



Ctifl



Les services rendus par les cultures fruitières

Chapitre 4.4

Le service de régulation du climat

Extrait du rapport rédigé par Marie-Charlotte Bopp

Septembre 2019

Coordination :

- Dominique Grasselly (CTIFL)
- Françoise Lescourret (INRA)
- Sylvie Colleu (INRA)

Action portée par le GIS Fruits, sur ressources CTIFL et INRA

1.1 Le service de régulation du climat

L'émission de gaz à effet de serre (GES) influe la température à la surface du globe. Depuis le début de l'ère industrielle, elle a augmenté de 0,85+/-0,2°C (Therond et al., 2017). Cette augmentation est attribuable aux émissions d'origine anthropiques, notamment liées à la combustion d'énergies fossiles. A l'échelle de la planète, le secteur de l'agriculture représente 24% des émissions de GES et 19% à l'échelle française (Therond et al., 2017). Trois GES principaux sont émis en agriculture :

- Le dioxyde de carbone (CO₂)
- Le protoxyde d'azote (N₂O)
- Le méthane (CH₄)

L'arboriculture émet principalement du CO₂ et du N₂O liée aux pratiques culturales. Dans la suite de ce chapitre, nous évoquerons la séquestration de carbone par les vergers ainsi que les émissions de gaz à effet de serre (CO₂ et N₂O) par les vergers émis par les pratiques culturales. Cependant, les vergers représentent également un puit à carbone, de par les processus de stockage de carbone dans les organes pérennes et dans le sol.

Une étude chinoise a par exemple montré que la séquestration nette de carbone par les vergers chinois représentaient 14 à 32 millions de tonnes de carbone de 1990 à 2010 (Wu et al., 2012). Les vergers représentent 0,9% de la surface totale de la Chine (8,67 millions d'hectares sur une surface totale de 959,7 millions d'hectares) et représentent 4,5% de la séquestration de carbone de l'ensemble des écosystèmes terrestres en Chine (Wu et al., 2012).

1.1.1 Les processus de stockage et de déstockage de carbone dans un verger

La Figure 51 présente les différents processus qui permettent le stockage et le déstockage du carbone dans le sol et dans les arbres. Le processus majeur de stockage de CO₂ est la photosynthèse. A partir du CO₂ capté dans l'atmosphère, les arbres constituent un stock de carbone de réserve dans la biomasse aérienne (tronc, branches...) et souterraine (racines). Dans les vergers, les arbres fruitiers, l'enherbement et les haies représentent donc une certaine quantité de carbone stocké temporairement sur la durée de vie du verger. Les compartiments « temporaires » de carbone que constituent les feuilles, les fruits, les brindilles, retournent rapidement le carbone au sol et forme la litière. Elle s'incorpore petit à petit dans le sol, est fragmentée par les gros décomposeurs (vers de terre, les cloportes ou les mille-pattes) mais également par des petits décomposeurs (acariens et les collemboles) et constitue une fraction de la matière organique du sol : la matière organique libre. Une partie de cette matière organique libre est conservée sous une forme stable associée aux particules du sol : c'est l'humus. **L'humus reste en moyenne 27 ans dans le sol avant d'être minéralisé (processus de minéralisation secondaire)** (Stockmann et al., 2013). L'autre part du carbone fragmenté est minéralisée par les microorganismes (**minéralisation primaire**). **Lors de cette minéralisation, en moyenne, 60% du carbone est transformé en CO₂ et 40% est assimilé par les microorganismes du sol** (Therond et al., 2017). Le flux de CO₂ libéré par la minéralisation de la matière organique du sol est appelé « la respiration du sol ». **Il s'agit du principal flux émetteur de CO₂ des vergers : en moyenne 6,8 t/ha/an sont émis** (Tableau 58). Les racines peuvent stocker du carbone dans le sol via le processus de rhizodéposition. Ce processus de sécrétion de composés représente de 5 à 15% du carbone fixé mais peut atteindre 40% dans des parcelles de blé (Swinnen et al., 1994).

Tableau 58 Valeurs de respiration du sol mesuré en verger, en champs et en forêt issues de la bibliographie.

Espèce fruitière	Respiration du sol (t/ha/an)	Références
Citronniers	4,2-5,9 (2)	(Scandellari et al., 2016)
Clémentiniers	3	(Iglesias et al., 2013)
Oliviers	4,27	(Almagro et al., 2010)
	8,95	(Scandellari et al., 2016)
Pêchers	3,11	(Montanaro et al., 2016)
	3,35	(Montanaro et al., 2016)
Pommiers	2,28	(Scandellari et al., 2016)
	6,14	(Zanotelli et al., 2013)
	12,1-15,9	(Wu et al., 2012)
Moyenne +/- écart type en verger	6,8 +/- 4,2	
Autre référence : champs abandonnés	6,48	(Almagro et al., 2010)
Autre référence : forêts	7,66	(Almagro et al., 2010)

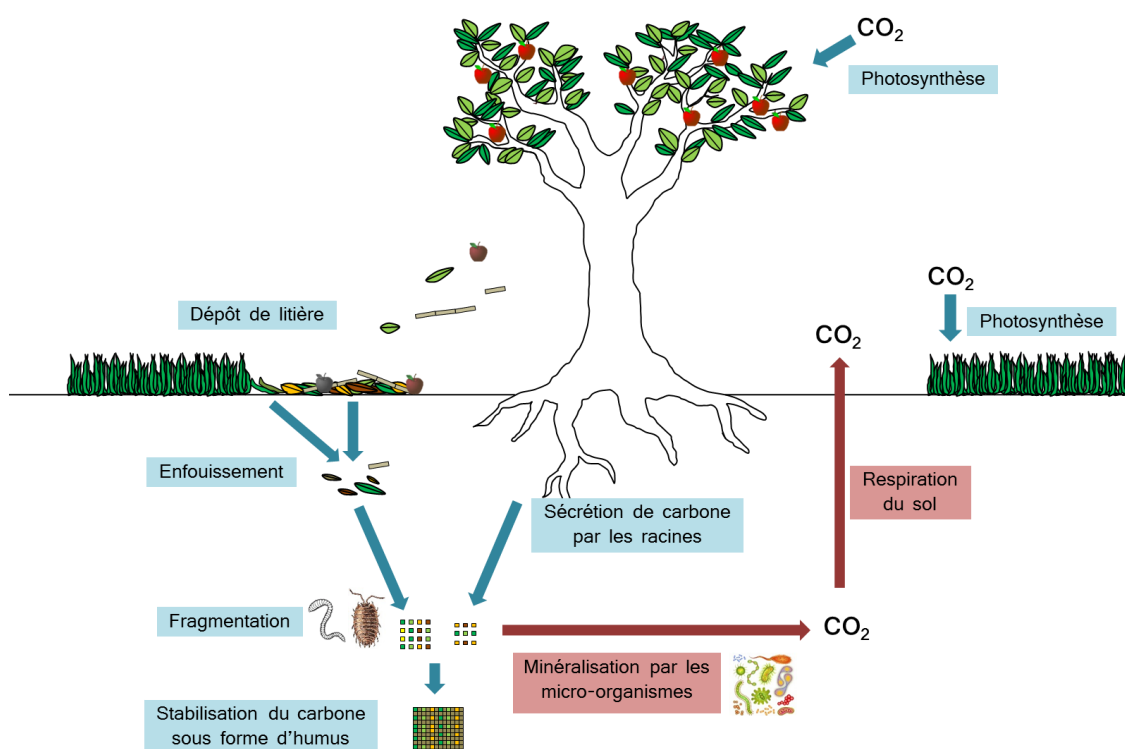


Figure 1 Les flux et processus de transformation de carbone au sein du verger

Dans la suite de ce rapport, **nous ne considérerons pas le stockage de carbone dans les feuilles et les fruits**. En effet, le carbone stocké dans les feuilles est restitué au sol et se décompose dans le sol en matière organique. Le carbone des fruits est enlevé du système via la récolte ou se retrouve dans la matière organique du sol, si le fruit n'a pas été ramassé (pratiques d'éclaircissage par exemple).

Les vergers se distinguent des cultures annuelles par différentes caractéristiques qui contribuent à un stockage de carbone plus important et plus long (**Encadré 2**). Les vergers ont des durées de vie de plusieurs dizaines d'années et peuvent stocker du carbone sur cette durée dans leurs organes pérennes (branches, tronc, racines) (Baldi et al., 2018). Les autres atouts des vergers sont reliés à leurs pratiques culturales. Le travail du sol est réduit, préservant la matière organique du sol de la minéralisation (le travail du sol a généralement lieu en amont de la plantation d'un verger). Les inter-rangs sont généralement enherbés, limitant l'érosion et contribuant à l'apport de matière organique au sol par les tontes régulières (Baldi et al., 2018).

Encadré 1 Les atouts des vergers pour séquestrer du carbone par rapport à des cultures annuelles (Baldi et al., 2018)

- **Cycle long : accumulation du carbone dans les organes pérennes (tronc, branches et racines)**
- **Travail du sol réduit**
- **Enherbement des inter-rangs**

La régulation du climat global bénéficie à l'ensemble de la société, incluant les agriculteurs. Les avantages d'un climat stable sont multiples : pas de régression de glaciers, pas d'élévation du niveau de la mer, pas d'expansion de zones désertiques, d'extinction d'espèces etc. (Therond et al., 2017). Notons cependant qu'une modification du climat peut aussi être perçue plus localement comme un avantage, par exemple pour le développement de nouvelles cultures dans les pays de l'hémisphère nord.

Stocker du carbone dans les sols et dans la biomasse fournit d'autres services écosystémiques que la régulation climatique (Chenu et al., 2014; Pellerin et al., 2019). Le Tableau 59 présente les services reliés à une augmentation du stockage de carbone dans le sol.

Augmenter le stock de carbone dans le sol contribue à :

- L'augmentation de la capacité du sol à retenir l'eau ;
- L'amélioration de la structure du sol et la limitation de l'érosion ;
- La filtration des polluants (pesticides, éléments traces métalliques) ;
- La disponibilité des nutriments via la minéralisation de la matière organique.

Augmenter le stock de carbone dans la biomasse ligneuse peut contribuer à :

- La promotion de la biodiversité (haie, enherbement) ;
- La filtration des polluants avec la présence d'un enherbement.

Tableau 59 Les autres services et impacts négatifs reliés à une augmentation du stockage de carbone dans les sols (pas spécifique aux sols des vergers). Source : d'après Pellerin et al. (2019)

Processus	Service/Impact	Type de sol concerné
Propriétés et fertilité chimiques		
Réserve de N, P, S libérés par minéralisation	Fourniture de nutriments aux plantes	Tous sols
	Détérioration de la qualité de l'eau (nitrate en solution)	Tous sols

Augmentation de la capacité d'échange cationique	Fourniture de nutriments aux plantes (par rétention de K, Ca, Mg)	Sol de texture sableuse
Augmentation des charges de surface, de la capacité d'adsorption et de la capacité de complexation	Amélioration de la qualité de l'eau (par rétention des éléments traces métalliques et des contaminants organiques)	Sol de texture sableuse
Propriétés et fertilité physiques		
Agrégation des particules et augmentation de la stabilité de la structure	Diminution de l'érosion	Sols limoneux battants
Augmentation de la porosité grossière et fine	Augmentation de la capacité du sol à fournir de l'eau (augmentation de la réserve utile)	Tous sols
	Diminution de l'érosion (augmentation de l'infiltration de l'eau)	Sols limoneux battants, sols argileux
Propriétés et fertilité biologiques		
Ressources trophiques pour les microorganismes et la faune du sol : augmentation de l'abondance et de la diversité des microorganismes	Augmentation de la régulation des bioagresseurs	Tous sols
	Amélioration de la qualité de l'eau (augmentation de la biodégradation et de la minéralisation de contaminants organiques)	Tous sols
	Régulation du climat (Augmentation des émissions de N ₂ O)	Sols hydromorphes ¹

1.1.2 Les facteurs déterminant le stockage et le déstockage de CO₂ en verger

Différents facteurs déterminent le niveau de stockage et d'émission de CO₂ (Therond et al., 2017).

- **Facteurs qui déterminent le niveau de stockage de carbone dans le sol**
 - **Nature, densité et durée de vie des vergers et de l'enherbement**

Ils conditionnent la quantité de carbone apportée au sol via les racines et les résidus, ainsi que la biodégradabilité du carbone

- **Faune du sol et biomasse microbienne**

L'abondance totale et la diversité de la faune et des micro-organismes peuvent impacter la quantité de carbone incorporé au sol ainsi que sa minéralisation.

¹ Sol montrant des marques caractéristiques d'une saturation en eau régulière. Généralement, un sol à dominante argileuse a plus de chances d'être hydromorphe. Dans un sol hydromorphe la vie microbienne est noyée.

- **Constituants minéraux du sol (argiles, allophanes, carbonates) et la structure du sol**

Ces facteurs contrôlent les processus de stabilisation du carbone organique dans le sol : une faible disponibilité en azote peut ralentir la minéralisation du carbone car la biomasse microbienne nécessite des matières azotées pour réaliser ce processus.

- **Température et teneur en eau du sol**

Ces deux facteurs contrôlent directement l'activité des organismes du sol et donc indirectement la minéralisation du carbone. Un sol aux températures et teneurs en eau élevées aura une forte minéralisation (jusqu'à atteindre des teneurs en eau qui provoquent l'anoxie des sols et qui ralentissent le processus de minéralisation). En France, les zones contenant des forts stocks de carbone sont situées en altitude (Alpes, Pyrénées, Massif central, Vosges, Jura), avec des températures de sol plutôt froides et des pluviométries élevées (Therond et al., 2017).

- **Stabilisation des sols et contrôle de l'érosion**

Ces deux facteurs contribuent à la conservation des stocks de carbone dans le sol, notamment des couches superficielles qui sont fréquemment les plus riches en matière organique. Le contrôle de l'érosion est favorisé en verger par la présence du couvert végétal (Cf le chapitre 4.5 Le service de contrôle de l'érosion »).

- **Facteurs qui contribuent au stockage de carbone dans la biomasse de l'arbre**

Les **facteurs qui contribuent au stockage de carbone dans la biomasse** sont principalement reliés à **l'importance et à la nature de la végétation ligneuse présente dans la parcelle** - espèce fruitière, variété fruitière, porte-greffe, haies de différentes natures - et à la **durée de vie du verger**.

Les changements d'usage des sols et finalement de la nature des écosystèmes agricoles influencent le stockage global du carbone.

1.1.3 Les différentes méthodes et indicateurs d'estimation de la séquestration et de l'émission de gaz à effet de serre dans les vergers

- **Méthodes d'estimation de la séquestration et de l'émission de gaz à effet de serre en verger**

Différentes méthodes existent. Elles se basent sur les mesures de stock de carbone (stock de carbone dans les sols et dans la biomasse) ou des flux (flux de GES). Deux grandes catégories d'approche se distinguent (Therond et al., 2017):

- 1) Approche de type « source-puits ».

Elle quantifie les flux de GES pour un périmètre délimité (parcelle, territoire, pays...). L'avantage de cette approche réside dans le fait qu'elle quantifie précisément les échanges de GES. L'inconvénient principal est qu'elle ne considère pas les émissions et séquestration des étapes intervenant en amont ou en aval des vergers en eux même. Pourtant ces émissions et séquestrations peuvent constituer d'importantes quantités de CO₂. Cette approche est illustrée par un exemple en partie (4.4.4.1).

- 2) Approche de type « analyse de cycle de vie » (ACV)

Elle évalue les impacts environnementaux d'un produit, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à sa fin de vie. L'ACV évalue l'ensemble des émissions mais n'évalue pas les flux de stockage. C'est une approche globale qui considère les émissions en amont provenant notamment des intrants

utilisés (engrais, produits phytosanitaires) et les émissions liées au devenir du produit (transport, transformation). Cette méthode est détaillée dans le paragraphe 4.4.5.2.

- **Indicateurs du service de régulation du climat**

Les indicateurs du service de régulation peuvent être des stocks, des variations annuelles de carbone et des flux d'émissions. Quatre indicateurs peuvent être retenus :

- 1) **Stock de carbone organique actuel dans le sol (t/ha)**
- 2) **Stockage annuel de carbone organique dans le sol (t/ha/an)**
- 3) **Stock de carbone dans la biomasse des formations ligneuses (arbres fruitiers, haies)**
- 4) **Emission de gaz à effet de serre (CO₂ et N₂O) du système verger (t/ha/an)**

L'évaluation de ces indicateurs peut se faire de diverses manières : la mesure directe (pour le stock de carbone organique dans le sol ou le stock de carbone dans la biomasse des formations ligneuses) ou la prédiction à partir de modèle comme STICS (pour le stockage annuel de carbone organique dans le sol). Les émissions de carbone sont calculées grâce aux méthodes d'ACV.

- **Indicateurs d'impacts négatifs sur le climat**

Les indicateurs sont principalement des émissions de gaz à effet de serre en masse d'équivalent CO₂ ou en masse de carbone (= masse de CO₂ divisée par 272,2). Ces indicateurs d'émission sont généralement exprimés par masse de fruits produits ou ramenés à l'hectare.

1.1.4 Stockage de carbone par les vergers

1.1.4.1 Un exemple de bilan carbone pour un verger de pêcher d'après l'étude de Montanaro et al. (2016)

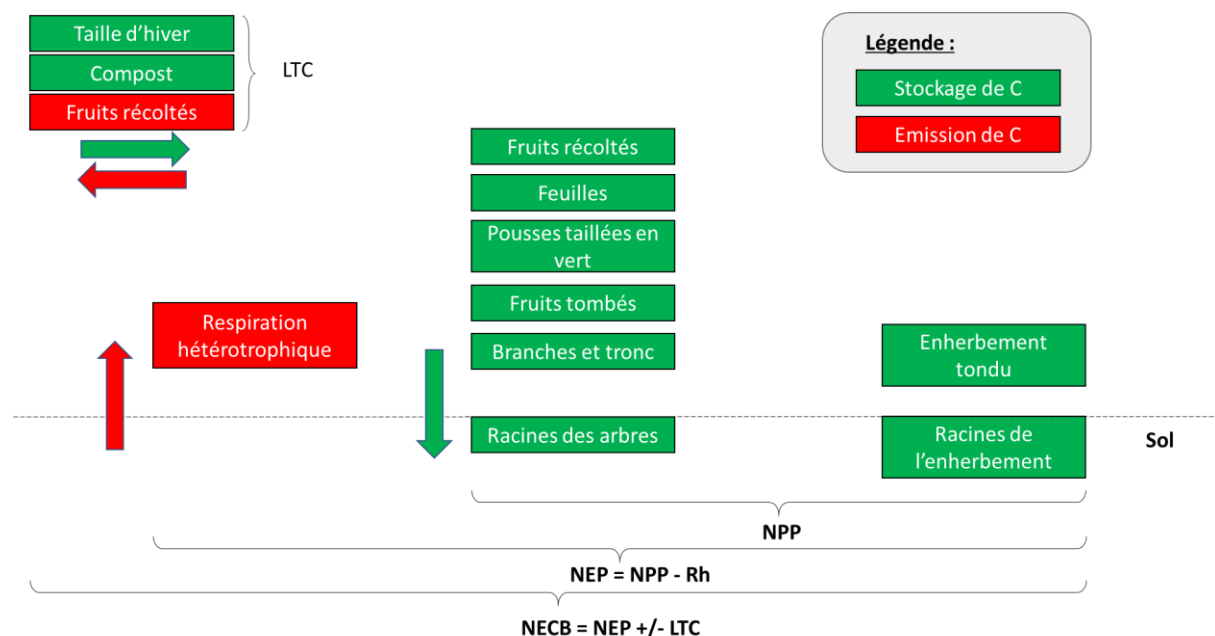


Figure 2 Bilan des flux de carbone dans un verger selon la méthode de Chapin et al. (2006). C = Carbone, NPP = Net Primary Production, Rh = Respiration hétérotrophique, NEP = Net Ecosystem Production, NECB = Net Ecosystem Carbon Balance.

La Figure 52 présente les différents flux de carbone au sein d'un verger et la méthode de bilan des flux selon Chapin et al. (2006). La méthode consiste à calculer dans un premier temps la production primaire nette (Net Primary Production ou NPP) qui est la somme du carbone produit chaque année par un arbre fruitier (fruits récoltés, feuilles, pousses de la taille en vert, fruits tombés, branches, le tronc et les racines des arbres) et par l'enherbement (biomasse tondu et racines). La production nette de l'écosystème (Net Ecosystem Production ou NEP) est égale à la production primaire nette (NPP) dont on soustrait la respiration hétérotrophique. La respiration hétérotrophique² est le flux principal émis naturellement par la dégradation de la matière organique du sol. Enfin, le bilan de carbone est approché par le calcul du Bilan carbone net de l'écosystème (Net Ecosystem Carbon Balance ou NECB). Le NECB est égal à la production nette de l'écosystème (NEP) à laquelle on soustrait les exportations (ex : récolte des fruits) et importations (ex : compost organique) de carbone dans la parcelle. Si le NECB est négatif, le verger est considéré comme une source de carbone (Chapin et al., 2006). S'il est positif, le verger est considéré comme un puit de carbone.

Montanaro et al. (2016) ont utilisé cette approche et quantifié les différents flux de CO₂ au sein de vergers de pêchers en pleine production. Les détails d'un bilan de flux de carbone en verger conventionnel et raisonné sont présentés dans la Figure 53. **Le NECB est positif pour les deux conduites (7,3 t/ha/an pour la conduite raisonnée et 0,9 t/ha/an pour la conduite conventionnelle). Dans cette étude, ce verger de pêchers est considéré comme un puit de carbone.**

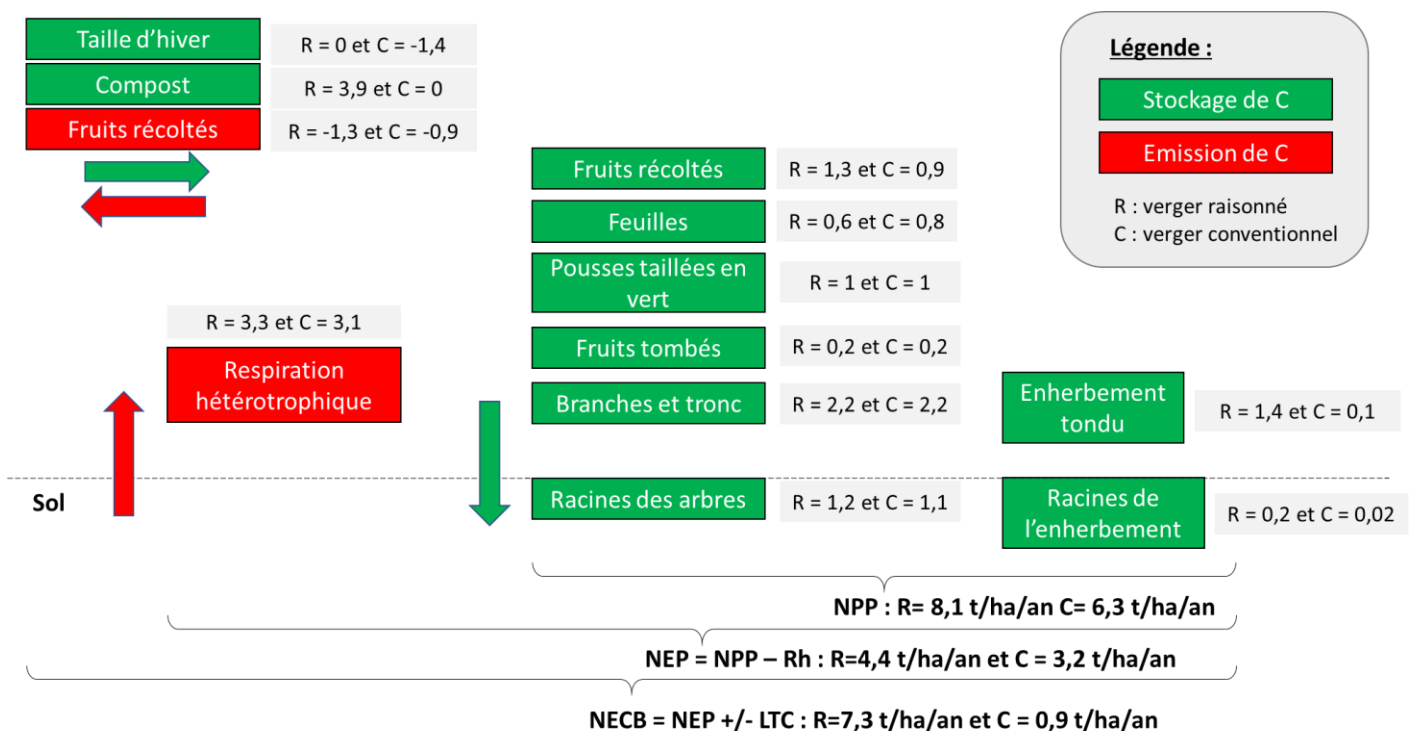


Figure 3 Exemple du calcul du bilan des flux annuels de carbone pour un verger de pêchers issus de l'étude de Montanaro et al. (2016). L'étude compare le bilan net de vergers en conduite conventionnelle et en conduite raisonnée.

² On distingue la respiration hétérotrophe de la respiration autotrophe, cette dernière étant la respiration des racines et des mycorhizes. En pratique, l'ensemble de la respiration est mesuré sur le terrain et on approche la respiration hétérotrophique à 75% de la respiration totale du sol.

Il est important de noter que ces flux annuels peuvent fluctuer. Par exemple, un jeune verger qui n'est pas en phase de production produira moins de fruits.

Cette même étude a également quantifié le stock de carbone total contenu dans la biomasse ligneuse de pêcheurs, à la fin de leurs vies, en calculant la différence de biomasse entre un verger de pêcheur de 1 an et un verger de pêcheurs de 15 ans en fin de vie. **Cette étude a montré qu'un verger de pêcheurs stocke approximativement 25 t C/ha dans sa biomasse ligneuse dont 17t/ha contenue dans la biomasse aérienne et 8 t C/ha contenue dans la biomasse racinaire.**

Le stockage de carbone dans le sol des vergers de pêcheurs a été estimé en faisant la différence entre le stock de carbone dans le sol et dans la litière en début de culture et en fin de culture (Tableau 60). **Le taux d'accumulation de carbone dans le sol est de l'ordre de 0,03 à 0,8t/ha selon les pratiques culturales.**

Tableau 60 Changement de stock de carbone dans profil de sol de 0 à 40cm de profondeur et dans la litière dans des vergers de pêcheurs conduit en conventionnel et en raisonné

	Sol		Litière	
	Conduite raisonnée	Conduite conventionnelle	Conduite raisonnée	Conduite conventionnelle
Changement de stock de carbone au bout de 7 ans	5,8 t/ha	0,2 t/ha	4,4 t/ha	0,3 t/ha
Taux d'accumulation de carbone	0,8 t/ha/an	0,03 t/ha/an	0,6 t/ha/an	0,04 t/ha/an

1.1.4.2 Stockage de carbone atmosphérique dans les parties ligneuses

Un premier stock de carbone se situe dans le compartiment ligneux : tronc, branches, racines des arbres fruitiers et des haies.

- **Stock de carbone dans le compartiment ligneux des arbres fruitiers**

Les valeurs de stocks de carbone estimées dans la littérature sont fortement variables d'une espèce à une autre et au sein d'une même espèce. Le Tableau 61 présente quelques résultats de stock de carbone dans le compartiment ligneux de différentes espèces fruitières issus de la littérature internationale. Les valeurs du carbone contenu dans la biomasse ligneuse totale varient de 4,14 t/ha pour des pommiers de 18 ans (Wu et al., 2012) à 180 t/ha pour des vieux pommiers à cidre (Rosemary, 2013). **Une expérimentation effectuée au CTIFL en 2019 a permis de mesurer un stock de carbone total d'une parcelle de pommiers de 25 ans s'élevant entre 15,6 et 17,5 t/ha.** Cependant, les racines n'ont pas pu être entièrement prélevées, donc ce stockage est sous-estimé.

La dynamique du stockage de carbone annuel a été estimée à des valeurs comprises entre 1,4 t C/ha/an pour des vergers de citronniers et à 3,2 t C/ha/an pour des vergers de pommiers (Figure 54) (Scandellari

et al., 2017). Ces valeurs correspondent à la croissance annuelle de l'arbre et par conséquent du stock de carbone dans la biomasse ligneuse.

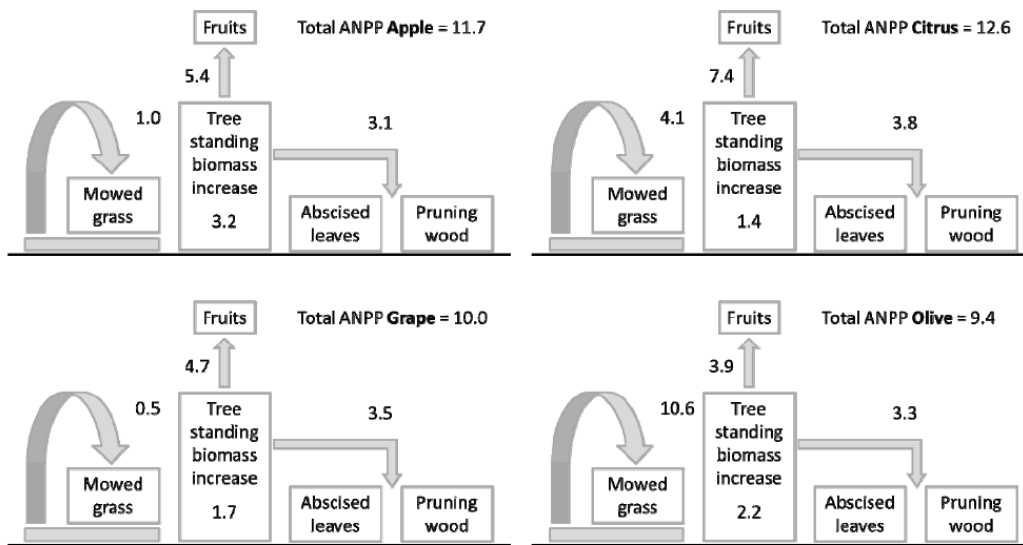


Figure 4 Répartition de la dynamique de stockage annuel pour 4 espèces fruitières en tC/ha/an. Source : Scandellari et al. (2017)

Tableau 61 Valeur du stock de carbone (t/ha) dans la biomasse ligneuse de différentes espèces d'arbres fruitiers.

Compartiment	Espèce	Variété	Age	Densité	Pratique	Quantité de carbone (t/ha)	Références
Biomasse totale	Nectariniers	Stark RedGold x Hydride GF677 (Prunus persica x Prunus amygdalus)	13	525	Absence de fertilisation	10,6	(Baldi et al., 2018)
					Fertilisants organiques (5t/ha)	10,8	
					Fertilisants organiques (10t/ha)	13,3	
					Fertilisants minéraux	13,5	
	Pommiers	Royal Empire' x 'M.9'/'MM.111' rootstock	15	555	Herbicide de pré-émergence	13,5	(Leinfelder et al., 2012)
					Gazon	14,6	
					Herbicide de post émergence	14,8	
					Mulch	19,3	
		Non indiqué	5 ans	1250	Conventionnel	1,4	(Wu et al., 2012)
		Non indiqué	18 ans	666	Conventionnel	4,2	
		Non indiqué	21 ans	666	Conventionnel	5,7	
	Pommiers	Golden Smoothee x PI80	10	1000	Biologique	8,5	(Demestihis, 2017)
				Conventionnel	10,4		
			Bas-intrants	12,3			
Pommiers	Fuji x EMLA 9	12	3 333	Biologique	11,6	(Zanotelli et al., 2013)	
Vignes	Cabernet-Sauvignon	15	1631		10	(Morande et al., 2017)	
Champs abandonnés	-	25	-	-	6,0	(Almagro et al., 2010)	

Tableau 61 Valeur du stock de carbone (t/ha) dans la biomasse ligneuse de différentes espèces d'arbres fruitiers.

Compartiment	Espèce	Variété	Age	Densité	Pratique	Quantité de carbone (t/ha)	Références
	Forêts	-	15è0	-	-	36,0	
	Oliviers	Non indiqué	100	107	Non indiqué	9,9	
	Pommiers à cidre (traditionnel)		10 à 100	280		179,5	(Rosemary, 2013)
	Pommiers à cidre (buisson)					28,8	(Rosemary, 2013)
	Pommiers		<15			9,6	(Rosemary, 2013)
	Pommiers		> 15			12,2	(Rosemary, 2013)
	Pommiers	Cox	1 à 25	1454 (569 à 1905)		6,7	(Rosemary, 2013)
	Pommiers	Bramley	2 à 30	884 (247 à 2308)		14,7	(Rosemary, 2013)
	Pêchers		15			25,3	(Montanaro et al., 2016)
Biomasse aérienne	Champs abandonnés	-	25		NA	3,5	(Almagro et al., 2010)
	Forêts	-	150		NA	33	
	Oliviers	Non indiqué	100	107	NA	8,3	
	Vignes	Cabernet-Sauvignon	15	1631		5,9	(Morande et al., 2017)
	Pommiers	Golden Smoothee x PI80	10	1000	Biologique Conventionnel Bas-intrants	6,9	(Demestihis, 2017)
						8,4	
Pommiers	Fuji x EMLA 9	12	3 333	Biologique	9,9		
					8,4	(Zanotelli et al., 2013)	

Tableau 61 Valeur du stock de carbone (t/ha) dans la biomasse ligneuse de différentes espèces d'arbres fruitiers.

Compartiment	Espèce	Variété	Age	Densité	Pratique	Quantité de carbone (t/ha)	Références
	Pommiers à cidre (traditionnel)		10 à 100	280		170,0³	(Rosemary, 2013)
	Pommiers à cidre (buisson)					25,2	(Rosemary, 2013)
	Pommiers		<15			7,0	(Rosemary, 2013)
	Pommiers		> 15			9,0	(Rosemary, 2013)
	Pommiers	Cox	1 à 25	1454 (569 à 1905)		5,0	(Rosemary, 2013)
	Pommiers	Bramley	2 à 30	884 (247 à 2308)		10,6	(Rosemary, 2013)
Biomasse souterraine	Champs abandonnés	-	25		NA	2,5	(Almagro et al., 2010)
	Forêts	-	150		NA	3,1	
	Oliviers	Non indiqué	100	107	NA	1,6	
	Pommiers	Golden Smoothee x PI80	10	1000	Biologique Conventionnel Bas-intrants	1,6	(Demestihias, 2017)
						2	
						2,5	
	Pommiers	Fuji x EMLA 9	12	3 333	Biologique	3,2	(Zanotelli et al., 2013)
	Vignes	Cabernet-Sauvignon	15	1631		4,1	(Morande et al., 2017)
Pommiers à cidre (traditionnel)		10 à 100	280		9,6	(Rosemary, 2013)	
Pommiers à cidre (buisson)					3,6	(Rosemary, 2013)	

³ Cette estimation est une moyenne entre un verger de 60 ans à 218 t/ha, des vergers entre 10 et 100 ans à 31 t/ha, et des vergers de 12 ans à 25 t/ha

Tableau 61 Valeur du stock de carbone (t/ha) dans la biomasse ligneuse de différentes espèces d'arbres fruitiers.

Compartiment	Espèce	Variété	Age	Densité	Pratique	Quantité de carbone (t/ha)	Références
	Pommiers		<15			2,7	(Rosemary, 2013)
	Pommiers		> 15			3,3	(Rosemary, 2013)
	Pommiers	Cox	1 à 25	1454 (569 à 1905)		1,7	(Rosemary, 2013)
	Pommiers	Bramley	2 à 30	884 (247 à 2308)		4,1	(Rosemary, 2013)

- **Stock de carbone dans le compartiment ligneux des haies**

Peu d'études ont été consacrées à la mesure de la quantité totale de carbone stockée dans les haies, et aucune en verger à notre connaissance. En France, le projet Carbocage, financé par l'ADEME a permis de quantifier le stockage de carbone dans la biomasse ligneuse des haies (Colombie, 2018). Cette étude n'est pas spécifique aux haies en bordure de verger. Ce projet visait à expérimenter un marché carbone local sur 3 territoires (le Pays des Mauges, le Pays du Roi Morvant et le Pays de la Vallée de la Sarthe) à partir des résidus issus du renouvellement des haies. Les valorisations possibles de ce bois peuvent être la production de bois énergie ou de bois d'œuvre. Par convention, on estime qu'il y a 100 m linéaire de haies par hectare (Arrouays et al., 2002a). Ainsi, le stockage par kilomètre linéaire de haie est 10 fois le stockage par hectare. D'après cette étude, la biomasse aérienne d'un arbre composant une haie est de l'ordre de 0,5 à 5 t C/km/an soit 0,05 à 0,5 t C/ha/an et la biomasse racinaire est quantifiée à 0,12 à 0,7tC/km/an soit 0,012 à 0,07 t C/ha/an (Figure 55). **Au total, la biomasse ligneuse d'une haie est de l'ordre de 0,062 à 0,57 t C/ha/an (soit environ 0,3 t C/ha/an en moyenne).**

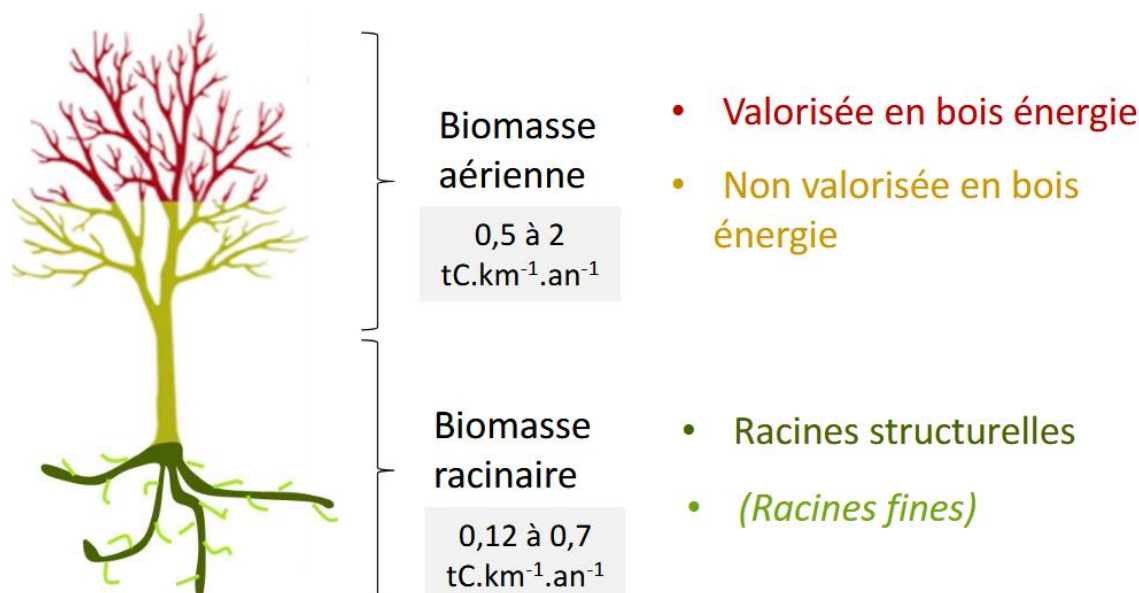


Figure 5 Quantification du carbone dans la biomasse ligneuse d'une haie. Source: Colombie (2018)

Une étude du Kenya quantifie le stock de carbone de haies entourant différents types d'usage de sol de 1,4 à 3,4 tonnes de carbone par hectare (Henry et al., 2009).

1.1.4.3 Stock de carbone dans le sol

Le Tableau 63 présente les stocks moyens de carbone sur les 30 premiers centimètres par grand type d'usage de sol. Ces données proviennent de la base de données RMQS (Réseau de Mesures de la Qualité des Sols) qui est un outil de surveillance de la qualité des sols français mis en place depuis les années 2000. **Le stock moyen de carbone dans les sols de verger est de l'ordre de 47 t/ha dans les 30 premiers centimètres.** Les vergers ont des stocks de carbone plutôt faibles par rapport aux cultures annuelles (52 t/ha) et aux prairies (85 t/ha) mais supérieurs aux stocks de carbone en vignoble (34 t/ha).

Tableau 63 Stocks de carbone sous différents types d'usage de sol. Source : RMQS du GIS Sol (Saby et al., 2014) & (Meersmans et al. 2012)

Type d'usage de sol	Stock de carbone dans l'horizon 0-30cm du sol (t/ha)
Vignobles	34 (n=42)
Vergers	47 (n=22)
Forêt	81 (n=586)
Prairies	85 (n=601)
Cultures annuelles	52 (n=884)

Le Tableau 64 recense les stocks de carbone mesurés dans quelques études de la littérature. Ce tableau montre la variabilité des mesures d'une étude à une autre ainsi que la variabilité des mesures au sein d'une même étude. En effet, les sols peuvent être très différents entre parcelles.

Tableau 64 Quelques références de stock de carbone dans le sol des vergers issues de la littérature

Espèce	Modalité	Age du verger	Stock de carbone effectivement mesuré dans le sol (t/ha)	Profondeur de mesure	Référence
Champs abandonnés	Absence de fertilisation	25	30,6	Mesuré sur 15 cm de profondeur	(Almagro et al., 2010)
Forêts	Absence de fertilisation	150	51,9	Mesuré sur 15 cm de profondeur	
Oliviers	Fertilisation minérale ⁴	100	26,6	Mesuré sur 15 cm de profondeur	
Nectariniers	Absence de fertilisation	13	84,6	Mesuré sur 40 cm de profondeur	(Baldi et al., 2018)
Nectariniers	Fertilisants minéraux	13	99	Mesuré sur 40 cm de profondeur	
Nectariniers	Fertilisants organiques (5t/ha)	13	115	Mesuré sur 40 cm de profondeur	
Nectariniers	Fertilisants organiques (10t/ha)	13	143	Mesuré sur 40 cm de profondeur	
Pommiers	Fertilisation minérale ¹	Non indiqué	31,4	Mesuré sur 70 cm et extrapolé à 1m	(Gentile et al., 2014)
Pommiers	Fertilisation minérale ¹	Non indiqué	64	Mesuré sur 1 m de profondeur	

⁴ Dans la publication, le mode de fertilisation n'est pas précisé mais la conduite du verger est conventionnelle. Nous avons donc fait l'hypothèse qu'il s'agissait d'une fertilisation minérale

Pommiers	Fertilisation minérale ¹	Non indiqué	117	Mesuré sur 1 m de profondeur	
Pommiers	Mulch	15	24,7	Mesuré sur 20 cm	(Leinfelder et al., 2012)
Pommiers	Gazon	15	11,8	Mesuré sur 20 cm	
Pommiers	Herbicide de post emergence	15	9,4	Mesuré sur 20 cm	
Pommiers	Herbicide de pré-emergence	15	9,5	Mesuré sur 20 cm	
Pêchers	Durable	19	10,9	Mesuré sur 40 cm de profondeur	(Montanaro et al., 2016)
Pêchers	Fertilisation minérale	19	12,9	Mesuré sur 40 cm de profondeur	

D'après le RMQS du GIS Sol, le stock de carbone dans les sols des vergers s'élève à 47 t/ha ce qui est plus faible que la majorité des autres cultures (Saby et al., 2014).

1.1.4.4 Quantification de la séquestration de carbone annuelle dans le sol des vergers

Lors de la conférence 4 pour 1000 sur le potentiel de séquestration de carbone dans les sols agricoles du jeudi 13 juin 2019, il a été souligné que les tendances de séquestration ou de déséquestration des sols ne sont pas encore tout à fait connues. Une nouvelle campagne de mesure de stock de carbone dans le sol pour différents types d'occupation de sol dans le cadre du RMQS du GIS Sol sera menée en 2020 et devrait renseigner ces tendances.

Les références des taux de séquestration annuels sont donc issues de la littérature scientifique. Les flux de séquestration ou d'émissions annuels peuvent être estimés par modélisation. Certaines études mesurent les stocks de carbone initiaux dans les sols puis les stocks de carbone finaux à différents intervalles de temps (Baldi et al., 2018; Gentile et al., 2014).

Certaines études ont démontré que les stocks de carbone dans le sol n'étaient pas significativement différents après plusieurs années de culture. Gentile et al. (2014) et Montanaro et al. (2010) ont mesuré les stocks de carbone dans des vergers à 4 années d'intervalles. Aucune différence significative n'a été relevée entre ces deux mesures effectuées à 1m de profondeur.

Baldi *et al.* (2018) ont quantifié la séquestration de carbone dans le sol sous des parcelles de nectariniers commerciaux de 14 ans sous différents amendements organiques. Pour cela, ils ont comparé la teneur de carbone dans le sol (SOC) en 2001 à la plantation des nectariniers à la SOC de 2014, en fin de vie du verger (Tableau 65). Sans fertilisation, les nectariniers rejettent du CO₂ plus qu'ils n'en séquestrent dans le sol (-2,50 t/ha au bout de 14 ans). Avec ajout de fertilisation, la tendance s'inverse : les nectariniers séquestrent du carbone dans le sol. L'ajout de fertilisants organiques à la plus forte dose est la modalité qui accélère le plus la séquestration de carbone (54,8 t/ha au bout de 14 ans), puis de la fertilisation organique à plus faible dose (16,3 t/ha sur 14 ans) et de la fertilisation minérale (16,3 t/ha sur 14 ans).

Tableau 65 Différence des teneurs en carbone à la plantation et en fin de vie de nectariniers et séquestration de carbone dans le sol selon 4 modalités de fertilisation. Source : (Baldi et al., 2018).

Modalité de fertilisation	Différence de teneur en carbone dans le sol entre la plantation et la fin de vie du verger (14 ans) (t/ha)	Séquestration de carbone dans le sol si la séquestration était constante chaque année (t/ha/an)
Absence de fertilisation	-2,50	-0,18
Fertilisants minéraux	1,75	0,12
Fertilisants organiques (5t/ha)	16,3	1,16
Fertilisants organiques (10t/ha)	54,8	3,9

1.1.4.5 Stockage de carbone additionnel dans le sol lié à la présence d'un enherbement et de haies

- **Stockage de carbone additionnel dans le sol lié à la présence de haies**

Une haie est définie comme une structure linéaire boisée caractérisée par une largeur inférieure à 15m, une longueur supérieure à 25m et un recouvrement en arbres ou en arbustes supérieur à un tiers (Arrouays et al., 2002b). Cette définition étant large, une grande diversité de haies existe : monospécifique comme les haies de cyprès brise vent dans le quart Sud-Est, ou composite. Le stock de carbone contenu dans une haie dépend fortement des espèces composant cette haie. Les haies permettent une augmentation des restitutions carbonées au sol via la restitution de matière organique au sol via la litière (feuilles mortes, brindilles), le renouvellement des racines fines et les exsudats racinaires (Arrouays et al., 2002b; Pellerin et al., 2013). Peu de travaux ont quantifié le stockage additionnel de carbone dans le sol relié aux implantations de haies (Pellerin et al., 2013). En effet, de nombreux travaux en grandes cultures démontrent que les teneurs en matière organique des sols sont plus élevées sous haies. Les sols sous haie ont une meilleure stabilité culturale et une infiltrabilité accrue, ce qui limite les phénomènes d'érosion.

Il existe peu d'études sur le stockage de carbone dans le sol, relié à la présence de haies en milieu tempéré. **A notre connaissance, il n'existe pas d'études en verger. En grandes cultures, le stockage additionnel lié à la présence de haies est entre 0,02 t C/ha/an** (Pellerin et al., 2013, 2019).

- **Stockage de carbone additionnel dans le sol lié à la présence d'un enherbement**

L'enherbement permanent en verger et en vignoble permet de stocker additionnellement de **0,1 à 0,5 t C/ha chaque année** si on le compare avec une parcelle sans enherbement (Chenu et al., 2014; Pellerin et al., 2013, 2019).

1.1.5 Les émissions de GES en verger

1.1.5.1 AGRIBALYSE®, une base de données française d'inventaires de cycle de vie des productions agricoles.

Le programme AGRIBALYSE, lancé par l'ADEME suite au Grenelle de l'Environnement, vise à fournir des références sur les impacts environnementaux des productions agricole se basant sur la méthodologie de l'ACV. AGRIBALYSE® est une base de données publique, régulièrement mise à jour et enrichie. Le travail autour de cette base de données réunit un consortium de plusieurs organismes : Ademe, Inra, Agroscope, Cirad, ACTA, et 9 instituts techniques (Arvalis, CTIFL, IFIP, IFV, Institut de l'élevage, ITAVI, Terres Inovia, ITB, Astredhor). Cette base de données contient plus de 200 produits agricoles (cultures annuelles, fourrages, fruits, vigne, cultures tropicales, productions animales...). En

verger, 5 cultures de climat tempérée sont étudiées : la pomme de table, la pomme à cidre, la pêche/nectarine, la poire et la noix. Les résultats présentés ci-après ne portent que sur les émissions de GES

1.1.5.2 La méthode de l'ACV employée dans AGRIBALYSE®

La construction de la base de données AGRIBALYSE® s'est faite en plusieurs étapes, suivant la méthode de l'ACV. La première est la description des itinéraires techniques des différentes cultures. Dans le cas des vergers, la collecte de données s'est faite pour un verger « moyen France », c'est-à-dire caractérisé par des pratiques représentatives de la moyenne française. Les données ont été collectées à dire d'experts pour les principales régions de production et l'itinéraire moyen France calculé au prorata des volumes de fruits de chaque région. A partir de cette description exhaustive des pratiques culturales, les flux de GES sont calculés à partir de modèles implémentés dans le fichier de calcul. L'ACV comprend l'ensemble des étapes de la production d'un produit à sa fin de vie (Figure 56) (Roux et al., 2018). Dans le cadre d'AGRIBALYSE®, seuls les GES reliés à l'étape de production ont été quantifiés. En verger, 4 phases sont définies : (i) les pratiques au moment de la plantation du verger (qui comprennent également les pratiques au moment de l'arrachage), (ii) les pratiques pendant les années sans production pour certains vergers (e.g. noix, pommes), (iii) les pratiques pendant les premières années de production et (iv) les pratiques en période de pleine production. La production de plants en pépinière a également été étudiée pour être prise en compte dans la phase de plantation du verger.

Les postes d'émission des vergers sont résumés dans le Tableau 66.

Tableau 66 Description des postes d'émission de Gaz à Effet de Serre (GES) pour les vergers

Poste d'émission de GES	Description du poste d'émission
Plateforme automotrice	Plateforme utilisée pour la taille, l'éclaircissage la récolte de fruits et la manipulation des filets paragrêles
Application insecticides et fongicides	Passage de tracteurs pour l'application des produits phytosanitaires
Production engrais minéraux	Emissions liées à la production d'engrais minéraux en usine
Emissions directes	Emissions de N ₂ O dans la parcelle
Mécanisation	Passage de tracteurs pour le désherbage, la fertilisation, le broyage de bois de taille, la tonte
Autres intrants	Matériaux pour le palissage, les filets paragrêles
Production pesticides	Emissions liées à la production de pesticides en usine
Electricité irrigation	Matériaux et émissions liés à l'irrigation et l'électricité
Transports intrants	Transports des intrants de leurs lieux de production à la parcelle
Pépinière	Emissions liées à la production de plants d'arbres fruitiers
Chaulage	Passage de tracteurs pour amender les parcelles avant plantation
Production engrais organiques	Emissions liées à la production d'engrais organiques en usine

Le cycle de Vie de la pomme

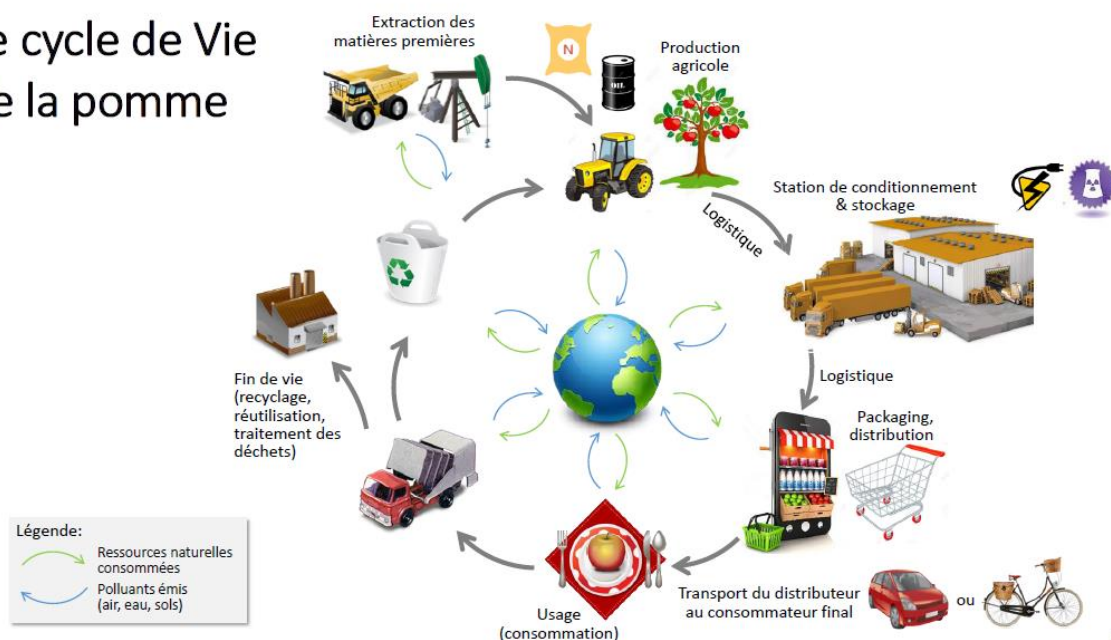


Figure 6 Les différentes étapes du cycle de vie d'une pomme. Source : Roux et al. (2018)

1.1.5.3 Evaluation de l'émission de GES en verger

Les résultats de quatre des cinq espèces fruitières étudiées sont présentés ci-après : le verger pommier moyen France, le verger pêcher moyen France, le verger conventionnel Poire du Sud-Est et le verger de noix du sud-est.

- **Pommier moyen France**

Le Tableau 67 présente les émissions totales liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de pommiers moyen France de 20 ans. **Les émissions totales sur la durée de vie du verger sont de l'ordre de 23,6 tonnes de carbone par hectare de pommiers. Divisées par la durée de vie du pommier de 20 ans, les émissions par année sont en moyenne de 1,2 tC/ha/an.**

Tableau 67 Emissions liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de pommiers moyen France de 20 ans. Source : CTIFL (AGRIBALYSE)

Total des émissions liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de pommiers moyen France de 20 ans (tC/ha)	23,6 tC/ha
Durée de vie du verger	20 ans
Emissions moyennes par année (tC/ha/an)	1,2 tC/ha/an

Le Tableau 68 présente les postes d'émission par hectare d'un verger de pommiers moyen France sur l'ensemble de sa durée de vie. Les principaux postes d'émission sont l'utilisation de plateforme automotrice (un tiers des émissions totales), le passage de tracteurs pour appliquer les insecticides et les fongicides (16%), la production d'engrais minéraux en usine (15%) et les émissions directes de N₂O liées aux apports d'engrais azotés (13%) (Tableau 68). En pommier, les plateformes automotrices sont utilisées pour les chantiers de taille, d'éclaircissage, de récolte ainsi que pour la manutention des filets

paragrêle. Au total, l'utilisation d'engins motorisés utilisant du gazole au sein du verger compte pour 50% des émissions totales d'un verger de pommier conventionnel.

Tableau 68 Postes d'émission d'un verger de pommiers moyen France par hectare.
Source : CTIFL (AGRIBALYSE)

Postes d'émission de GES	Emissions liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de pommiers moyen France de 20 ans (tC/ha)	Part de chaque poste d'émission par rapport aux émissions totales liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de pommiers moyen France de 20 ans
Plateforme automotrice	8,1	34%
Application insecticides et fongicides	3,7	16%
Production engrais minéraux	3,7	15%
Emissions directes	3,0	13%
Mécanisation	1,7	7%
Autres intrants	1,6	7%
Production pesticides	1,1	5%
Electricité irrigation	0,4	2%
Transports intrants	0,2	1%
Pépinière	0,2	1%
Chaulage	0,02	0%
Production engrais organiques	0,00	0%
Total	23,6	100%

- **Pêcher moyen France**

Le Tableau 69 présente les émissions liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de pêchers moyen France sur une durée de 15 ans. **Le total des émissions s'élève à 16,7 t C/ha. Les émissions moyennes annuelles sont de l'ordre de 1,1 t C/ha/an.**

Tableau 69 Emissions liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de pêchers moyen France de 20 ans.
Source : CTIFL (AGRIBALYSE)

Total des émissions liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de pêchers moyen France de 20 ans (tC/ha)	16,7 tC/ha
Durée de vie du verger	15 ans
Emissions moyennes par année (tC/ha/an)	1,1 tC/ha/an

Le Tableau 70 présente les émissions d'un verger de pêchers moyen France par hectare en tonnes de carbone. Les principaux postes d'émission sont liés à la fertilisation⁵ (67% des émissions) et à la mécanisation⁶ (25%).

⁵ La fertilisation comprend les postes d'émission « production des engrais organiques », « émissions directes » et « production des engrais minéraux »

⁶ La mécanisation comprend les postes d'émission « mécanisation » et « application des pesticides »

Tableau 70 Postes d'émission d'un verger de pêcheurs moyen France par hectare. Source : CTIFL (AGRIBALYSE)

Postes d'émission de GES	Emissions liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de pêcheurs moyen France de 15 ans (t/ha)	Part de chaque poste d'émission par rapport aux émissions totales liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de pêcheurs moyen France de 15 ans
Production des engrais organiques	5,3	32%
Emissions directes	3,5	21%
Mécanisation	2,8	17%
Production des engrais minéraux	2,3	14%
Application des pesticides	1,4	8%
Production de produits phytosanitaires	0,5	3%
Electricité irrigation	0,5	3%
Transport des intrants	0,2	1%
Pépinière	0,1	0%
Total	16,7	100%

- Poirier conventionnel Sud-Est

Le Tableau 71 présente les émissions liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de poiriers conventionnel du Sud-Est de 50 ans. Les émissions de carbone sur l'ensemble de la durée de vie d'un verger de poiriers s'élèvent à 46,4 t C/ha. Les émissions moyennes par année sont de l'ordre de 0,9 t C/ha/an.

Tableau 71 Emissions liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de poiriers conventionnel du Sud-Est de 50 ans. Source : CTIFL (AGRIBALYSE)

Total des émissions liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de poiriers moyen France de 50 ans (tC/ha)	46,4 tC/ha
Durée de vie du verger	50 ans
Emissions moyennes par année (tC/ha/an)	0,9 tC/ha/an

Le Tableau 72 présente les émissions d'un verger de poiriers moyen France par hectare en tonnes de carbone. Les principaux postes d'émission sont la mécanisation (40%) et la fertilisation (42%).

Tableau 72 Postes d'émission d'un verger de poiriers conventionnel du Sud-Est par hectare. Source : CTIFL (AGRIBALYSE)

Poste d'émission de GES	Emissions liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de poiriers	Part de chaque poste d'émission par rapport aux émissions totales liées à la mise en place et à l'entretien d'un
-------------------------	---	--

	conventionnel du Sud-Est de 50 ans (t/ha)	verger de poiriers conventionnel du Sud-Est de 50 ans
Mécanisation	18,5	40%
Production engrais minéraux	11,8	25%
Emissions directes	7,9	17%
Irrigation	3,0	6%
Production engrais organiques	2,8	6%
Production produits phytosanitaires	1,6	4%
Autres intrants	0,4	1%
Transport	0,2	1%
Arrachage	0,2	0%
Plants	0,0	0%
Total	46,4	100%

- **Noyer traditionnel (variétés de l'AOP Noix de Grenoble)**

Le Tableau 73 présente les émissions liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de noyers AOP pendant une durée de vie de 70 ans. **Les émissions totales sur la durée de vie du verger s'élèvent à 44,2 t C/ha. Les émissions moyennes par années sont de l'ordre de 0,6 t C/ha/an.**

Tableau 73 Emissions liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de noyers AOP de 70 ans. Source : CTIFL (AGRIBALYSE)

Total des émissions liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de noyers moyen France de 50 ans (tC/ha)	44,2 tC/ha
Durée de vie du verger	70 ans
Emissions moyennes par année (tC/ha/an)	0,6 tC/ha/an

Le Tableau 74 présente les émissions d'un verger de noyers moyen France par hectare en tonnes équivalent CO₂ et en tonnes de carbone. Pour cette espèce fruitière, le séchage des noix a été également pris en compte car elles sont principalement consommées séchées. Les principaux postes d'émission sont la fertilisation (55%), la mécanisation (22%) et le séchage (19%).

Tableau 74 Postes d'émission d'un noyer AOP de 70 ans par hectare. Source : CTIFL (AGRIBALYSE)

Poste d'émission de GES	Emissions liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de noyers AOP de 70 ans (t/ha)	Part de chaque poste d'émission par rapport aux émissions totales liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de noyers AOP de 70 ans
Production engrais minéraux	13,3	30%
Emissions directes	11,3	25%
Mécanisation	9,6	22%

Séchage	8,4	19%
Production de produits phytosanitaires	0,6	1%
Transport	0,4	1%
Arrachage	0,4	1%
Irrigation	0,2	0%
Chaulage	0,1	0%
Plants	0,0	0%
Production engrais organiques	0,0	0%
Total	44,2	100%

1.1.6 Les pratiques améliorant le bilan carbone des vergers

1.1.6.1 Les pratiques favorables au stockage dans le sol et dans le bois

1.1.6.1.1 Influence des pratiques culturales sur la quantité de carbone stockée dans le sol

- **Pratiques annuelles**
 - **Absence de travail du sol**

L'absence de travail de sol permettrait d'augmenter les stocks de carbone des sols par différents processus (Pellerin et al., 2013):

- Le sol étant mieux agrégé quand il n'est pas labouré, les matières organiques sont mieux protégées physiquement et se minéralisent moins ;
- Les surfaces supérieures du sol sont plus froides et plus humides ce qui ralentit également la minéralisation. De plus, la composition microbienne du sol est modifiée sans labour. Ce sont les champignons qui dominent la microflore (contrairement aux bactéries dans un sol labouré). Or, les champignons respirent moins de carbone, ce qui limite les émissions de carbone ;
- L'érosion d'un sol non labouré est plus faible, ce qui limite les pertes de carbone.

D'après la littérature, il existerait bel et bien un effet positif du non-labour sur le carbone du sol, mais celui-ci serait significatif sur l'horizon 0-30 cm. **L'investigation d'un horizon plus profond 0-1m n'a pas permis de montrer une augmentation significative de la teneur en carbone dans une situation de non-labour** (Pellerin et al., 2019).

- **Etendre la surface enherbée, choix et gestion des couverts**

Dans les vergers, l'enherbement des inter-rangs est souvent permanent. Il permet d'augmenter le stock de carbone car il produit de la biomasse et la restitue au sol lors de sa décomposition. Peu d'études ont été effectuées en verger. Dans l'expertise INRA 2002, les flux de stockage ont été évalués à **0,49 t/ha +/-0,26 sur une durée de 20 ans pour un enherbement sur la totalité de la surface du verger**. En vigne, les flux de stockage liés à un enherbement permanent de tous les inter-rangs (soit 2/3 de la surface en vigne) ont été évalués en moyenne à 0,33 t/ha sur 20 ans. La gestion du couvert va déterminer les apports au sol : la fréquence des tontes a donc une influence sur le stock de carbone du sol.

- **Pratiques en fin de vie du verger : l'importance de la gestion des résidus en fin de culture**

Les résidus de culture en vergers peuvent être des résidus ligneux (résidus de taille, résidus issus de l'éclaircissage et résidus issus de l'arrachage des vergers) ou organiques comme les fruits tombés au sol, les feuilles et le mulch de l'enherbement à chaque tonte.

En France, à l'heure actuelle, une grande majorité de producteurs brûlent leurs bois issus de l'arrachage, libérant le stock de carbone stocké pendant la durée de vie du verger. Pourtant, diverses solutions existent pour préserver ce stockage à plus long terme : broyage et épandage des résidus de taille, production de Bois Raméal Fragmenté, de biochar etc. (cf paragraphe XX)

En résumé, le Tableau 75 présente des exemples de pratiques culturales qui peuvent être mises en place en verger et leurs impacts sur le stock de carbone dans le sol (Tailleur et al., 2018).

Tableau 75 Exemple de pratiques culturales en verger et leurs impacts sur le stock de carbone dans le sol.
Source : d'après Tailleur et al. (2018)

Types de pratiques culturales	Pratiques culturales	Influence sur le carbone du sol et de la biomasse dans le temps	
Pratiques annuelles	Taille et gestion des résidus de taille (retour de bois de taille au sol)	+	Entrée de carbone dans le sol par les parties aériennes lignifiées et augmentation du stock de carbone du sol par humification à moyen terme
	Enherbement	+	Stockage de carbone dans le sol à moyen terme sous réserve d'une durée suffisante de présence du couvert
	Apport de matière organique (amendements externes, éclaircissage...)	+	Apport de carbone au sol et augmentation du stock de carbone du sol par humification à moyen terme
Pratiques en fin de vie du verger	Arrachage	-	Pertes de carbone de la biomasse souterraine
	Combustion du bois après arrachage	-	Déstockage de carbone de la biomasse et émission ponctuelle de CO ₂
	Épandage de chips de bois comme amendement après déchetage après arrachage	+	Apport de carbone au sol et augmentation du stock de carbone du sol par humification à moyen terme

1.1.6.1.2 Influence des pratiques culturales sur la quantité de carbone stockée dans la biomasse

- **La nature et la quantité des apports de fertilisants**

(Baldi et al., 2018) montrent que la fertilisation peut modifier la biomasse et donc la quantité de carbone séquestré dans les arbres. Dans des vergers de nectariniers, les valeurs totales de stock sont plus faibles en l'absence de fertilisation et en faible apport (5t/ha) de fertilisation organique (10,6 t/ha et 10,7 t/ha respectivement). La capacité d'un verger à stocker dépend de la quantité et de la nature des fertilisants apportés. Avec l'apport de fertilisants organiques supplémentaires (10t/ha) ou avec l'apport de fertilisants minéraux, le stock atteint respectivement 13,3 t/ha et 13,5 t/ha. L'effet de la

fertilisation sur le stockage de carbone pourrait être relié à une plus forte vigueur de l'arbre et une accumulation plus élevée de biomasse au sein du verger.

- **Influence de la variété sur la quantité de carbone stockée dans le sol**

(Rosemary, 2013) ont montré que les stocks de carbone dans le sol étaient significativement différents selon la variété présente dans la parcelle (la variété Bramley ayant des stocks plus élevés que Cox).

D'autres facteurs peuvent impacter le stock de carbone dans la biomasse comme le choix du porte-greffe, les distances de plantation, les modes de conduite des arbres, la charge en fruits, etc.

1.1.6.2 Les pratiques limitant l'émission de carbone

Les leviers majeurs de diminution d'émission de carbone sont de diminuer **les fréquences de passage de tracteurs et de s'équiper de plateforme électrique (chantier de récolte, de taille, d'éclaircissage)**⁷.

Pour illustrer l'impact de changements de pratiques sur les émissions de carbone, nous avons pris l'exemple du pommier. La Figure 58 présente les résultats de différentes simulations de changement de pratique afin de diminuer les émissions de GES liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de pommiers moyen conventionnel. Le premier changement de pratique simulé est l'installation d'un système de pulvérisation fixe (Figure 57). Il permet de s'affranchir des passages de tracteurs pour appliquer les pesticides, les produits de biocontrôle ou les engrais foliaires. **Ainsi, les émissions de carbone diminuent de 7% avec l'installation d'un tel système par rapport au verger de pommier moyen France. La réduction peut être plus importante en utilisant un compresseur électrique.**



Figure 57 Installation d'un pulvéfix dans un verger de pommiers

⁷ Uniquement pour les pommiers qui sont les seules cultures à les utiliser

Le second changement de pratique simulé est la plantation de variétés résistantes à la tavelure. Ce verger nécessite moins de traitements et permet de diminuer les émissions de carbone de 8% (Figure 58).

L'utilisation des plateformes à traction électrique en remplacement des plateformes à traction à moteur diesel permet de réduire fortement les émissions de carbone (près de 26%) (Figure 58).

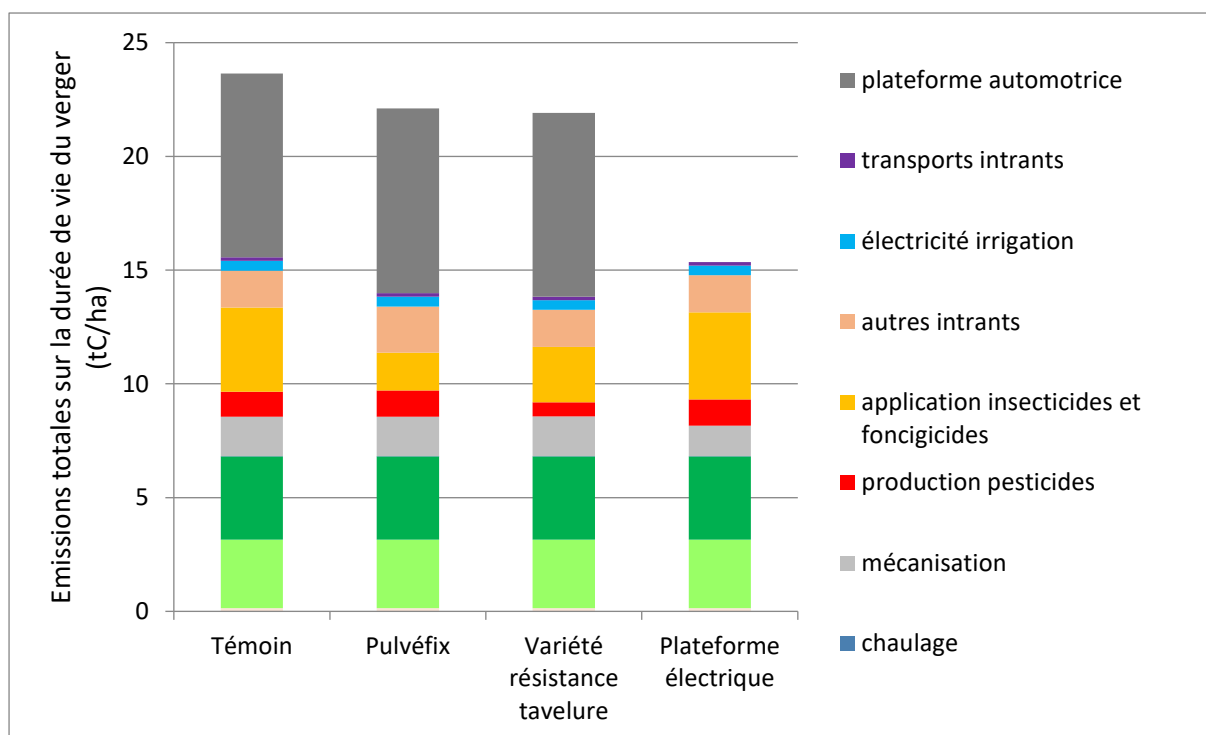


Figure 7 Différentes simulations de changement de pratique afin de diminuer les émissions de GES liées à la mise en place et à l'entretien d'un verger de pommier moyen conventionnel (tC/ha). Source : CTIFL (AGRIBALYSE)

Bibliographie

A Sustainable Model for the Management of Olive Orchards Located in Semi-Arid Marginal Areas: Some Remarks and Indications for Policy Makers - ScienceDirect." n.d. Accessed November 15, 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901112002031>.

Alaphilippe, A., J. Boissy, S. Simon, and C. Godard. 2016. "Environmental Impact of Intensive versus Semi-Extensive Apple Orchards: Use of a Specific Methodological Framework for Life Cycle Assessments (LCA) in Perennial Crops." *Journal of Cleaner Production* 127: 555–61. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.031>.

Almagro, M., J. López, C. Boix-Fayos, J. Albaladejo, and M. Martínez-Mena. 2010. "Belowground Carbon Allocation Patterns in a Dry Mediterranean Ecosystem: A Comparison of Two Models." *Soil Biology and Biochemistry* 42 (9): 1549–57. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.05.031>.

Almagro_2010.Pdf." n.d.

Arrouays, D, J Balesdent, J C Germon, P A Jayet, J F Soussana, and P Stengel. 2002a. "Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?" . . L, 36.

Avian Conservation Practices Strengthen Ecosystem Services in California Vineyards." n.d. Accessed November 15, 2018. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0027347>.

Baldi, E., L. Cavani, A. Margon, M. Quartieri, G. Sorrenti, C. Marzadori, and M. Toselli. 2018. "Effect of Compost Application on the Dynamics of Carbon in a Nectarine Orchard Ecosystem." *Science of The Total Environment* 637–638: 918–25. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.093>.

Balesdent, J., I. Basile-Doelsch, J. Chadœuf, S. Cornu, Z. Fekiacova, S. Fontaine, B. Guenet, and C. Hatté. 2017. "Renouvellement du carbone profond des sols cultivés : une estimation par compilation de données isotopiques." *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 21 (3): 181-190–190. <http://www.pressesagro.be/base/index.php/base/article/view/2342>.

Belowground Carbon Allocation and Net Primary and Ecosystem Productivities in Apple Trees (*Malus Domestica*) as Affected by Soil Water Availability | Springer for Research & Development." n.d. Accessed November 15, 2018. <https://rd.springer.com/article/10.1007/s11104-012-1235-2>.

Belowground Carbon Allocation Patterns in a Dry Mediterranean Ecosystem: A Comparison of Two Models - ScienceDirect." n.d. Accessed November 15, 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003807171000204X>.

Brunori, Elena, Roberta Farina, and Rita Biasi. 2016. "Sustainable Viticulture: The Carbon-Sink Function of the Vineyard Agro-Ecosystem." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 223 (May): 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.02.012>.

Carbon Budget in a Mediterranean Peach Orchard under Different Management Practices - ScienceDirect." n.d. Accessed November 15, 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016788091630295X>.

Carbon Sequestration in Kiwifruit Orchard Soils at Depth to Mitigate Carbon Emissions: Communications in Soil Science and Plant Analysis: Vol 46, No Sup1." n.d. Accessed November 15, 2018. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103624.2014.988583>.

Climatic Impact of Land Use in LCA—Carbon Transfers between Vegetation/Soil and Air | Springer for Research & Development.” n.d. Accessed February 20, 2019. <https://rd.springer.com/article/10.1007/s11367-009-0144-y>.

Considering Time in LCA: Dynamic LCA and Its Application to Global Warming Impact Assessments - Environmental Science & Technology (ACS Publications).” n.d. Accessed February 20, 2019. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/Es9030003>.

Evaluating Carbon Fluxes in Orange Orchards in Relation to Planting Density | The Journal of Agricultural Science | Cambridge Core.” n.d. Accessed February 8, 2019. <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/evaluating-carbon-fluxes-in-orange-orchards-in-relation-to-planting-density/38AF4BD93F673D8A9C0F2C3B90E133B5>.

Gentile, Roberta, Brent Clothier, Carlo van den Dijseel, Mason Karen, Andrew McLachlan, David Cornwall, Marcus Hardie, and Justin Direen. 2014. “Trends in Carbon Stocks in Apple Orchard.” *Pips*, 3.

Grasselly, Dominique, Maëlie Trédan, CTIFL, Vincent Colomb, and ADEME. 2017. “Agribalyse Fruits et Légumes : Compléments à La Base de Données d’inventaires de Cycle de Vie et Démarches d’écoconception de Systèmes de Culture.”

Henry, M., P. Tiftonell, R. J. Manlay, M. Bernoux, A. Albrecht, and B. Vanlauwe. 2009. “Biodiversity, Carbon Stocks and Sequestration Potential in Aboveground Biomass in Smallholder Farming Systems of Western Kenya.” *Agriculture, Ecosystems & Environment* 129 (1): 238–52. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.09.006>.

Iglesias, Domingo J., Ana Quiñones, Antonio Font, Belén Martínez-Alcántara, María Ángeles Forner-Giner, Francisco Legaz, and Eduardo Primo-Millo. 2013. “Carbon Balance of Citrus Plantations in Eastern Spain.” *Agriculture, Ecosystems & Environment* 171: 103–11. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.03.015>.

Kroodsma, David A., and Christopher B. Field. 2006. “Carbon Sequestration in California Agriculture, 1980–2000.” *Ecological Applications* 16 (5): 1975–85. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[1975:CSICA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[1975:CSICA]2.0.CO;2).

Lal, Rattan. 2015. “FEATURE Sequestering Carbon and Increasing Productivity by Conservation Agriculture.” *Journal of Soil and Water Conservation*, 8.

Leinfelder, M.M., I.A. Merwin, and M.G. Brown. 2012. “Soil Health Indicators, Apple Tree Growth, and Carbon Sequestration Differ among Orchard Groundcover Management Systems.” *Acta Horticulturae*, no. 938: 333–40. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.938.43>.

Levasseur, Annie, Pascal Lesage, Manuele Margni, Louise Deschênes, and Réjean Samson. 2010. “Considering Time in LCA: Dynamic LCA and Its Application to Global Warming Impact Assessments.” *Environmental Science & Technology* 44 (8): 3169–74. <https://doi.org/10.1021/es9030003>.

Liguori, G., G. Gugliuzza, and P. Inglese. 2009. “Evaluating Carbon Fluxes in Orange Orchards in Relation to Planting Density.” *The Journal of Agricultural Science* 147 (6): 637–45. <https://doi.org/10.1017/S002185960900882X>.

Montanaro, G., G. Celano, B. Dichio, and C. Xiloyannis. 2010a. “Effects of Soil-Protecting Agricultural Practices on Soil Organic Carbon and Productivity in Fruit Tree Orchards.” *Land Degradation & Development* 21 (2): 132–38. <https://doi.org/10.1002/ldr.917>.

- Montanaro, Giuseppe, Angelo C. Tuzio, Evangelos Xylogiannis, Antonis Kolimenakis, and Bartolomeo Dichio. 2016. "Carbon Budget in a Mediterranean Peach Orchard under Different Management Practices." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 238: 104–13. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.031>.
- Montanaro, Giuseppe, Cristos Xiloyannis, Vitale Nuzzo, and Bartolomeo Dichio. 2017. "Orchard Management, Soil Organic Carbon and Ecosystem Services in Mediterranean Fruit Tree Crops." *Scientia Horticulturae* 217 (March): 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.012>.
- Morande, Jorge Andres, Christine M. Stockert, Garrett C. Liles, John N. Williams, David R. Smart, and Joshua H. Viers. 2017. "From Berries to Blocks: Carbon Stock Quantification of a California Vineyard." *Carbon Balance and Management* 12 (February): 5. <https://doi.org/10.1186/s13021-017-0071-3>.
- Nardino, M., F. Pernice, F. Rossi, T. Georgiadis, O. Facini, A. Motisi, and A. Drago. 2013. "Annual and Monthly Carbon Balance in an Intensively Managed Mediterranean Olive Orchard." *Photosynthetica* 51 (1): 63–74. <https://doi.org/10.1007/s11099-012-0079-6>.
- Panzacchi, Pietro, Giustino Tonon, Christian Ceccon, Francesca Scandellari, Maurizio Ventura, Marco Zibordi, and Massimo Tagliavini. 2012. "Belowground Carbon Allocation and Net Primary and Ecosystem Productivities in Apple Trees (*Malus Domestica*) as Affected by Soil Water Availability." *Plant and Soil* 360 (1–2): 229–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1235-2>.
- Pellerin, Sylvain, Laure Barrière, Isabelle Savini, Lénaïc Pardon, and Philippe Chemineau. n.d. "Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ?," 96.
- Rosemary, Anthony. 2013. "Carbon Storage in Orchard." Bangor: School of Environment, Natural Resources and Geography Bangor University.
- Roux, Philippe, Colin Miriam, Loiseau Eléonore, Dominique Grasselly, and A. Alaphilippe. 2018. "Sustain'apple: l'Analyse du Cycle de Vie comparée de circuits de commercialisation de la pomme." presented at the Journée de restitution Inra Paris, Paris, November 31.
- Scandellari, F., G. Liguori, G. Caruso, F. Meggio, P. Inglese, R. Gucci, A. Pitacco, G. Celano, and M. Tagliavini. 2017a. "Carbon Sequestration Potential of Italian Orchards and Vineyards." *Acta Horticulturae*, no. 1177: 145–50. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1177.19>.
- Scandellari, Francesca, G. Liguori, F. Meggio, M. Palese Assunta, D. Zanotelli, G. Celano, R. Gucci, et al. 2016. "A Survey of Carbon Sequestration Potential of Orchards and Vineyards in Italy." *European Journal of Horticultural Science* 81 (2): 106–14. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2016/81.2.4>.
- Špulerová, Jana, Veronika Piscová, Katarína Gerhátová, Andrej Bača, Henrik Kalivoda, and Róbert Kanka. 2015. "Orchards as Traces of Traditional Agricultural Landscape in Slovakia." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 199: 67–76.
- Stockmann, Uta, Mark A. Adams, John W. Crawford, Damien J. Field, Nilusha Henakaarchchi, Meaghan Jenkins, Budiman Minasny, et al. 2013. "The Knowns, Known Unknowns and Unknowns of Sequestration of Soil Organic Carbon." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 164: 80–99. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>.
- Tailleur, A., Benoist, A., Bessou, C., Gac, A., Godard, C., de Lacour, L., 2018. 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? ADEME.

Tozzini, L., A.N. Lakso, and J.A. Flore. 2015. "ESTIMATING THE CARBON FOOTPRINT OF MICHIGAN APPLE AND CHERRY TREES - LIFETIME DRY MATTER ACCUMULATION." *Acta Horticulturae*, no. 1068: 85–90. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1068.9>.

Wu, Ting, Yi Wang, Changjiang Yu, Rawee Chiarawipa, Xinzhong Zhang, Zhenhai Han, and Lianhai Wu. 2012. "Carbon Sequestration by Fruit Trees - Chinese Apple Orchards as an Example." Edited by Carl J. Bernacchi. *PLoS ONE* 7 (6): e38883. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038883>.

XX 2017b. "Carbon Sequestration Potential of Italian Orchards and Vineyards." *Acta Horticulturae*, no. 1177: 145–50. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1177.19>.

XX. 2002b. "Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?" . . *L*, 36.

XX. 2010b. "Effects of Soil-Protecting Agricultural Practices on Soil Organic Carbon and Productivity in Fruit Tree Orchards." *Land Degradation & Development* 21 (2): 132–38. <https://doi.org/10.1002/ldr.917>.

Composition du groupe de travail :

Dominique Grasselly, coordinateur (CTIFL), Françoise Lescourret, coordinatrice (INRA), Marie-Charlotte Bopp, cheffe de projet (CTIFL-INRA), Denis Bergère (AFIDEM), Emmanuel Demange (Interfel), Anne Guérin (IFPC), Pascale Guillermin (AgroCampusOuest Angers), Christian Hutin (CTIFL), François Laurens (INRA), Stéphanie Prat (FNPF), Natacha Sautereau (ITAB), Matthieu Serrurier (CTIFL), Pierre Varlet (ANPP), Sylvie Colleu (INRA).

Pour citer ce document :

M-C. Bopp, D. Grasselly, F. Lescourret, D. Bergère, E. Demange, A. Guérin, P. Guillermin, C. Hutin, F. Laurens, S. Prat, N. Sautereau, M. Serrurier, P. Varlet, S. Colleu. *Les services rendus par les cultures fruitières, Chapitre 4.4, Le service de régulation du climat*, 2019, CTIFL-INRA.

Synthèse et rapport disponibles sur : <https://www.gis-fruits.org/Groupes-thematiques/Approche-systeme/Rapport-Services-rendus-par-les-cultures-fruitieres>

DOI : <https://prodinra.inra.fr/record/483007>

Licence CC : BY NC ND