


2.5.	Prise en compte des flux induits par la photosynthèse dans les bilans GES et énergie	
------	--	---

Rédacteurs : Aurélie Tailleux (ARVALIS – Institut du végétal) et Armelle Gac (Idele)

L'agriculture joue un rôle particulier sur les enjeux changement climatique et énergie. En effet, elle contribue via le processus physiologique de photosynthèse :

- à capter du CO₂ : le carbone minéral de l'atmosphère (sous forme de CO₂) est fixé sous forme de carbone organique par la photosynthèse lors de la croissance de la biomasse végétale (le bilan entre photosynthèse et respiration qui, elle, libère du CO₂ est positif : plus de CO₂ absorbé que libéré).
- à convertir l'énergie solaire en énergie chimique.

Cette fiche a pour objectif d'illustrer comment ces caractéristiques peuvent être prises en compte dans les bilans gaz à effet de serre et énergie appliqués sur la base d'un cas d'étude en productions végétales.

Lien avec d'autres fiches :

- [1.1. Contexte](#)
- [2.4. Production et valorisation d'énergie dans les exploitations agricoles](#)
- [3.1.2. Prise en compte de la dynamique de variations de stock de carbone dans les bilans GES](#)
- [4.1.8. Emissions de GES induites par les variations de stocks de carbone dans les sols et la biomasse agricoles](#)

Contenu

1. Contribution de la photosynthèse à la production d'énergie et au stockage de carbone – un rôle bien identifié	2
2. Bilan GES et énergie appliqué sur un cas d'étude	3
2.1. Description du cas d'étude	3
2.2. Définition et quantification des flux	3

2.4.	Résultats Indicateurs changement climatique et de performances énergétiques.....	4
2.4.1.	Ordres de grandeur obtenus sur le cas d'étude	4
2.4.2.	Indicateurs Changement climatique et Consommation d'énergie primaire non renouvelable ...	5
2.4.3.	Indicateurs complémentaires	6
3.	Références.....	8

1. Contribution de la photosynthèse à la production d'énergie et au stockage de carbone – un rôle bien identifié

La valorisation de la photosynthèse est bien identifiée par les stratégies nationales et internationales de préservation de l'environnement, en particulier comme un levier pour :

- l'atténuation du changement climatique par le stockage de carbone dans la biomasse et dans le sol. L'initiative 4 pour 1000 vise en particulier à montrer que les sols agricoles peuvent jouer un rôle crucial pour la sécurité alimentaire et le changement climatique. Elle s'appuie sur le constat qu'« un taux de croissance annuel de 0,4% des stocks de carbone du sol, ou 4‰ par an, dans les premiers 30 à 40 cm de sol, réduirait de manière significative dans l'atmosphère la concentration de CO₂ liée aux activités humaines » (Figure 1).
- la préservation de ressources énergétiques fossiles (ex : objectif d'augmentation de 60% des surfaces de cultures intermédiaires à valorisation énergétique dans la Stratégie Nationale Bas Carbone).

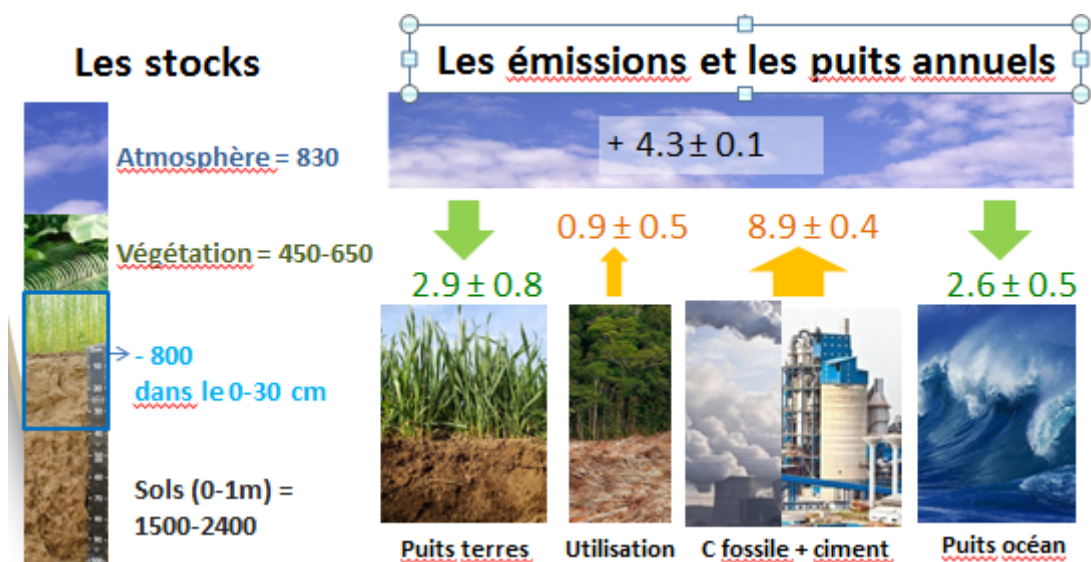


Figure 1 : Stock de carbone et flux de GES, en Gt C, moyennes pour 2014-2013 (Le Quééré et al., 2014) (Rq : à titre de comparaison, les biomasses animale, bactérienne et fongique constituent respectivement des stocks de 2, 70 et 12 Gt C (Bar-On et al, 2018))

Cette contribution peut être mise en avant dans des bilans GES et énergie au travers :

- des indicateurs Changement climatique et Consommation d'énergie primaire ;
- des indicateurs complémentaires.

2. Bilan GES et énergie appliqué sur un cas d'étude

Ce cas d'étude a pour objectif d'illustrer les flux pris en compte dans les bilans GES et énergie et les indicateurs potentiellement mobilisables en compléments des indicateurs Changement climatique et Consommation d'énergie primaire non renouvelable.

2.1. Description du cas d'étude

Tableau 1 : Description du cas d'étude pour la quantification des différents flux GES et énergie, cas d'étude issu de Tailleur et al, 2019

Rotation Maïs fourrage / Blé tendre en Loire Atlantique		
Région géographique	Loire Atlantique, La Jaillière	
Région climatique	T° moy annuelle = 12°C ; Précipitations/ETP = 1.04	
Sol	Luvisol → sol argileux très actif, stock de carbone initial : 52 t C/ha	
Scénario	Usage précédent	Usage actuel
Caractéristiques itk	Labour tous les ans Pas de couvert intermédiaire Pas d'apport organique Paille de blé tendre exportée	Non labour Couverts intermédiaires avant maïs (1 / 2 ans) Apports de fumier ou lisier bovin sur maïs (1 / 2 ans) Paille de blé tendre exportée
Rendement	Blé : 73.9 q/ha ; maïs : 12.4 t MS/ha	Blé : 76.1 q/ha ; maïs : 13.2 t MS/ha
Stock de carbone	Stock à l'équilibre pour l'usage étudié : 52 t C/ha	Stock à l'équilibre pour l'usage étudié : 57 t C/ha

2.2. Définition et quantification des flux

Les données collectées et méthodes utilisées sont les suivantes :

Tableau 2 : Définition et méthodes pour la quantification des différents flux GES et énergie

Flux	Définition	Méthode
Energie captée dans les produits récoltés et la biomasse restituée	Quantité d'énergie brute contenue dans les produits récoltés, les résidus aériens et souterrains	Estimation à partir du coefficient du modèle AMG pour estimer les quantités de biomasse et des teneurs en énergie brute provenant de Feedipedia.
Captation de carbone dans les produits récoltés et les résidus	Quantité de carbone stockée dans les produits récoltés, les résidus aériens et souterrains	Utilisation des coefficients du modèle AMG
Emissions GES autres que flux CO ₂ du sol et consommation d'énergie primaire	Emissions et consommation : - induites indirectement par la production des intrants et des équipements	Agribalyse v1.3

	- directement par la combustion de carburant, la fertilisation et la consommation de carburant	
Stockage de carbone du sol sur 20 ans	Evolution du stock de carbone sur 20 ans suite à une évolution du système vers des pratiques permettant de restituer plus de carbone	Modélisation AMG - ARVALIS

2.3. Résultats Indicateurs changement climatique et de performances énergétiques

2.3.1. Ordres de grandeur obtenus sur le cas d'étude

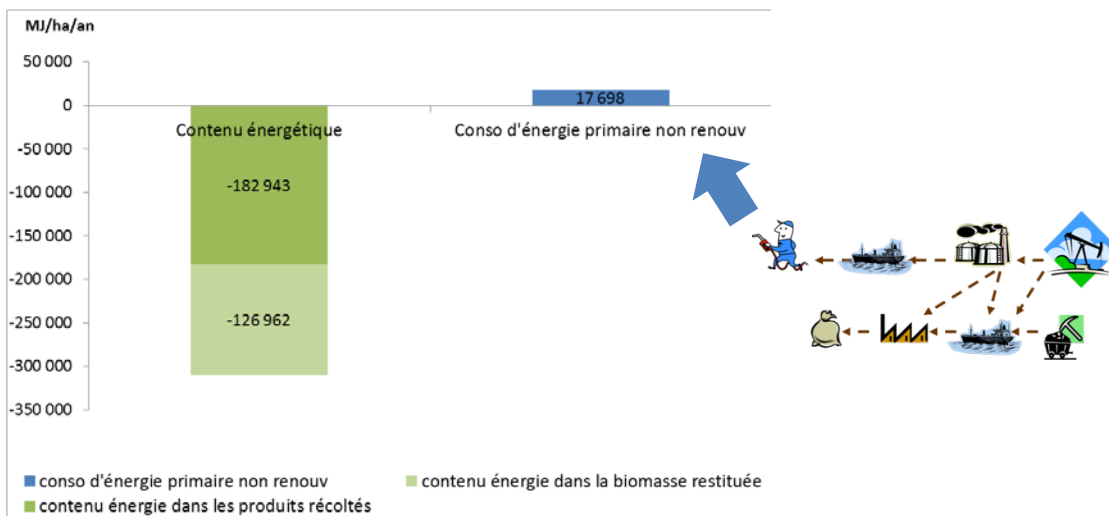


Figure 2 : Comparaison du contenu énergétique de la biomasse produite et de la quantité d'énergie primaire non renouvelable consommée sur le cas d'étude, MJ/ha/an

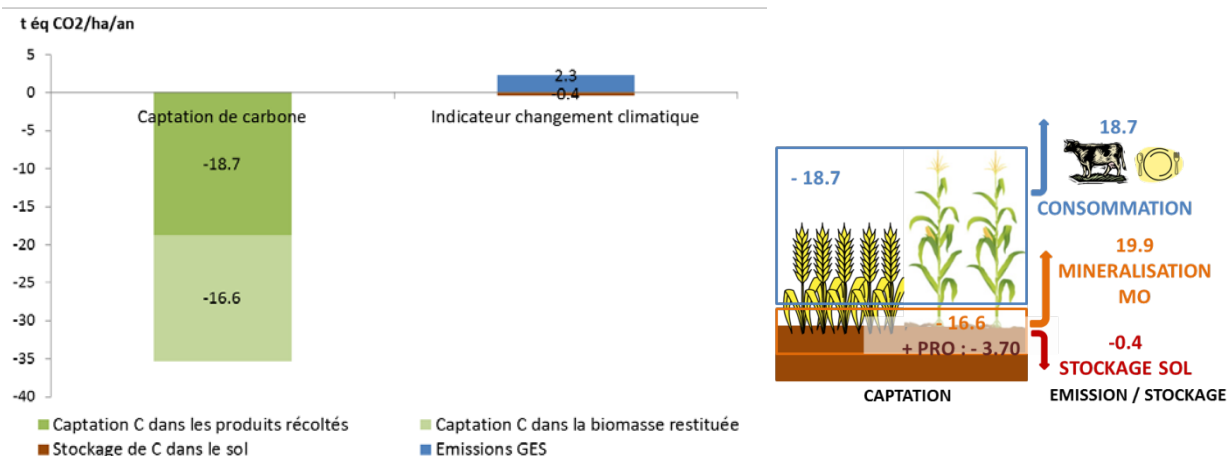


Figure 4 : Comparaison flux de CO₂ capté dans la biomasse (résultant du bilan entre carbone capté par la photosynthèse et émis par la respiration) et flux de GES pris en compte dans l'indicateur changement climatique, t éq CO₂/ha/an, résultats obtenus sur le cas d'étude

Figure 4 : devenir du carbone capté dans la biomasse, en t éq CO₂/ha/an, résultat obtenu sur le cas d'étude

Les quantités de carbone captées et d'énergie produite par la parcelle sont très importantes au regard des consommations d'énergie primaire et des émissions de GES nécessaires induites par les différentes

interventions culturales, avec un ratio de près de 18 entre la production d'énergie totale et la consommation d'énergie primaire et de 15 entre la quantité de CO₂ captée et les émissions de GES.

La quantité de carbone stockée sur 20 ans représente quant à elle près de 16% des quantités d'émissions GES émises. Sur les 7 t C restitué/ha/an supplémentaire avec l'usage actuel par comparaison à l'usage précédent, 5% ont été stockés.

2.3.2. Indicateurs Changement climatique et Consommation d'énergie primaire non renouvelable

L'**indicateur de consommation d'énergie non renouvelable** a pour objectif d'évaluer le niveau de dépendance vis-à-vis de ressources énergétiques non renouvelables. Il n'est pas pertinent de réaliser un bilan net en soustrayant de la production d'énergie cette consommation d'énergie dans la mesure où le type de ressources énergétiques impliqué n'est pas le même (renouvelable pour la production, non renouvelable pour la consommation). Le contenu énergétique de la biomasse produite correspond par ailleurs à une quantité d'énergie brute valorisable tandis que les consommations d'énergie primaire tiennent compte du rendement des processus d'utilisation de l'énergie. Enfin l'énergie captée dans la biomasse n'a pas pour vocation de se substituer à l'énergie non renouvelable consommée pour sa production.

L'**indicateur Changement climatique** a pour objectif d'évaluer l'impact des activités sur le changement climatique. L'horizon de temps le plus fréquemment utilisé pour cette évaluation est de 100 ans. Dans ce cadre, selon la norme 14067, si les émissions GES liées aux phases d'utilisation et de fin de vie ont lieu dans les 10 années suivant la mise en utilisation du produit, celles-ci doivent aussi être incluses dans le calcul et considérées comme ayant lieu au début de la période d'analyse.

Ainsi la captation de carbone dans les produits récoltés et dans la biomasse non permanente n'y est pas comptabilisée. En revanche, le stockage carbone dans le sol, alimenté par le carbone capté par la photosynthèse, est considéré comme durable et y est intégré.

Les guidelines LEAP sur le carbone du sol (FAO, 2019) s'intéressent à la prise en compte du carbone du sol dans les ACV. Il est constaté qu'actuellement, les principaux standards et guides méthodologiques sur l'ACV reconnaissent l'importance de tenir compte du Carbone organique du sol, mais sans avoir de position claire sur le fait de l'intégrer ou non dans les bilans. La dernière version du PAS 2050 (2011) reconnaît que, compte tenu des avancées des connaissances scientifiques sur les phénomènes et l'effet des pratiques, des exigences supplémentaires ou une révision du standard sont prévues, pour faciliter leur prise en compte dans les comptabilisations. Au niveau européen, dans les règles du PEF (Product Environmental Footprint, EC, 2013), il est suggéré de calculer la séquestration de carbone de manière spécifique et de le mentionner de manière séparée du total de l'empreinte carbone ; ce qui est conforme à la norme 14067 (ISO, 2018) sur l'empreinte carbone des produits. La différenciation de ces flux du reste de l'inventaire s'explique en particulier du fait de leur réversibilité.

Par ailleurs, le GHG Protocol (WRI & WBCSD, 2013) autorise de comptabiliser les évolutions de stockage de carbone dans le sol, à condition qu'elles relèvent « d'interventions », donc de pratiques volontaires.

2.3.3. Indicateurs complémentaires

Le Tableau 3 présente quelques exemples d'indicateurs complémentaires, calculés sur la base du cas d'étude. L'intérêt et limite de ces indicateurs sont détaillés dans les paragraphes qui suivent.

Tableau 3 : Exemple d'indicateurs complémentaires obtenus sur le cas d'étude

	Enjeu préservation des ressources énergétiques	Enjeu Changement climatique
Indicateur d'impact	Indicateur de consommation d'énergie primaire : 17 700 MJ/ha	Indicateur d'impact sur le changement climatique Emission hors flux du sol : 2.3 t éq CO ₂ /ha Emission de CO ₂ du sol : - 0.4 t éq CO ₂ /ha
Indicateur de performance	Indicateurs caractérisant la production : - contenu d'énergie dans la biomasse : 310 000 MJ, - captation de carbone dans la biomasse : 35.3 t éq CO ₂ /ha	
	Ex Indicateur d'efficacité : 7.46 E-3 kg éq CO ₂ /MJ produit	Ex Indicateur d'efficacité : 17.5 MJ produit / MJ énergie primaire non renouvelable
Quantité de carbone restituée au sol		Quantité totale restituée au sol : 39.4 t éq CO ₂ /ha Quantité restituée au sol après minéralisation rapide : 20.3 t éq CO ₂ /ha

- Indicateurs de performance

Si la quantité de carbone captée et celle d'énergie produite ne sont pas comptabilisées dans les deux indicateurs agrégés présentés ci-dessus, leur prise en compte dans les bilans peut présenter un intérêt afin de tenir compte du niveau de performance du système étudié :

- Directement à travers ces indicateurs de production ou de captation (ex : quantité de carbone captée ou d'énergie produite à l'hectare ou à l'échelle de l'exploitation)
- Ou à travers d'indicateurs ramenant le bilan GES et les consommations d'énergie primaire non renouvelable à ces quantités captées et produites (ex : émissions de GES ramenées à la quantité d'énergie contenue dans la récolte).

D'autres unités (ex : t MS ou kg protéines produites) peuvent également être identifiées pour quantifier la production en fonction du mode de valorisation des produits (voir Fiche 2.1.).

Prise en compte de la biomasse restituée ou uniquement des produits récoltés

En termes de production d'énergie, selon les objectifs de l'étude, il peut être pertinent :

- de ne tenir compte uniquement des produits récoltés, issus de la culture principale et des cultures en dérobée (ex : culture intermédiaire à valorisation énergétique), si on souhaite se focaliser sur des vocations alimentaires ou énergétiques,
- d'intégrer également la biomasse restituée qui contribuera à alimenter le fonctionnement du sol. Pour juger de l'importance de cette restitution d'énergie, il faut toutefois pouvoir disposer de références afin de les comparer et ainsi mettre en évidence l'intérêt d'un système ou d'une occupation des terres par comparaison à une référence.

En termes de carbone restitué au sol pour la biomasse, des modèles peuvent permettre d'estimer le stockage potentiel de carbone dans le sol (voir Fiche 4.1.8.). A défaut de donnée permettant d'estimer

ce stockage, il est possible de comparer des systèmes entre eux sur la base de la quantité de carbone restitué au sol, puisque cette quantité détermine le stock de carbone à l'équilibre dans un contexte pédoclimatique donné. Il est en revanche plus pertinent de déduire de la quantité de carbone totale la partie du carbone libérée sous forme de CO₂ par minéralisation rapide (dite primaire) afin de tenir compte uniquement des quantités participant aux processus d'humification, si on veut mieux tenir compte du potentiel de stockage du carbone restitué. En effet, le coefficient d'humification varie en fonction des cultures et des formes exogènes de matière organique.

- **Indicateurs sur la part d'énergie renouvelable par rapport à l'énergie totale consommée**

Cet indicateur ne peut se substituer à l'indicateur Consommation d'énergie primaire non renouvelable car l'information délivrée n'est pas la même. Il s'agit de quantifier la part d'énergie renouvelable consommée et de la ramener à l'énergie totale (renouvelable / non renouvelable) consommée.

- **Part du carbone d'origine biosourcée**

Cet indicateur peut être utilisé sur des produits transformés (exemple de label utilisant ce type d'indicateurs, Figure 5). Son mode de calcul est encadré par des normes (CEN, 2014). Il s'agit d'indiquer dans le contenu carbone d'un produit la part provenant de produits issus de l'agriculture et de la forêt. Il ne délivre pas d'information sur l'impact environnemental du produit mais sur l'effort de valorisation de ressources primaires dans la composition du produit. Si ces produits ont une longue durée de vie (cf 2.4.2), cette captation de carbone peut toutefois être prise en compte dans l'indicateur changement climatique.



Figure 5 : Labels permettant de repérer rapidement les produits biosourcés, ADEME, 2019

Produit biosourcé » de Karibati, « Bâtiment biosourcé », « Bio-based content » de Dutch Standardization Network (NEN), « OK biobased » de TüvAustria ou « Biobased – XX% » de DIN CERTCO

3. Références

ADEME, 2019. Des produits biosourcés durables pour les acheteurs publics et privés. Clés pour agir. 46 pages.

ADEME. Aurélie Tailleur, Anthony Benoist, Cécile Bessou, Armelle Gac, Caroline Godard, Julie Lebas de Lacour, 2019, Application de différentes méthodes pour la prise en compte de l'évolution du stock de carbone organique en ACV sur 5 filières agricoles Projet SOCLE, soil organic carbon changes in LCA, which evaluations to improve environmental assessments? 111p.

AFNOR, 2018. ISO 14067:2018 : Gaz à effet de serre -- Empreinte carbone des produits -- Exigences et lignes directrices pour la quantification. Ed AFNOR, La Plaine Saint-Denis, France.

Bar-On Y. M., Philips R., Milo R. The biomass distribution on Earth. PNAS June 19, 2018 115 (25) 6506-6511

CEN, 2014. FD CEN/TR 16721, Produits biosourcés - Vue d'ensemble des méthodes pour déterminer la teneur biosourcée.

Le Quéré, C., Moriarty, R., Andrew, R. M., Peters, G. P., Ciais, P., Friedlingstein, P., Jones, S. D., Sitch, S., Tans, P., Arneeth, A., Boden, T. A., Bopp, L., Bozec, Y., Canadell, J. G., Chini, L. P., Chevallier, F., Cosca, C. E., Harris, I., Hoppema, M., Houghton, R. A., House, J. I., Jain, A. K., Johannessen, T., Kato, E., Keeling, R. F., Kitidis, V., Klein Goldewijk, K., Koven, C., Landa, C. S., Landschützer, P., Lenton, A., Lima, I. D., Marland, G., Mathis, J. T., Metzl, N., Nojiri, Y., Olsen, A., Ono, T., Peng, S., Peters, W., Pfeil, B., Poulter, B., Raupach, M. R., Regnier, P., Rödenbeck, C., Saito, S., Salisbury, J. E., Schuster, U., Schwinger, J., Séférian, R., Segschneider, J., Steinhoff, T., Stocker, B. D., Sutton, A. J., Takahashi, T., Tilbrook, B., van der Werf, G. R., Viovy, N., Wang, Y.-P., Wanninkhof, R., Wiltshire, A., and Zeng, N.: Global carbon budget 2014, Earth Syst. Sci. Data, 7, 47-85, <https://doi.org/10.5194/essd-7-47-2015>, 2015.

ISO. ISO 14067:2018 Greenhouse gases - Carbon footprint of products – Requirements and Guidelines for quantification. International Standardization Organization for Standardization (ISO). Geneva.

PAS. 2011. PAS 2050: 2011. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. British Standards (BSI). 38 pp

Commission Européenne. 2013. Product Environmental Footprint (PEF) Guide. Annex II to the Recommendations of the Commission on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organizations. European Commission Joint Research Centre. Luxemburg, Publications Office of the European Union.

FAO. 2019. Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment (Version 1). Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. Rome, FAO. 170 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

WRI & WBCSD, 2013. GHG-Protocol, Technical Guidance for calculation Scope 3 Emissions (version 1.0). 182 p. Accès le 15/10/2019: <https://ghgprotocol.org/scope-3-technical-calculation-guidance>