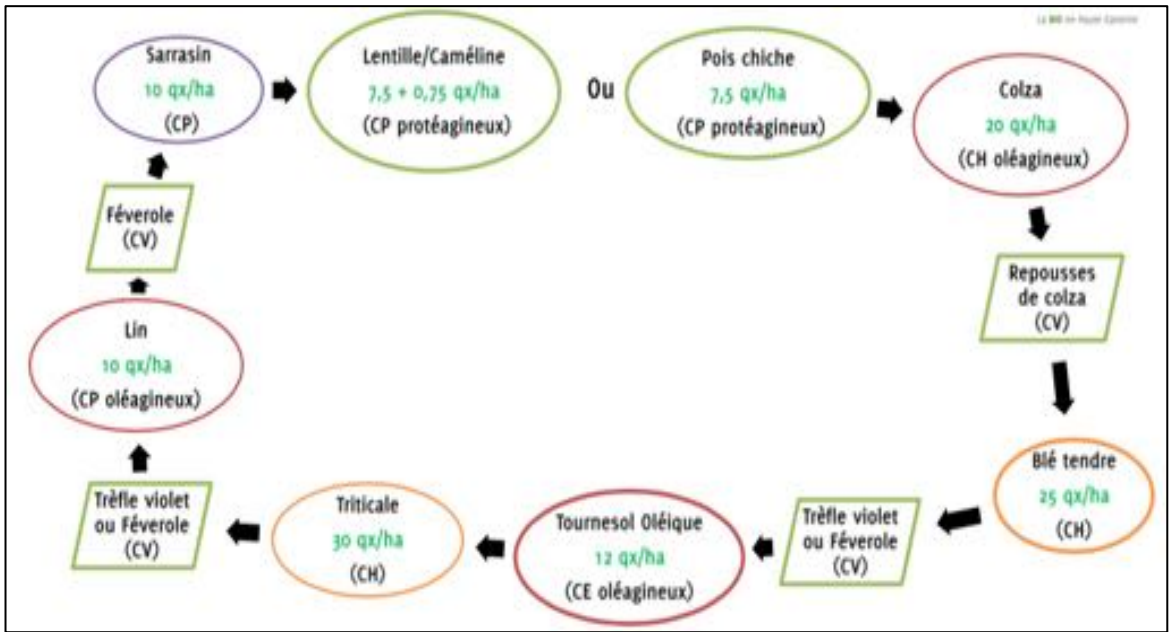



Figure 22 : Exemple de rotation AB en sec – sans prairies artificielles – Non labour profond (chisel 25 cm) + couvert

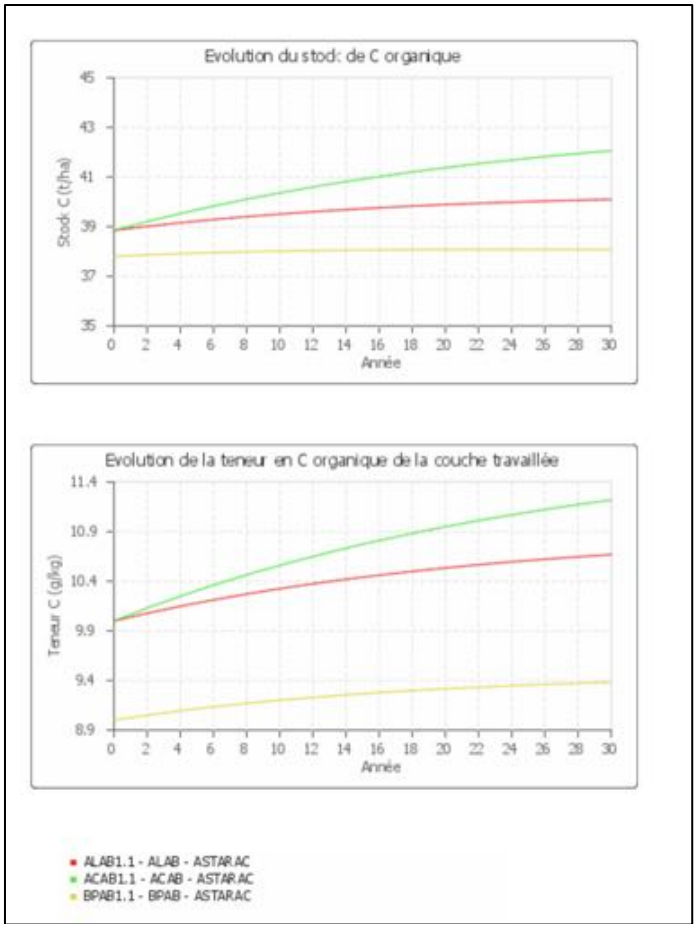



Figure 23 : Évolutions des stocks de carbone d'une rotation AB en sec sans prairies dans 3 sols différents (AL – AC – BbP)

Figure 24 : Évolutions des stocks de carbone d'une rotation AB en sec avec prairies artificielle (sols AL)

Les résultats des simulations sur les systèmes AB en sec, montrent la capacité de ces systèmes à garantir une augmentation du stock de carbone des sols et donc à en exporter une partie. Les systèmes intégrant des prairies artificielles (luzerne) ont évidemment des marges de manœuvres supérieures. Ces systèmes peuvent exporter de la luzerne qui aujourd'hui trouve sa place (au moins techniquement) dans la bioéconomie (ex. : projet de méthanisation).

#### 5.2.2.2 Les innovations

Au-delà des variantes présentées dans cette étude, des agriculteurs ont mise en place des systèmes très innovants (en AB ou non). Ces systèmes vont très loin dans la simplification du travail du sol, les associations culturales et la mise en place de couverts. C'est notamment la mise en place de couverts qui permet d'envisager des potentiels d'exportation de biomasse supérieur à ceux présentés dans cette étude. On parle ici de **couverts végétaux** qui sont généralisés (hiver comme été, voir même de double interculture) et à **très fort potentiel de biomasse** (dépassant les 10 t/an). Ces systèmes très innovants, permettent d'envisager des potentiels d'exportation de biomasse (ou une économie du carbone) bien supérieur à ceux décrit plus haut. Cela dit, **leur généralisation pose actuellement un réel problème de faisabilité**.

Photo 2 : Couvert de féverole

Photo 3 : Couvert de féverole / phacélie

Photo 4 : Tournesol + sarrasin 20 + soja + sorgho fourrager semé le 23 juillet 2018 en direct (agriculture biologique)

## 5.3 Projets bioénergies vs projets bioénergies

Tous les projets utilisant de la biomasse à des fins énergétiques génèrent des sous-produits. Ces sous-produits peuvent être valorisés sur les sols agricoles et interagir dans le cycle du carbone. On peut diviser les projets biomasse-énergie en 2 catégories en fonction de la technologie utilisée :

- Projets basés sur la combustion de la biomasse.
- Projets basés sur la méthanisation de la biomasse.

Dans le cas des projets basés sur la **combustion** de la biomasse le carbone organique est totalement détruit (et transformé en $CO_2$). Le sous-produit majeur est la **cendre**, produit riche en phosphore et surtout en potasse, qui peut faire l'objet d'une valorisation agricole mais sans impact sur le cycle du carbone.

Dans le cas des projets de **méthanisation** de la biomasse, dans les grandes lignes, le carbone organique contenu dans les résidus est transformé à hauteur d'environ 50 à 60 % en méthane et $CO_2$. Il s'agit de la partie de la matière organique la plus facilement dégradable. Le sous-produit de la méthanisation (le digestat) contient encore une part importante de carbone organique. Ce carbone est en majorité celui qui se serait transformé en humus dans le cas d'un enfouissement direct des résidus (sans passer par la méthanisation). En simplifiant le raisonnement, cela signifie que le retour aux sols des digestats permet « d'annuler » l'effet de l'exportation des résidus sur le stock de carbone des sols. Il est donc théoriquement possible d'envisager des projets de méthanisation qui n'affecte pas la composante stock de carbone des sols, et ce même si les potentiels d'exportation (tels que calculés dans cette étude) sont faibles (voire nuls). Il y a bien sur des précautions à prendre pour s'assurer de la logique agronomique d'ensemble des projets de méthanisation, mais ce procédé offre une plus grande marge de manœuvre que la combustion par rapport à la question du carbone. Il faut également signaler la grande souplesse de la méthanisation, capable de valoriser différentes sources de biomasse (résidus de cultures, lisiers, fumiers, couverts végétaux).

# Annexes

## 6. Sols & référentiel pédologique régional

### 6.1 Référentiel pédologique régional (extrait – carte)

### 6.2 UC 15 a Coteaux argilo-calcaires accidentés avec bancs de calcaires

### 6.3 UC 10 Vallées secondaires – Terrasses d'alluvions anciennes – Sud de Gascogne

### 6.4 UC 19 Coteaux accidentés sur molasse acide argileuse ou argilo-caillouteuse – Sud Gascogne et Piémont Pyrénéen

## 7. Les simulations SIMEOS-AMG

### 7.1 Boulbènes profondes

### 7.2 Boulbènes profondes colorées

### 7.3 Argilo-calcaires

### 7.4 Argilo-limoneux non calcaires

# 8. Détails des résultats d'exportation – Simulations stabilité « carbone »

| Sol | Système de culture | Systèmes dominants | Systèmes optimisés variante 1 | Systèmes optimisés variante 2 | Systèmes actuels |
|---|---|---|---|---|---|
| Boulbènes profondes | BTH – To | 0 | 0 | 0 | - |
| Boulbènes profondes | BTH – To.V1 | 0 | 1148 | 0 | 172 |
| Boulbènes profondes | BTH – To.V2 | 0 | 0 | 1566 | 78 |
| Boulbènes profondes | M-M-M-BTH-So | 2500 | 0 | 0 | 2 000 |
| Boulbènes profondes | M-M-M-BTH-So.V1 | 0 | 5833 | 0 | 875 |
| Boulbènes profondes | M-M-M-BTH-So.V2 | 0 | 0 | 9166 | 458 |
| Boulbènes profondes | Co – BTH – To - BTH | 0 | 0 | 0 | - |
| Boulbènes profondes | Co – BTH – To - BTH.V1 | 0 | 3791 | 0 | 569 |
| Boulbènes profondes | Co – BTH – To - BTH.V2 | 0 | 0 | 5055 | 253 |
| **Boulbènes profondes** | | **2500** | **10772** | **15786** | **4 405** |
| Boulbènes profondes colorées | BTH – To | 0 | 0 | 0 | - |
| Boulbènes profondes colorées | BTH – To.V1 | 0 | 386 | 0 | 58 |
| Boulbènes profondes colorées | BTH – To.V2 | 0 | 0 | 772 | 39 |
| Boulbènes profondes colorées | M-M-M-So-So | 0 | 0 | 0 | - |
| Boulbènes profondes colorées | M-M-M-So-So.V1 | 0 | 0 | 0 | - |
| Boulbènes profondes colorées | M-M-M-So-So.V2 | 0 | 0 | 2873 | 144 |
| Boulbènes profondes colorées | Co – BTH - So | 0 | 0 | 0 | - |
| Boulbènes profondes colorées | Co – BTH - So.V1 | 0 | 0 | 0 | - |
| Boulbènes profondes colorées | Co – BTH - So.V2 | 0 | 0 | 1145 | 57 |
| **Boulbènes profondes colorées** | | **0** | **386** | **4790** | **297** |
| Argilo-Limoneux | BTH – To | 0 | 0 | 0 | - |
| Argilo-Limoneux | BTH – To.V1 | 0 | 488 | 0 | 49 |
| Argilo-Limoneux | BTH – To.V2 | 0 | 0 | 710 | 36 |
| Argilo-Limoneux | Co – BTH – To - BTH | 408 | 0 | 0 | 347 |
| Argilo-Limoneux | Co – BTH – To - BTH.V1 | 0 | 816 | 0 | 82 |
| Argilo-Limoneux | Co – BTH – To - BTH.V2 | 0 | 0 | 1088 | 54 |
| Argilo-Limoneux | Ma – BTH – Co - BTH | 822 | 0 | 0 | 698 |
| Argilo-Limoneux | Ma – BTH – Co - BTH.V1 | 0 | 822 | 0 | 82 |
| Argilo-Limoneux | Ma – BTH – Co - BTH.V2 | 0 | 0 | 1643 | 82 |
| Argilo-Limoneux | Ma – Ma – Ma -BTH - So | 618 | 0 | 0 | 525 |
| Argilo-Limoneux | Ma – Ma – Ma -BTH - So.V1 | 0 | 1441 | 0 | 144 |
| Argilo-Limoneux | Ma – Ma – Ma -BTH - So.V2 | 0 | 0 | 3089 | 154 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Argilo-Limoneux** | | **1847** | **3567** | **6530** | **2 253** |
| Argilo-Calcaire | BTH – To | 1057 | 0 | 0 | 898 |
| Argilo-Calcaire | BTH – To.V1 | 0 | 1441 | 0 | 144 |
| Argilo-Calcaire | BTH – To.V2 | 0 | 0 | 2402 | 120 |
| Argilo-Calcaire | Co – BTH – To - BTH | 1364 | 0 | 0 | 1 159 |
| Argilo-Calcaire | Co – BTH – To - BTH.V1 | 0 | 2000 | 0 | 200 |
| Argilo-Calcaire | Co – BTH – To - BTH.V2 | 0 | 0 | 2500 | 125 |
| Argilo-Calcaire | Ma – BTH – Co - BTH | 1207 | 0 | 0 | 1 026 |
| Argilo-Calcaire | Ma – BTH – Co - BTH.V1 | 0 | 2011 | 0 | 201 |
| Argilo-Calcaire | Ma – BTH – Co - BTH.V2 | 0 | 0 | 1609 | 80 |
| Argilo-Calcaire | Ma – Ma – Ma -BTH - So | 1812 | 0 | 0 | 1 540 |
| Argilo-Calcaire | Ma – Ma – Ma -BTH - So.V1 | 0 | 2847 | 0 | 285 |
| Argilo-Calcaire | Ma – Ma – Ma -BTH - So.V2 | 0 | 0 | 3883 | 194 |
| **Argilo-Calcaire** | | **5439** | **8300** | **10394** | **5 973** |
| **Total** | | **9786** | **23025** | **37500** | **12 929** |

# 9. Résultats des simulations

| Sol | Système de culture | Variante | Résidus exportables | Représentativité |
|---|---|---|---|---|
| **Boulbènes profondes** | | | | |
| Boulbènes profondes | BTH – To | Labour sans IC | Déstockage | 85 % |
| Boulbènes profondes | BTH – To | Labour avec IC (2-3TMS) | 3 pailles de blé sur 8 ans soit 9 TMS sur 8 ans (1,1 TMS/ha/an) | <15 % |
| Boulbènes profondes | BTH – To | Non labour avec IC (>3TMS) | 4 pailles de blé sur 8 ans soit 12 TMS sur 8 ans (1,5 TMS/ha/an) | <5 % |
| Boulbènes profondes | M-M-M-BTH-So | Labour sans IC | 1 paille de blé sur 5 ans soit 3 TMS (0,6 TMS/ha/an) | 85 % |
| Boulbènes profondes | M-M-M-BTH-So | Labour avec IC (2-3TMS) avant soja | 1 paille de blé et 1 canne de maïs sur 5 ans soit 3+4=7 TMS (1,4 TMS/an/ha) | <15 % |
| Boulbènes profondes | M-M-M-BTH-So | Non labour avec IC (>3TMS) avant soja et entre maïs | 1 paille de blé et 2 cannes de maïs sur 5 ans soit 3+4+4=11 TMS (2,2 TMS/an/ha) | <5 % |
| Boulbènes profondes | Co – BTH – To - BTH | Labour sans IC | Équilibre | 85 % |
| Boulbènes profondes | Co – BTH – To - BTH | Labour avec PC (trèfle <2TMS) + IC (<3 TMS) | 2 pailles de blé sur 4 ans soit 6 TMS (1,5 TMS/ha/an) | <15 % |
| Boulbènes profondes | Co – BTH – To - BTH | Non labour avec PC (trèfle <2TMS) et IC (>3 TMS) | 2 paille de blé + 1 paille de colza sur 4 ans soit 8 TMS (2 TMS/ha/an) | <5 % |
| **Boulbènes profondes colorées** | | | | |
| Boulbènes profondes colorées | BTH – To | Labour sans IC | Déstockage | 85 % |
| Boulbènes profondes colorées | BTH – To | Labour avec IC (2-3TMS) | 2 pailles de blé sur 8 ans soit 6 TMS sur 8 ans (0,75 TMS/ha/an) | <15 % |
| Boulbènes profondes colorées | BTH – To | Non labour avec IC (>3TMS) | 4 pailles de blé sur 8 ans soit 12 TMS sur 8 ans (1,5 TMS/ha/an) | <5 % |
| Boulbènes profondes colorées | M-M-M-So-So | Labour sans IC | Déstockage | 85% |
| Boulbènes profondes colorées | M-M-M-So-So | Labour avec IC (2-3TMS) entre 2 maïs (X1) | à l'équilibre | <15 % |
| Boulbènes profondes colorées | M-M-M-So-So | Non labour avec IC (>3TMS) entre 2 maïs (X2) | 2 cannes de maïs sur 5 ans soit 4+4=8 TMS (1,6 TMS/an/ha) | <5 % |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Boulbènes profondes colorées | Co – BTH - So | Labour sans IC | Déstockage | 85 % |
| Boulbènes profondes colorées | Co – BTH - So | Labour avec PC (trèfle <2TMS) | Déstockage | <15 % |
| Boulbènes profondes colorées | Co – BTH - So | Non labour avec PC (trèfle <2TMS) et IC (>3 TMS) avant soja | 1 paille de blé sur 3 ans soit 3 TMS (1 TMS/ha/an) | <5 % |
| **Argilo-Limoneux** | | | | |
| Argilo-Limoneux | BTH - To | Labour sans IC | Équilibre | 90 % |
| Argilo-Limoneux | BTH – To | Labour avec IC (1/2 ans - <2 TMS) | 3 pailles de blé en 8 ans soit 9 TMS (soit 1,1 TMS/ha/an) | <10 % |
| Argilo-Limoneux | BTH – To | Non Labour avec IC (1/2 ans - >3 TMS) | 3 pailles de blé et 2 pailles de tournesol en 8 ans soit 13 TMS (soit 1,6 TMS/ha/an) | <5 % |
| Argilo-Limoneux | Co – BTH – To - BTH | Labour sans IC | 1 paille de blé en 4 ans soit 3 TMS (soit 0,75 TMS/ha/an) | 90 % |
| Argilo-Limoneux | Co – BTH – To - BTH | Labour avec PC (1/4 ans - <2 TMS) | 2 pailles de blé en 4 ans soit 6 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | <10 % |
| Argilo-Limoneux | Co – BTH – To - BTH | Non Labour avec PC (1 an/4 - <2 TMS)+ IC (1/4 ans - >3 TMS) | 2 pailles de blé et une paille de colza en 4 ans soit 8 TMS (soit 2 TMS/ha/an) | <5 % |
| Argilo-Limoneux | Ma – BTH – Co - BTH | Labour sans IC | 2 pailles de blé en 4 ans soit 6 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | 90 % |
| Argilo-Limoneux | Ma – BTH – Co - BTH | Labour avec PC (1/4 ans - <2 TMS) | 2 pailles de blé en 4 ans soit 6 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | <10 % |
| Argilo-Limoneux | Ma – BTH – Co - BTH | Non Labour avec PC (1 an/4 - <2 TMS)+ IC (1/4 ans - >3 TMS) | 2 pailles de blé et une paille de maïs et une paille de colza en 4 ans soit 12 TMS (soit 3 TMS/ha/an) | <5 % |
| Argilo-Limoneux | Ma – Ma – Ma - BTH - So | Labour sans IC | 1 paille de blé en 5 ans soit 3 TMS (soit 0,6 TMS/ha/an) | 90 % |
| Argilo-Limoneux | Ma – Ma – Ma - BTH - So | Labour avec IC (1/5 ans - <3 TMS) | 1 paille de blé + 1 pailles maïs en 5 ans soit 7 TMS (soit 1,4 TMS/ha/an) | <10 % |
| Argilo-Limoneux | Ma – Ma – Ma - BTH - So | Non Labour avec IC (1/5 ans - >3 TMS) + IC (1/5 ans - < 3 TMS) | 1 paille de blé + 3 pailles maïs en 5 ans soit 15 TMS (soit 3 TMS/ha/an) | <5 % |
| **Argilo-Calcaire** | | | | |
| Argilo-Calcaire | BTH - To | Labour sans IC | 3 pailles de blé en 8 ans soit 9 TMS (soit 1.1 TMS/ha/an) | 90 % |
| Argilo-Calcaire | BTH – To | Labour avec IC (1 an/2 - <2 TMS) | 4 pailles de blé en 8 ans soit 12 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | <10 % |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Argilo-Calcaire | BTH – To | Non Labour avec IC (1 an/2 - >3 TMS) | 4 pailles de blé et 4 paille de tournesol en 8 ans soit 20 TMS (soit 2,5 TMS/ha/an) | <5 % |
| Argilo-Calcaire | Co – BTH – To - BTH | Labour sans IC | 2 pailles de blé en 4 ans soit 6 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | 90 % |
| Argilo-Calcaire | Co – BTH – To - BTH | Labour avec PC (1 an/4 - <2 TMS) | 2 pailles de blé + 1 paille colza en 4 ans soit 9 TMS (soit 2,2 TMS/ha/an) | <10 % |
| Argilo-Calcaire | Co – BTH – To - BTH | Non Labour avec IC (1 an/4 - >3 TMS) et PC (1 an/4 - <2 TMS) | 2 pailles de blé + 1 paille colza + tournesol en 4 ans soit 11 TMS (soit 2,75 TMS/ha/an) | <5 % |
| Argilo-Calcaire | Ma – BTH – Co - BTH | Labour sans IC | 2 pailles de blé en 4 ans soit 6 TMS (soit 1.5 TMS/ha/an) | 90 % |
| Argilo-Calcaire | Ma – BTH – Co - BTH | Labour avec PC (1/4 ans - <2 TMS) | 2 pailles de blé + 1 paille maïs en 4 ans soit 10 TMS (soit 2,5 TMS/ha/an) | <10 % |
| Argilo-Calcaire | Ma – BTH – Co - BTH | Non Labour avec IC (1 an/4 - >3 TMS) et PC (1/4 ans - <2 TMS) | 2 pailles de blé + 1 paille maïs +1 paille de colza en 4 ans soit 2 TMS (soit 3 TMS/ha/an) | <5 % |
| Argilo-Calcaire | Ma – Ma – Ma - BTH - So | Labour sans IC | 1 paille de blé + 1 pailles maïs en 5 ans soit 7 TMS (soit 1,4 TMS/ha/an) | 90 % |
| Argilo-Calcaire | Ma – Ma – Ma - BTH - So | Labour avec IC (1/5 ans - <3 TMS) | 1 paille de blé + 2 pailles maïs en 5 ans soit 11 TMS (soit 2,2 TMS/ha/an) | <10 % |
| Argilo-Calcaire | Ma – Ma – Ma - BTH - So | Non Labour avec IC (1/5 ans - >3 TMS) + IC entre maïs (1/5 ans <3TMS) | 1 paille de blé + 3 pailles maïs en 5 ans soit 15 TMS (soit 3 TMS/ha/an) | <5 % |
| Argilo-Calcaire | PP | | 12 TMS en 4 ans soit 3 TMS/an | |