



## BILAN CARBONE DES BIOÉNERGIES

Agriculture Forêt

Université négaWatt - Octobre 2018

**Christian COUTURIER** 



Plan

### • 1. Agriculture

- $\rightarrow$  Rôle de la matière organique dans le sol
- → Impact de la méthanisation des fumiers et pailles sur le carbone des sols
- → Impact de la méthanisation des cultures intermédiaires
- → Comparaison avec le compostage
- → Impact de la méthanisation sur la MO labile

#### • 2. Forêt



## L'AGRICULTURE



La matière organique joue un rôle essentiel dans le bon fonctionnement des sols. Elle contribue à assurer ses propriétés physiques, chimiques et biologiques.

- Stabilité de la structure du sol
  - Mode d'assemblage des constituants du sol (agrégats)
  - Stabilité = résistance de cette structure aux agents de dégradation
  - Liée à la teneur en matière organique : formation des complexes organominéraux stables et résistants (argilo-humique par exemple)
- · Résistance à la compaction
  - Compaction (passage des engins): réduit la circulation des fluides dans le sol
  - MO : augmente la résistance à la déformation et l'élasticité

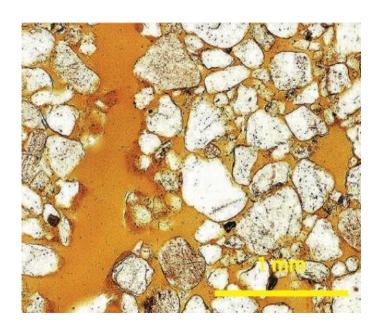


#### Porosité du sol

- Vides occupés par l'eau et l'air
- Macroporosités (eau libre) : permet circulation des fluides, implantation des racines
- Mésoporosités, microporosités: eau utilisables par les plantes
- Réserve utile en eau : liée à la porosité et à la teneur en MO
- Porosité: liée à la structure du sol donc influencée par la MO

#### Capacité d'échange cationique

- Pouvoir de fixation des cations (H<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mg<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Na <sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>...) de la matière organique
- Complexes organo-minéraux = réservoir de cations échangeables



Porosité d'un sol, en jaune (source : European atlas of soil biodiversity, JRC 2010



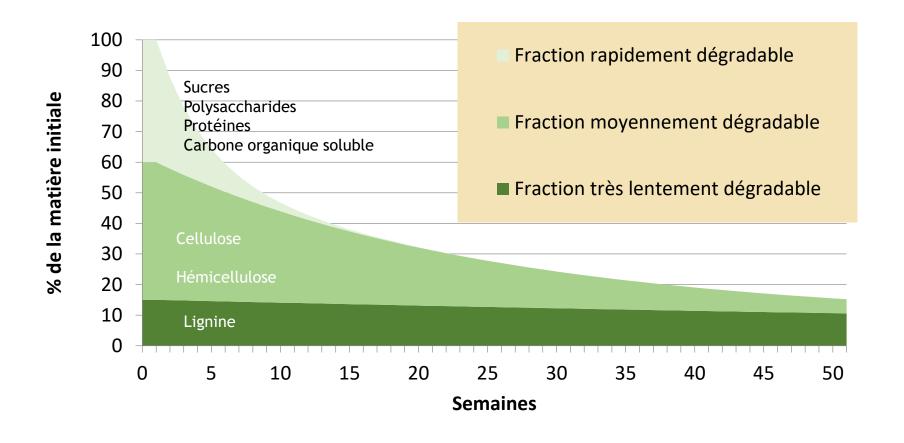
#### · Activité biologique conditionne :

- humification et formation de complexes argilohumiques
- défense des végétaux par la sécrétion de substances antibiotiques ou fongicides
- mise à disposition pour les plantes des éléments minéraux constitutifs (oxydation et chélation)
- décomposition et la transformation des matières organiques
- fixation d'azote atmosphérique
- transfert d'eau dans les plantes

 Activité biologique conditionnée par quantité d'énergie disponible pour les êtres vivants hétérotrophes = matière organique labile





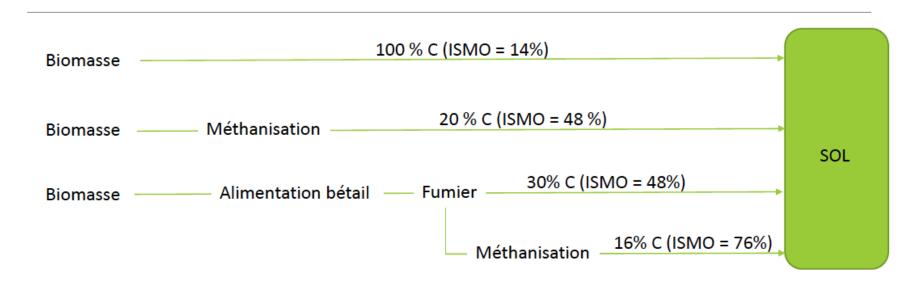




Impact de la méthanisation de fumiers et pailles sur la MO stable



# APPLICATION A LA SIMULATION DE L'IMPACT DE LA METHANISATION SUR LA DYNAMIQUE DE LA MOS



La dynamique de la MOS ne se trouverait pas affectée, sur le long terme, par l'introduction de la méthanisation

Thomsen et al., 2013

Safya Menasseri-Aubry dans « Place de la méthanisation dans la gestion de la matière organique à l'échelle de l'agrosystème », 16 Septembre 2016, SPACE



## EFFET DE LA METHANISATION SUR LA MO

Peu d'informations disponibles à partir d'essais de longue durée

2 études menées en Allemagne (Möller, 2009; Bachmann et al, 2014) sur sols limoneux et sablolimoneux avec 1,8 et 2,5 % de MO initiale



Pas de différences significatives entre des stratégies de restitutions d'effluents bruts et résidus de cultures et des restitutions d'un digestat de ces mêmes mélanges, au bout de 3 et 4 ans

Le carbone perdu pendant le procédé de digestion anaérobique est compensé par une moindre dégradation du carbone restant (Möller, 2015)

Safya Menasseri-Aubry dans « Place de la méthanisation dans la gestion de la matière organique à l'échelle de l'agrosystème », 16 Septembre 2016, SPACE



Impact de la méthanisation de cultures intermédiaires



Une culture intermédiaire est une culture semée après la récolte de la culture annuelle principale et qui remplit différentes fonctions agro-environnementales (piégeage de l'azote résiduel, lutte contre l'érosion) ou économiques (production de biomasse récoltable).

#### →Couverts végétaux / cultures intermédiaires / cultures en dérobé :

- éviter que le sol reste nu après la récolte :
  - Réduire les phénomènes d'érosion,
  - Réduire développement des mauvaises herbes (les adventices)
  - Réduire lessivage des minéraux ;
  - Améliorer la structure du sol et le stockage de carbone par leur système racinaire ;
  - Augmenter la biodiversité

#### →CIPAN

- culture intermédiaire piège à nitrates)
- obligation dans certaines zones (zones vulnérables à la pollution azotée)

#### $\rightarrow$ CIVE

- cultures intermédiaires à vocation énergétique
- fonction supplémentaire de production de biomasse

#### $\rightarrow$ CIMS(E)

Culture intermédiaire multi-services (environnementaux)



A la différence d'une CIPAN, une CIVE est implantée dans l'optique d'une récolte, son itinéraire technique est raisonné de façon à maximiser la biomasse produite.

- →CIVE ou CIMSE : fonction supplémentaire de production de biomasse
  - Différences :
  - choix de variétés,
  - techniques de semis,
  - · date d'implantation, de récolte, de fertilisation,
- →Une CIVE ou CIMSE peut fréquemment atteindre voire dépasser 6 tMS/ha, tandis qu'un couvert implanté dans une logique CIPAN produit généralement de l'ordre de 1 à 2 tMS/ha.
- →La CIMSE produit plus de biomasse racinaire que le CIPAN
- $\rightarrow$ 2 questions:
  - Bilan carbone comparé sol nu / CIPAN / CIMSE
  - Bilan carbone comparé CIMSE exportée / CIMSE laissée sur place



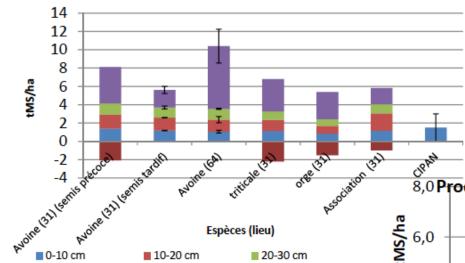
Photo Sylvain Marsac, ARVALIS, Semé avant le 15 juillet et avec une bonne disponibilité en eau, le rendement du sorgho CIVE dépasse 6 t MS/ha.



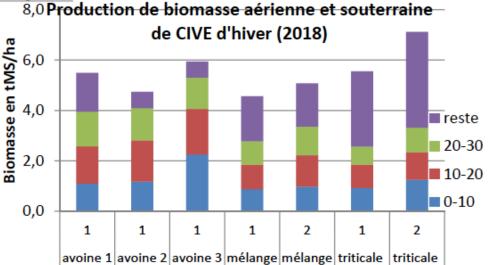
# IR I CIVE et matière organique? La première question des agriculteurs après le choix d'espèce!

Présentation S. Marsac ARVALIS

Production de biomasse aérienne et souterraine de CIVE d'hiver (2017)



 Près de 2 tMS/ha restituées au sol par les chaumes de 15 cm.





■ 30 cm - sommet

2018



Racines (25/30cm)

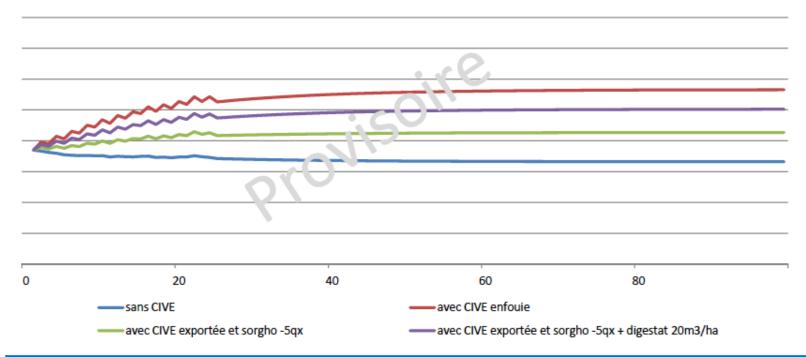




## CIVE et matière organique?

Présentation S. Marsac ARVALIS

Tendances d'évolution du taux de carbone organique d'un argilocalcaire du Lauragais selon le système de culture



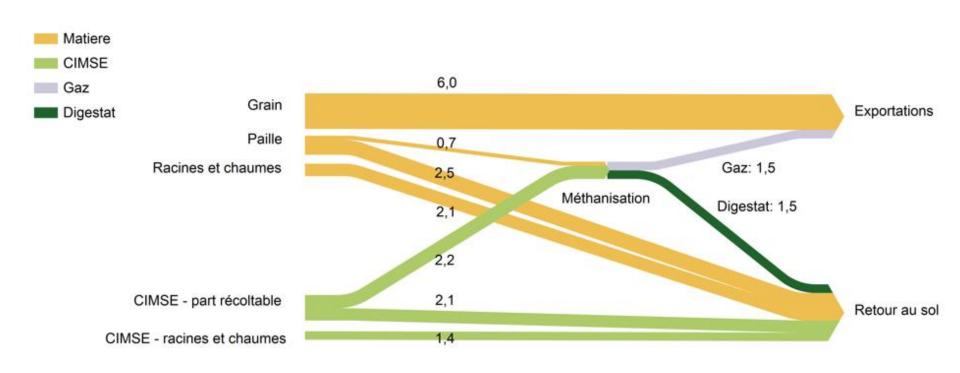
Tendances de premières Simulations avec modèle AMG sur sol argilo-calcaire Paramétrage en cours de finalisation pour CIVE et digestat Les tendances resteront les mêmes, l'amplitude pourra être légèrement modifiée





# Gestion globale CIMSE et résidus de culture - échelle parcelle

Exemple du blé tendre Rendements moyens annuels France, Afterres2050 t MS / ha





MtMS – pailles + CIMSE	2 010	2 050 « CIMSE méthanisées »	2050 « CIPAN »
Production	75	102	82
Abandon au champ	61	61	74
Prélèvements (pour fumier ou méthanisation)	14	41	7
Restitution (fumier + digestat de paille et CIMSE)	7	20	3
Total retour	68	81	78
dont MO stable	10	13	11
CO <sub>2</sub> eq stocké (kt)	16	22	18
CO <sub>2</sub> économisé par substiution (kt)	0	26	0
Total stockage + substitution	16	48	18

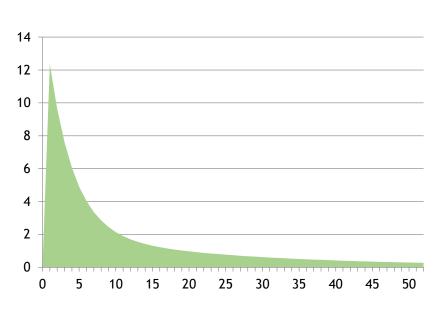


Impacts sur la MO labile

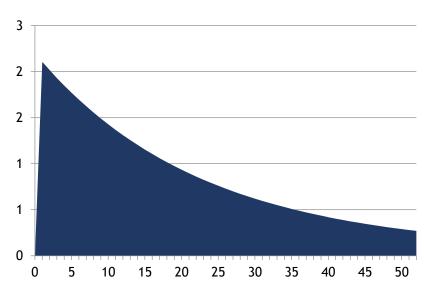


## **Energie disponible**

#### Matière brute



#### Matière digérée





Pour augmenter le carbone des sols, il faut surtout diminuer les processus de dégradation de la matière organique, et apporter de la matière organique stable

#### Augmentation

- Faible activité biologique : N peu disponible, MO peu labile
- Sol sec
- Rendements élevés
- Non labour, travail simplifié
- Apport important de MO stable
- Exportations de MO limitées

#### **Diminution**

- Forte activité biologique (N disponible, MO labile,
- irrigation
- Rendements faibles
- Travail du sol, labour
- Faible apport de MO stable

On ne peut pas avoir tous les facteurs positifs en même temps. Rendements élevés => N disponible => alimente process de dégradation de la MO du sol

Digestat : le process de décomposition est opéré hors champs (pas de phénomènes de faim d'azote), on restitue la MO stable (qui va moins contribuer directement à l'activité biologique ; pas de priming effect), et du N minéral qui va augmenter les rendements (et donc l'activité biologique indirectement) L'effet global (modélisation SIMEOS/AMG) dépend de nombreux paramètres (type de sol, successions culturales, itinéraires techniques) et il existe le plus souvent des solutions pour le rendre positif.

L'effet systémique importe plus que l'effet direct.



## LA FILIÈRE FORÊT-BOIS



#### La production biologique

- $\rightarrow$ 3 compartiments : le BFT, le BFB, le MB => total = le **VAT**
- →donnée IFN : « bois fort tige » = 92Mm3 « bois rond sur écorce »
- →« Bois fort branche » + menu bois = bois fort tige x facteur d'expansion (programme CARBOFOR)
- $\rightarrow$ Pour le stock de carbone : ajouter les racines = BFT x facteur d'expansion des racines + le sol + la litière
- → Production biologique nette : production brute mortalité (environ 10% de la production brute)

#### Les prélèvements

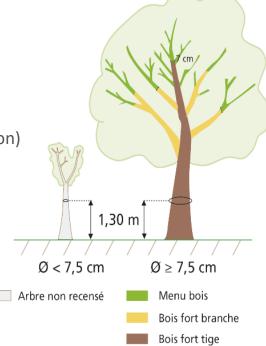
→Comprend le volume récolté et le volume non récolté (dont les pertes d'exploitation)

#### La récolte

- →EAB : BO, BI, et une petite partie du BE
- →Hors EAB : presque exclusivement du BE

#### Les usages

- →BO : grumes pour scieries, tranchage déroulage
- →BI : trituration pour pâte à papier et panneaux de particules
- →BE : bûche, plaquette
- →Distinguer le « BO potentiel » du « BO effectif » (valeur commerciale réelle dépend du contexte)





Mm3			Bois fort tige	Bois fort branche	Menu bois		
Commercialisé (EAB)	37,5		XXX	X			
Autoconsommé	15		X	X			
Pertes d'exploitation	12,7		6 (10%)	6,7			
Total prélèvements	64,7		45,5	12,5	6,7		
Volume sur pied							
Production biologique	138		92 46				
Taux de prélèvement	47%		49% (F: 40%;R: 62%)				

#### Sources:

Mémento 2017, IGN: période 2007-2015, France métropolitaine

Production biologique bois fort tige: 92 Mm³ (59% feuillus); 5,7 m³/ha

Prélèvements: 45,2 Mm³; bois mort 8,8 Mm³

Surface forestière: 16,9 Mha, +100.000 ha par an (+0,7% par an)

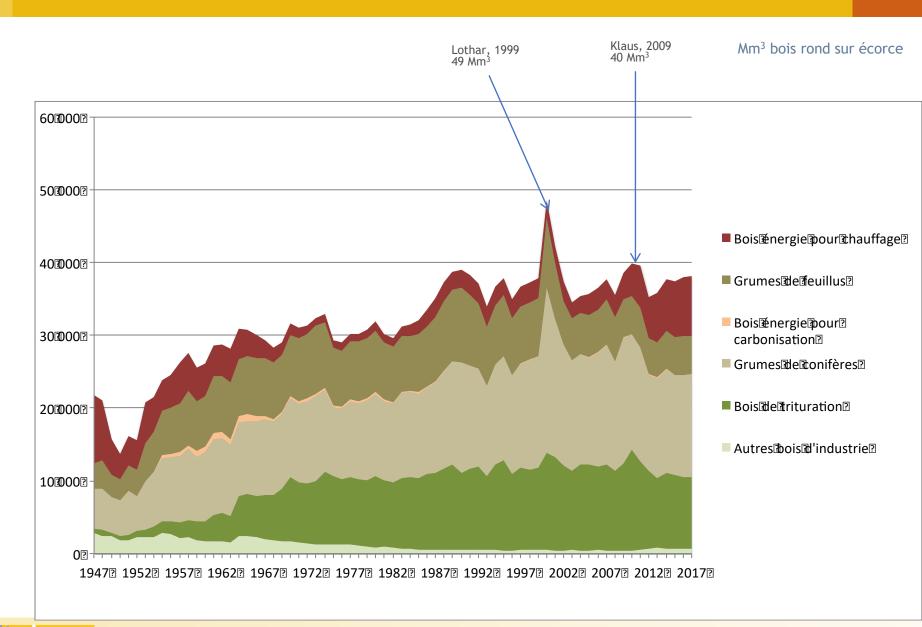
EAB: 2016

Données IFN / EAB

Données déduites

Données estimées



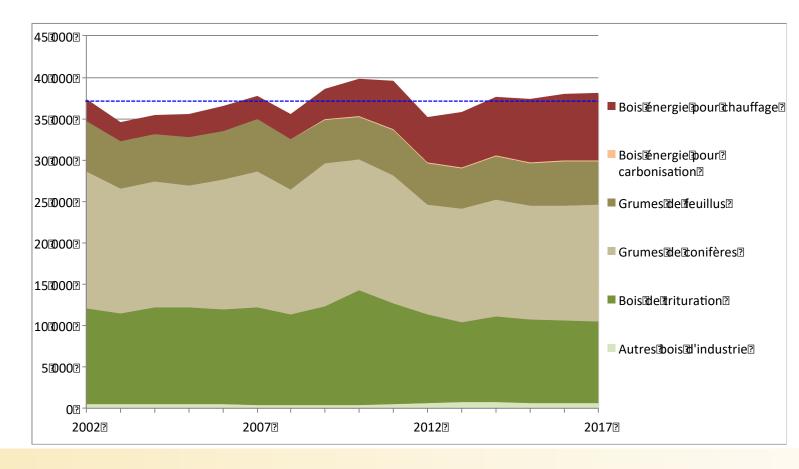




#### Tendances:

Mm3 bois rond sur écorce

- Récolte en légère augmentation
- BOBI:  $-3.5 \text{ Mm}^3$
- Energie + 5,5 Mm3





EAB: 8 Mm<sup>3</sup> de BE dont 3 en bois bûche

Circuits non commerciaux: 14,5 Mm<sup>3</sup>

Total BE forêt: 22,5 Mm<sup>3</sup>

Consommation bois bûche: 23 Mm³ dont 64%

provenant de la forêt

= 14,7 Mm³ de bois bûche provenant de la forêt

Bûche = 90% de la consommation des ménages

Usagers bois énergie = 6,8 millions de ménages,

-8% en 5 ans

Consommation par ménage : 6 stères, -20%

Consommation totale de bois énergie des ménages =

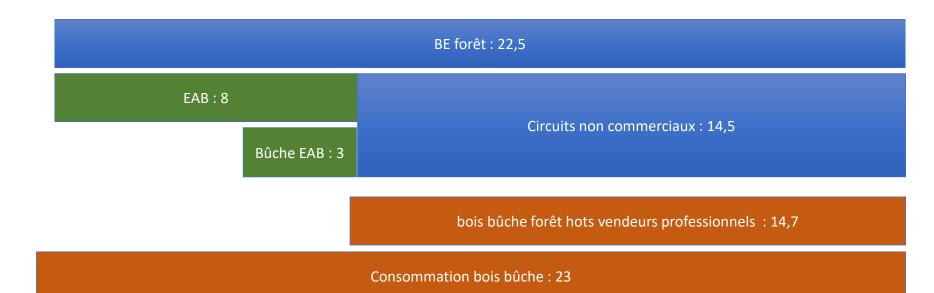
26 Mm<sup>3</sup> eq.,

-23%

Granulés 2,5 Mm<sup>3</sup> eq,

+13%

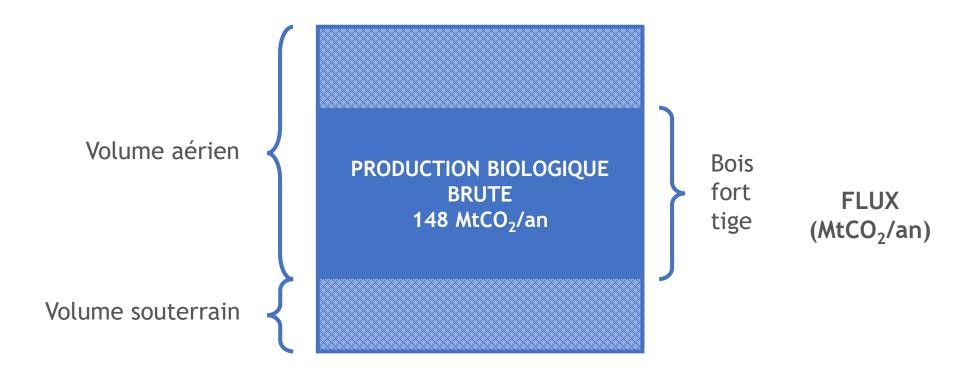
Autres > 0,1 Mm<sup>3</sup> eq



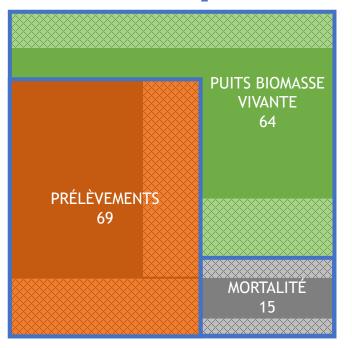


# Bilan carbone actuel de la filière forêt-bois française





# PRODUCTION BIOLOGIQUE BRUTE 148 MtCO<sub>2</sub>/an

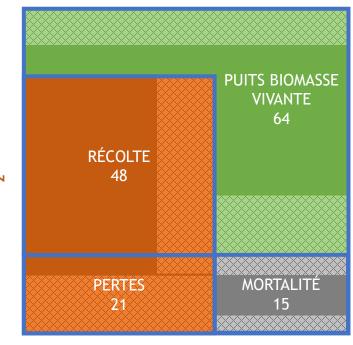


FLUX (MtCO<sub>2</sub>/an)



PRODUCTION BIOLOGIQUE
BRUTE
148 MtCO<sub>2</sub>/an

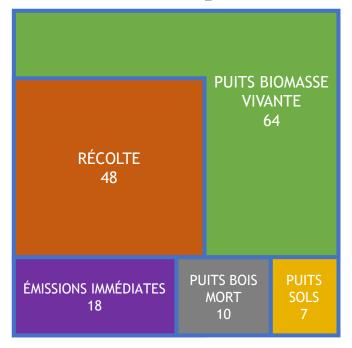




FLUX (MtCO<sub>2</sub>/an)



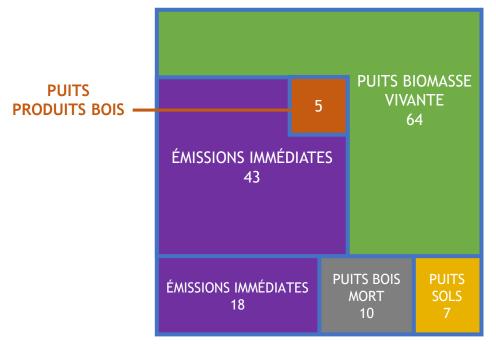
# PRODUCTION BIOLOGIQUE BRUTE 148 MtCO<sub>2</sub>/an



FLUX (MtCO<sub>2</sub>/an)



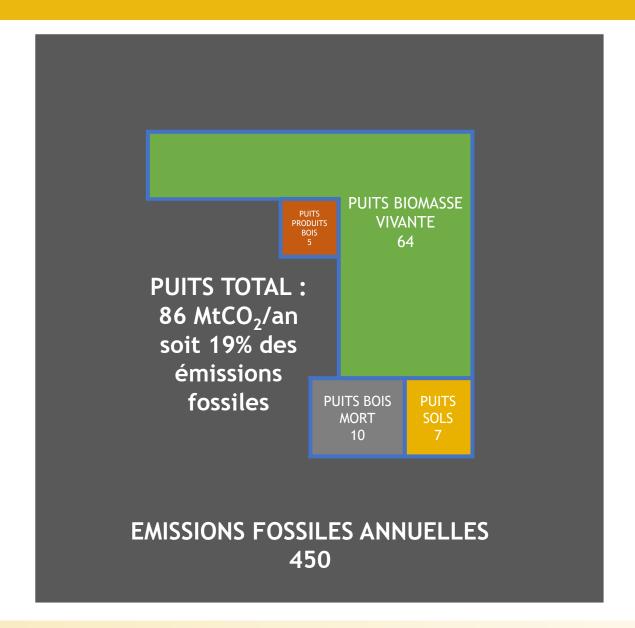




FLUX (MtCO<sub>2</sub>/an)



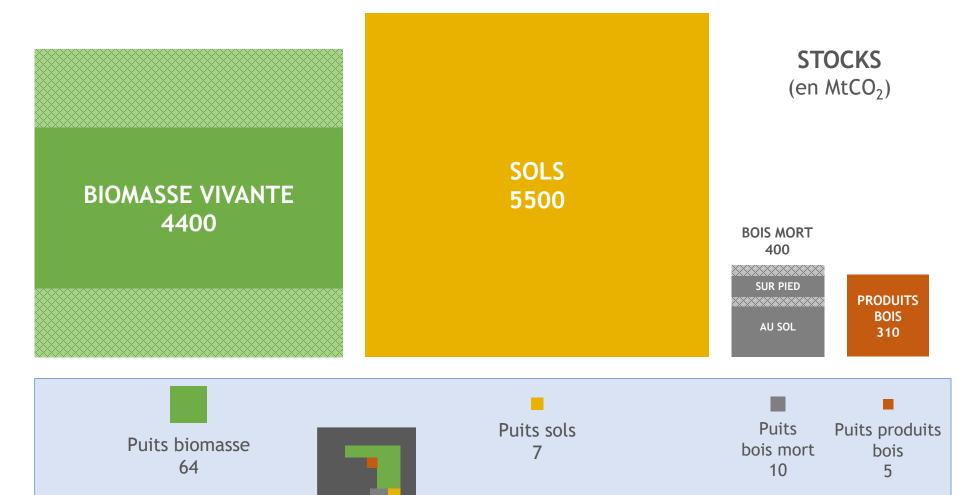
Flux 39



FLUX (MtCO<sub>2</sub>/an)



### Stocks et flux



Émissions fossiles

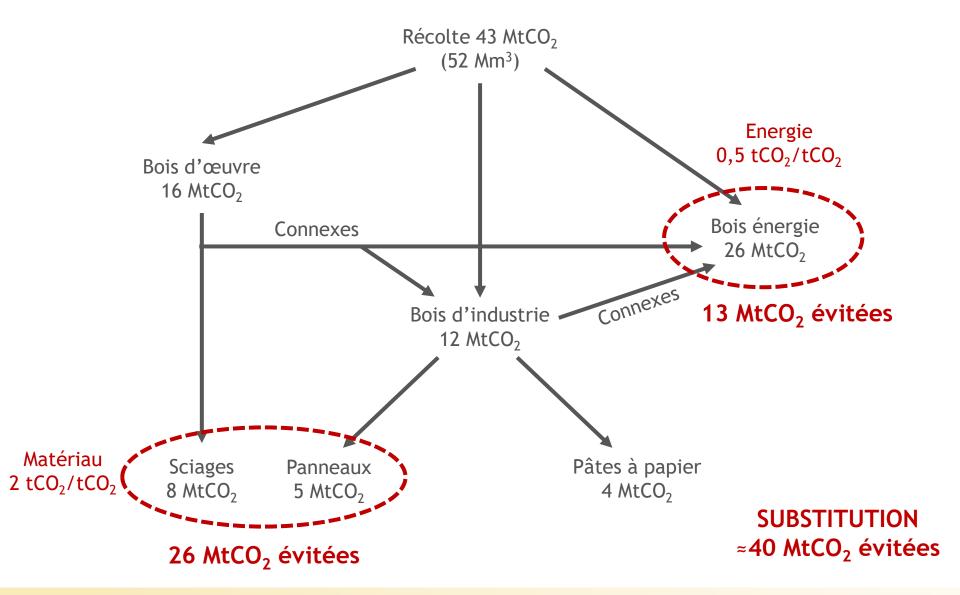
450

**FLUX** 

(en MtCO<sub>2</sub>/an)



### Phénomènes de substitution



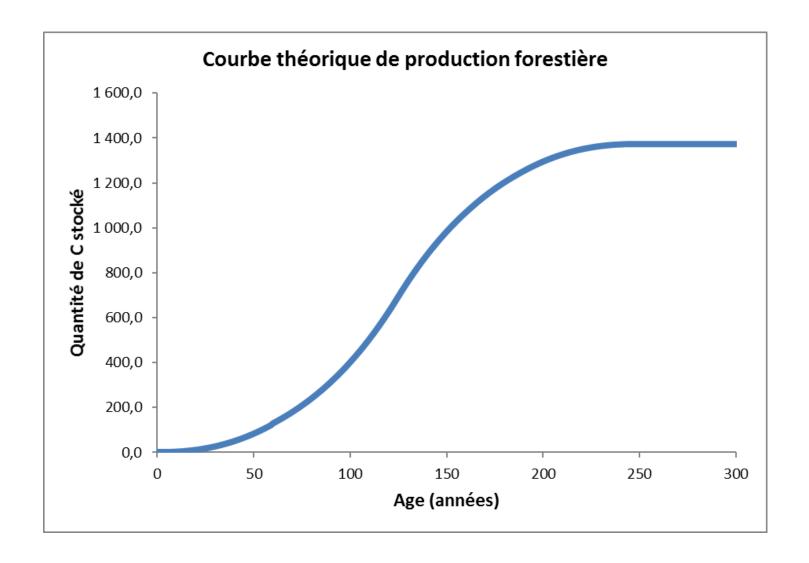


MtCO <sub>2</sub> /an	CITEPA 2017	IGN 2014	IGN/INRA 2017	ECOFOR 2015	IGN 2014	IGN/INRA 2017 RCP 8.5	ECOFOR 2015	
Horizon	Actuel			2030	2050	2050	2100	
Scénario extensification								
Stockage forêt	57	75	75	95	85	86	80	20
Total avec effet substitution	60	-	115	125	-	123	105	25
Scénario dynamique								
Stockage forêt					50	62	60	5
Total avec effet substitution						111	100	65

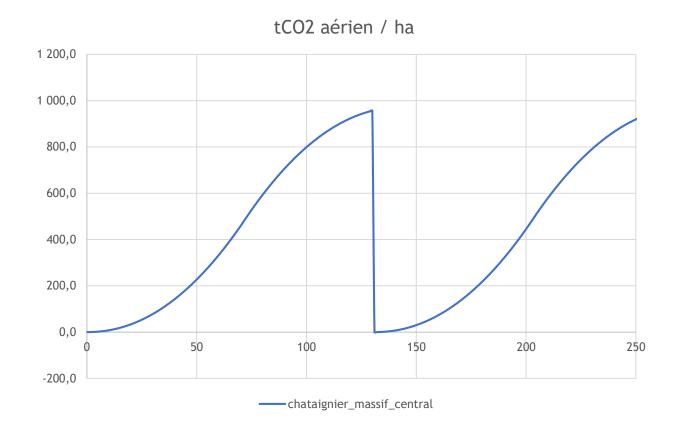


Impact d'une augmentation des prélèvements en forêt - modélisation

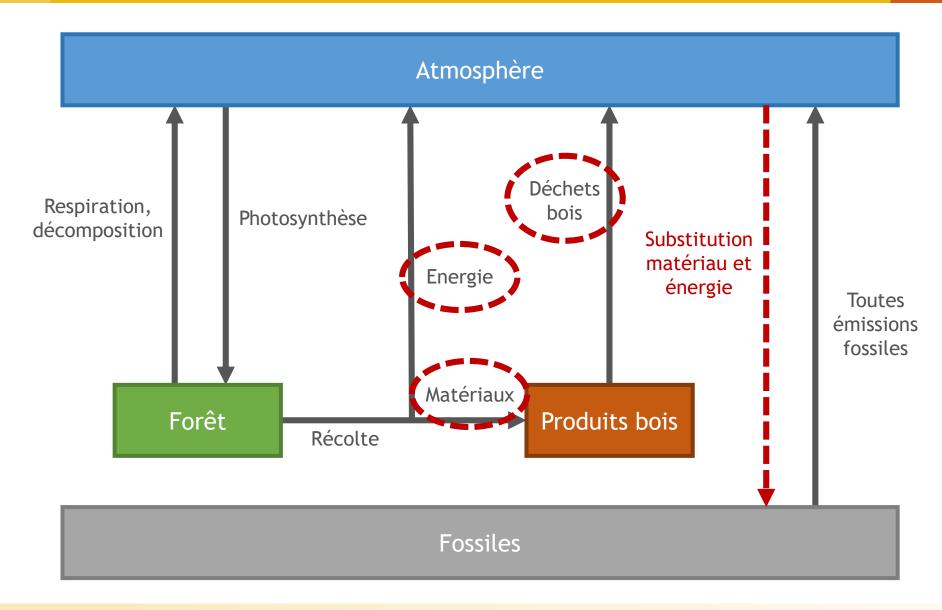








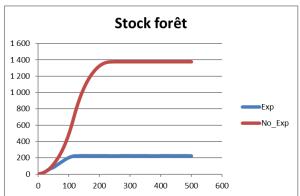


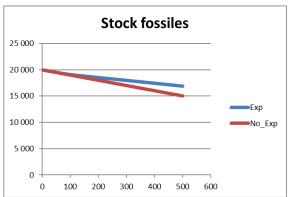


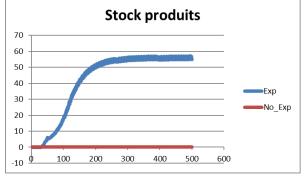


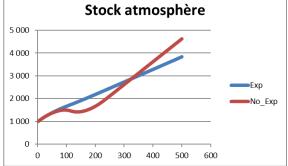
# Exemple de modélisation

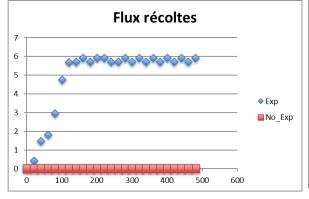
Situation initiale: forêt jeune

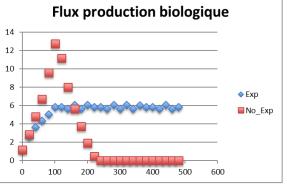






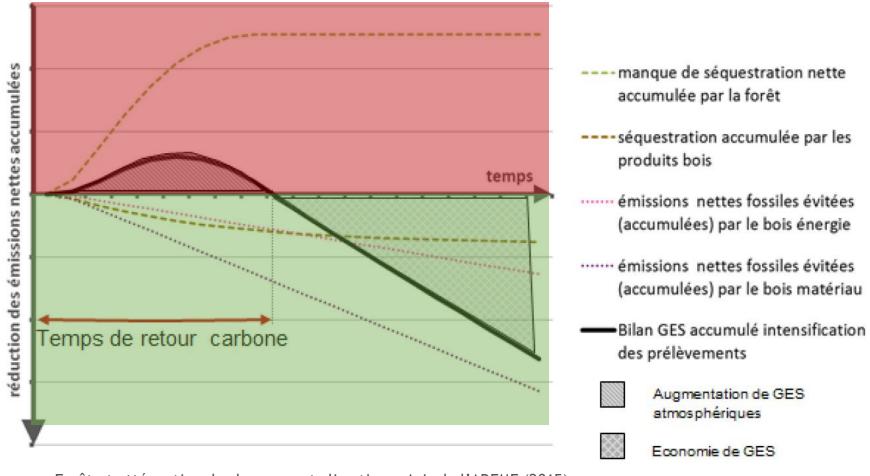








## Bilan GES d'une augmentation théorique des prélèvements en forêt par rapport à un scénario de référence « au fil de l'eau »



Source : Forêt et atténuation du changement climatique, Avis de l'ADEME (2015)



Comparaison de différentes stratégies de sylviculture - scénarios échelle France métropolitaine



#### Puits de carbone filière forêt-bois : IGN/INRA, 2017 [Rapport]

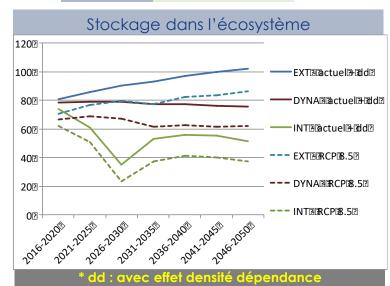
 « Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois dans l'atténuation au changement climatique ? », IGN / INRA, Juin 2017

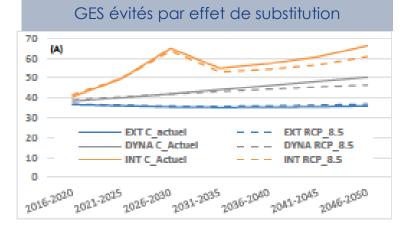
	Scénario - avec « effet densité dépendance »						
MtCO <sub>2</sub> /an en 2050	Situation actuelle	Extensific ation	dynamiques territoriales	Intensific ation			
Stockage dans les écosystèmes forestiers	80	102	75	50			
Stockage dans les produits bois	0	-1	3	7			
Évités par effet de substitution	40	34	48	64			
TOTAL	120	136	126	121			

Effet substitution énergie (BE):  $0.5 \text{ tCO}_2/\text{m}^3$ Effet substitution matériau (BO/BI):  $1.6 \text{ tCO}_2/\text{m}^3$ 

- Différences faibles en <u>bilan global</u> (puits + substitution) entre DYNA et INT, et assez modérée entre EXT et DYN
- Les différences s'atténuent lorsque les conditions deviennent plus sévères (climat, incendies, tempêtes, maladies)



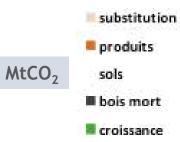


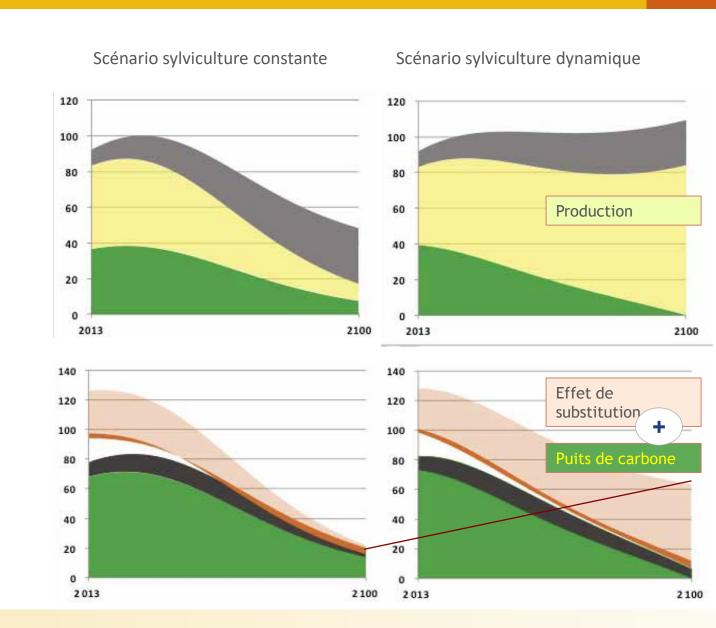




### Puits de carbone forestier : ONF/ECOFOR, 2015



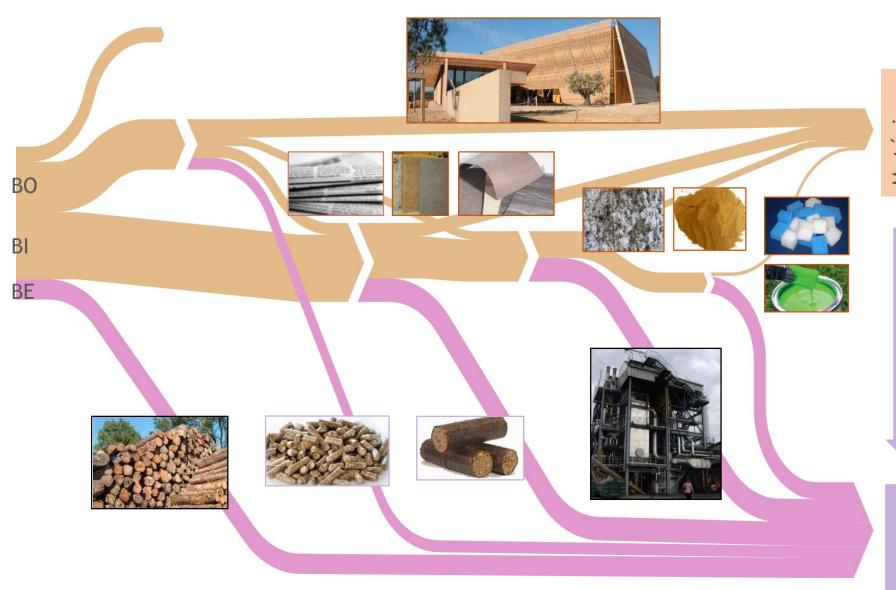






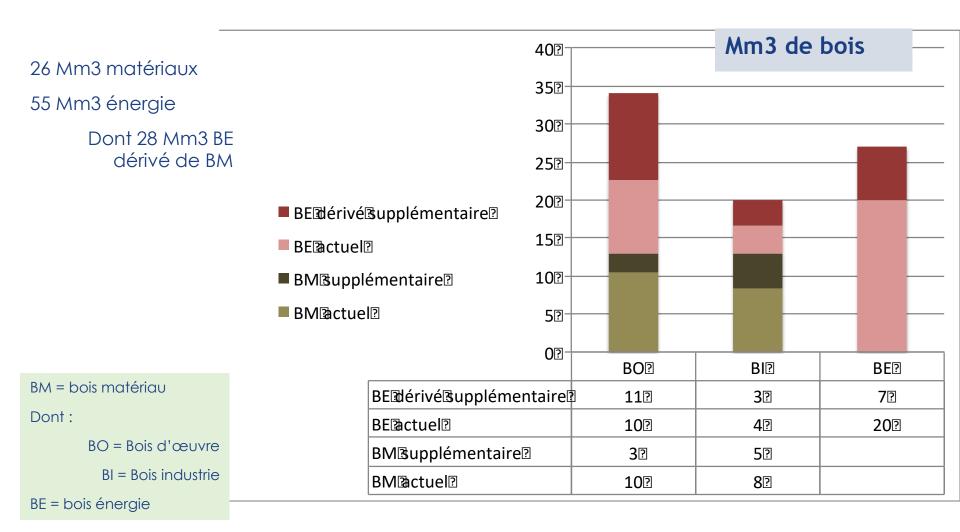
Les choix adoptés : Afterres 2050, SNBC







## Bilan biomasse selon le projet de SNBC



Nota : la SNBC ne compte pas le bois énergie dérivé du BI dans la ligne « PCS » du tableau)



Récolte (Mm3)	2010	2016	SNBC 2016	Afterres 2010	SNBC 2050	Afterres 2050
ВО	21	19		22		29
BI	14	11		12		17
BE-EAB	5	8		19		35
BE-hors EAB		15				
Total		53	48	53	83	81

