



Vers l'interopérabilité des bases de données
pour être plus FAIR

**Règles de bonnes pratiques pour décrire les données
contenues dans les bases de données sur le carbone du sol
du Cirad, d'INRAE et de l'IRD et les renseigner de manière
homogène**

2022

Kenji Fujisaki, Tiphaine Chevallier, Antonio Bispo, Jean-Baptiste Laurent,
François Thévenin, Lydie Chapuis-Lardy, Rémi Cardinael, Christine Le Bas,
Vincent Freycon, Fabrice Bénédet, Marie Tella, Julien Demenois



N° ANR-19-DATA-0005-01



Rapport T1.1, T1.2 et T1.3

Cette première partie du projet avait comme objectif spécifique (OS1) de définir des règles de bonnes pratiques pour décrire les données contenues dans les bases de données sur le carbone du sol et les renseigner de manière homogène. Elle était décomposée selon les 3 tâches suivantes :

- 1.1. Identifier les variables nécessaires permettant de répondre aux priorités scientifiques de l'Initiative 4 pour 1000, en se focalisant sur la détermination des stocks de carbone du sol et l'évolution des stocks de carbone du sol sous l'effet des pratiques agricoles et/ou forestières;
- T2.1. Choisir des définitions communes pour chacune de ces variables, quantitatives et qualitatives, en s'appuyant notamment sur des normes internationales et divers thésaurus ;
- T1.3. Définir des règles communes pour renseigner les variables quantitatives et qualitatives, notamment en ce qui concerne les pratiques agricoles et forestières.

1. Identifier les variables nécessaires permettant de répondre aux priorités scientifiques de l'Initiative 4 pour 1000 (T1.1)

L'objectif est donc de recenser les variables environnementales ayant une influence sur le stockage de carbone organique dans les sols. Trois cas de figure sont ici considérés : les variables influençant i) les stocks de carbone organique du sol (COS) ; ii) les variations de stocks ou teneurs en carbone du sol observées suite à des changements de mode d'usage ou de mode de gestion des sols, et iii) les variations de stocks ou teneurs en carbone du sol provoquées par les changements globaux. Pour chaque variable sont proposés des exemples de références bibliographiques ayant étudié la variable, ainsi que des commentaires sur l'effet de la variable sur le stockage de COS (voir paragraphes a, b et c).

L'effet de ces variables environnementales sur les stocks de COS est dépendant de l'échelle spatiale d'observation (Figure 1). Aux échelles fines, de la particule de sol à la parcelle, les propriétés physico-chimiques des sols, leur granulométrie et l'activité des microorganismes et de la faune vont être les facteurs déterminants des stocks de COS et de leur dynamique. Aux échelles globales, le climat et la végétation sont les déterminants majeurs des stocks de COS.



Figure 1 : Importance selon l'échelle spatiale des déterminants du stockage de COS (Wiesmeier et al., 2019)

a. Inventaire des covariables influençant les stocks de carbone organique des sols (COS)

Catégorie	Covariable	Références (non exhaustif)	Commentaire
Calcul stock de COS	Teneur en carbone organique du sol (COS)		
	Massé volumique ou densité apparente du sol		
	Teneur massique en éléments grossiers (> 2 mm)	(Hobley et al., 2018; Poeplau et al., 2017) (Rial et al., 2017)	Débat sur la façon de prendre en compte les éléments grossiers lors du calcul de stock de COS La proportion d'éléments grossiers est également un déterminant des stocks de COS (ici en Europe) : les sols évolués, peu soumis à l'érosion et pauvres en éléments grossiers peuvent présenter des stocks de COS importants
Propriétés chimiques du sol	Azote total	(van Groenigen et al., 2017) (Stahl et al., 2016)	Stockage nécessaire d'azote lorsque du carbone organique est stocké dans les sols : l'azote pourrait être un facteur limitant la séquestration de COS Stockage de COS expliqué dans les prairies par le stockage de N Variable nécessaire pour calculer le rapport C:N qui est une covariable déterminant le stockage de COS (voir plus bas)
	Rapport C :N	(Hashimoto et al., 2017)	Corrélation positive avec les stocks de COS
	Phosphore	(Hou et al., 2014)	P organique corrélé aux teneurs en COS Relations également positives entre P inorganique soluble, et P organique lié au fer et à l'Al avec les teneurs en COS

	pH	(Rial et al., 2017; van Noordwijk et al., 1997)	Stocks de COS élevés associées à des pH faibles (Europe et sols tropicaux sous forêt) Plusieurs méthodes d'analyses possibles : sol mis en suspension dans l'eau ou dans une solution de KCl ou CaCl ₂ . Le pH KCl est plus stable dans le temps que le pH eau ; le pH CaCl ₂ est peu analysé en France, manque de référentiels
	Capacité d'échange cationique (CEC)	(Chaplot et al., 2010)	Corrélation positive entre CEC et teneurs en COS (sols du Laos)
	Taux de saturation (S/T)	(Lutter et al., 2019) (Doetterl et al., 2015)	Corrélation positive avec teneurs en COS en sols forestiers
	Réserve en cations basiques (Total reserve in base cations, TRB)	(Doetterl et al., 2015)	Corrélation négative avec teneurs en COS
	Calcium échangeable	(O'Brien et al., 2015; Rasmussen et al., 2018; Rowley et al., 2018)	Contribue à la stabilisation du COS dans les sols
	Fer total	(Doetterl et al., 2015)	Corrélation négative avec les teneurs en COS (gradient géochimique et climatique au Chili)
	Fer libre	(Rasmussen et al., 2018)	Corrélation positive avec les teneurs en COS plus ou moins importante selon le type de sol
	Fer amorphe	(Chevallier et al., 2019; Rasmussen et al., 2018)	Corrélation positive avec teneurs en COS
	Fer complexé aux matières organiques	(Porras et al., 2017)	Corrélation positive avec teneurs en COS
	Aluminium total	(Doetterl et al., 2015)	Corrélation négative avec les teneurs en COS (gradient géochimique et climatique au Chili)
	Aluminium libre	(Barthès et al., 2008)	Relation forte avec le COS de la fraction <20 µm

Propriétés physiques du sol	Aluminium amorphe	(Rasmussen et al., 2018) (Barthès et al., 2008)	Corrélation positive avec teneurs en COS Relation avec les fractions >20 et <20 µm du COS
	Aluminium complexé aux matières organiques	(Chevallier et al., 2019) (Porras et al., 2017)	Corrélation positive avec teneurs en carbone
	Si total	(Doetterl et al., 2015)	Forte interaction entre climat et minéralogie du sol
	Mn total	(Doetterl et al., 2015)	Corrélation négative avec les teneurs en COS (gradient géochimique et climatique au Chili)
	Rapport Al/Si	(Doetterl et al., 2015)	Pas de corrélation avec les teneurs et stocks de COS
Propriétés physiques du sol	Teneur en argiles	(Hashimoto et al. 2017) & (Stahl et al., 2017) (Arrouays et al., 2006; Martin et al., 2011)	Corrélation positive avec stocks de COS. Déterminant majeur des stocks de COS en France.
	Teneur en argile et limon (<50 µm)	(Zinn et al., 2018)	Corrélation positive avec teneurs en COS mais uniquement à des altitudes <1000 m (Brésil)
	Teneur en argile et limon fin (20 µm)	(Chen et al., 2019; Feng et al., 2013; Hassink, 1997) (Zinn et al., 2005)	Permet de calculer le potentiel de stabilisation du COS Et corrélation positive avec les teneurs totales de COS
	Classe texturale	(Callesen et al., 2003)	La classe texturale des sols influence la relation entre les stocks de COS et les variables climatiques (sols nordiques sous forêt)
	Teneur en eau volumétrique	(Kerr and Ochsner, 2020) (Meersmans et al., 2009)	Déterminant majeur des teneurs en COS (variables exprimées en cm ³ cm ⁻³) Effet négatif du drainage sur les stocks de COS des prairies en Belgique

Propriétés biologiques des sols	Abondance de lombrics	(Chenu et al., 2019) (Lavelle et al., 2020)	Effet opposé selon l'échelle temporelle : augmentation de la minéralisation de la matière organique mais stabilisation de la MO au sein des agrégats Ingénieurs du sol (dont les lombrics) forment les agrégats ce qui influence la stabilisation du carbone mais entraîne parfois une diminution des stocks de COS en raison des bioturbations importantes
	Macrofaune	(Jackson et al., 2017)	Les effets de la macrofaune sur le bilan net entre minéralisation et stabilisation du COS sont peu étudiés. Cependant certains taxons peuvent être associés à une stabilisation importante du COS (e.g. bousiers qui aèrent le sol et enfouissent la MO fraîche, rendant les sols plus fertiles et favorisant la productivité végétale)
	Communautés microbiennes et fongiques	(Jackson et al., 2017) (Averill et al., 2014) & (Soudzilovskaia et al., 2019) (Six et al., 2006)	Mycorhizes favorisent la stabilisation du COS Ectomycorhizes favorisent le stockage de COS comparé aux mycorhizes arbusculaires Les communautés dominées par les champignons favoriseraient le stockage de COS comparé aux communautés dominées par les bactéries mais les mécanismes impliqués restent à expliquer
Propriétés des sols	Minéralogie du sol	(Torn et al., 1997) (Chevallier et al. 2019) (Barré et al., 2014)	Relation forte entre les teneurs en carbone et la quantité de minéraux amorphes. Stocks de COS conditionnés par la minéralogie des sols volcaniques. Review critique sur l'effet de la minéralogie des phyllosilicates sur la stabilisation du COS. Effet difficile à isoler en raison des interactions avec d'autres variables La composition minéralogique du sol n'est pas toujours quantifiée dans les études sur les stocks de COS, les formes du Fe, Al, Si peuvent en revanche être mesurées et indiquer la composition minéralogique

	Type de sol	(Wiesmeier et al., 2012) (Wiesmeier et al., 2019)	Stocks de COS les plus importants observés dans les Histosols, Gleysols, et sols alluviaux (étude en Bavière) Le type de sol influence le stockage de COS mais n'est pas une variable indépendante car dépend des conditions topographiques, géochimiques, et climatiques.
	Matériau parental	(Chevallier et al., 2019; Grüneberg et al., 2014) (Grüneberg et al., 2014)	En contexte volcanique, le type et l'épaisseur du matériau parental (allophanique vs halloysitaire) En Allemagne, stocks de COS plus élevés pour les matériaux parentaux calcaires
Climat du sol	Température du sol	(Kerr and Ochsner, 2020)	Déterminant plus important que les variables clim t° et précipitations (pour les teneurs en COS)
Climat	Température annuelle moyenne	(Doetterl et al. 2015) (Manning et al., 2015)	Interactions avec facteurs géochimiques
	Précipitations annuelles	(Martin et al. 2011)	Corrélation positive avec stocks de COS
	Index d'aridité	(Rial et al. 2017)	En Europe, faibles stocks de COS associés à un index d'aridité faible (=régions sèches)
	MCF (monthly cloud fraction)	(Sanderman et al., 2017)	Déterminant des stocks de COS à l'échelle globale mais sens de l'effet non précisé
	Temp max (aout-nov)	(Sanderman et al., 2017)	Déterminant des stocks de COS à l'échelle globale mais sens de l'effet non précisé
	Snow probability	(Sanderman et al., 2017)	Déterminant des stocks de COS à l'échelle globale mais sens de l'effet non précisé
Topographie	Latitude	(Scharlemann et al., 2014)	Stocks de COS importants sous les hautes latitudes (forêts boréales)
	Altitude	(Ma and Chang, 2019) (Zinn et al., 2018)	L'altitude contrôle la température, contrôlant ainsi les stocks de COS (étude au Tibet)

		L'altitude contrôle l'effet d'autres covariables sur les stocks de COS. Aux altitudes élevées, la température est un déterminant plus important que les teneurs en argiles et limons.
Pente	(Fissore et al., 2017)	Pentes modérées et formes concaves favorisent l'accumulation de SOC
CTI (compound topographic index)	(Ceddia et al., 2015)	Corrélation négative avec les stocks de COS sur 0-100 cm (Amazonie brésilienne)
Wetland ratio	(Hashimoto et al. 2017)	Corrélation positive avec les stocks de COS
TWI (Topographix Wetness Index)	(Sandermann et al. 2017)	Déterminant des stocks de COS à l'échelle globale mais sens de l'effet non précisé
usage/occupation	Productivité primaire nette (NPP, Net Primary Production)	<p>(Hashimoto et al. 2017) (Martin et al., 2011)</p> <p>Déterminant important des modèles ESM mais la NPP n'est pas identifié comme un déterminant en analysant les données d'observation</p> <p>Importance modeste dans la prédition des stocks de COS sur les sites RMQS, mais probablement liée à une inadéquation entre la résolution spatiale de la NPP utilisée (données MODIS) et la localisation des sites</p>
	Human appropriation of NPP poucentage (HANPP)	<p>(Hashimoto et al. 2017) (Lal, 2010, p. 201)</p> <p>Peu d'effet sur les stocks mais possiblement lié à des incompatibilités d'échelles dans les données sources.</p> <p>HANPP en partie due aux changements d'usage des sols qui entraînent des variations de stocks de COS</p>
	Biomasse aérienne	<p>(Mahmoudabadi et al., 2017) (ndvi), (Schillaci et al., 2017) (panchromatic band of Landsat ETM + 7), (Forkuor et al., 2017) (NIR et MIR de Landsat)</p> <p>Utilisation de la réflectance d'images satellite comme proxies de la caractérisation du couvert végétal et donc du carbone du sol. Concerne la plupart du temps la prédition des teneurs en carbone organique</p>
	Usage	(Hashimoto et al. 2017, Sandermann et al. 2017)
Nombreuses sources montrant l'effet du mode d'usage sur les stocks de COS		

	Usage passé historique	(Mayer et al., 2019)	Stocks de COS plus élevés dans les sols ayant connu un usage prairial (cas des sols cultivés en Bavière)
	Diversité floristique	(Chen et al., 2020)	Méta-analyse mondiale : effet positif ("mixture treatment" vs monoculture)
	Intensité de l'érosion	(Rial et al. 2017)	L'érosion d'origine naturelle ou anthropique rajeunit les sols et entrave le développement de la végétation, ce qui peut être associé à de faibles stocks de COS En lien également avec la proportion d'éléments grossiers (voir plus haut)

b. Inventaire des covariables influençant les variations de stocks de COS suite à des changements d'usage (LUC) ou de modes de gestion des sols

Catégorie	Variable	LUC / gestion	Références	Commentaire
Propriétés physiques des sols	Texture	Gestion	(Bai et al., 2019)	Interaction avec l'effet des pratiques de type « climate smart agriculture »
	Teneur en argile	LUC et Gestion	(Don et al., 2011; Fujisaki et al., 2018) (Laganière et al., 2010) (Fontaine et al., 2018; Stahl et al., 2017)	Pas d'effet Effet positif de la teneur en argile dans le cas de l'afforestation Lien possible entre la lixiviation des particules fines dans les horizons profonds et le stockage de COS
	Teneur en argile et limon fin			Effet non étudié car très rarement disponible pour les études sur les stocks de COS
Propriétés des sols	Type d'argile	LUC	(Powers et al., 2011)	Classes : low activity clays, high activity clays, allophanes
	Type de sol	Gestion LUC	(Fujisaki et al., 2018) (Wiesmeier et al., 2015)	Pas d'effet (sols cultivés tropicaux) Effet des LUC sur les stocks de COS différent selon le type de sol (étude en Bavière)
	Stock ou teneur en COS initial ou contrôle	LUC et gestion	(Francaviglia et al., 2019) (Luo et al., 2017)	Effet négatif dans les cultures annuelle et pérennes du bassin méditerranéen Effet négatif en Australie

			(Corbeels et al., 2019; Fujisaki et al., 2018) (Stahl et al., 2017)	Pas d'effet observé (changements de pratiques en cultures annuelles tropicales) Pas d'effet observé (LUC forêts-prairies en Guyane)
Propriétés chimiques du sol	pH	Gestion	(Bai et al., 2019)	pH élevés associés à de plus importantes augmentations des teneurs en C pour des pratiques CSA ; effet le plus marqué pour l'application de biochar
	Fer amorphe	Gestion	(Vreken et al., 2016) (Huang et al., 2017; Wen et al., 2019)	Fe et Al amorphe contenus dans la fraction fine <20 µm corrélé aux teneurs en COS de la fraction fine. Boucle de rétroaction positive entre amendements organiques et teneurs en Fe amorphe (extrait à l'oxalate), qui favorise le stockage de COS, en particulier dans les rizières
	Aluminium amorphe	Gestion	(Vreken et al., 2016)	Favorise la formation de complexes organo-minéraux qui favorise la séquestration de COS dans les sols cultivés (Belgique)
	Stoechiométrie C :N :P	Gestion	(Bertrand et al., 2019)	La disponibilité en N et P contraint fortement la séquestration de COS via la modification des pratiques de gestion, d'où l'importance du recyclage des nutriment
	C :N	LUC	(Stahl et al., 2016)	Stockage de COS dans les prairies suite à la déforestation expliqué par le rapport C :N
Propriétés biologiques du sol	Biomasse microbienne	Gestion	(Lange et al., 2015)	Biomasse microbienne évolue conjointement avec teneurs en COS sous l'effet de la modification de la richesse spécifique de prairies en Allemagne
	Diversité microbienne	LUC	(Yang et al., 2019)	Relation positive entre diversité microbienne et stockage de COS, dans le cas de restauration végétale en Chine

	Abondance lombrics	Gestion	(Dignac et al., 2017)	Effets variables et indirects Voir également plus haut l'effet sur les stocks de COS
Climat	Température annuelle moyenne	LUC et gestion	(Bai et al. 2019) (Luo et al. 2017) (Marín-Spiotta and Sharma, 2013)	Effet négatif dans le cas de l'apport de biochar Effet important du climat Variable majeure dans le cas de la reforestation ou afforestation dans les tropiques
	Précipitations annuelles	LUC et gestion	(Francavaglia et al. 2019)	Effet positif dans les cultures annuelles et du bassin méditerranéen
	Bilan hydrique (mm/an)	Gestion	(Dimassi et al., 2014)	Effet sur la dynamique du COS dans le cas de la suppression du labour
	Indice d'aridité	Gestion	(Bai et al. 2019)	Augmentation des teneurs plus élevés pour les zones arides mais effet peu marqué (pratiques 'climate smart agriculture')
	Exposition des pentes	Gestion	(Lenka et al., 2013)	Stocks de COS plus élevés dans les pentes exposées nord
	Saison	Gestion	(Assouma et al., 2019)	Les précipitations durant la mousson expliquent principalement le bilan GES en zone pastorale sahélienne
Pratiques de gestion en cultures annuelles	Modification des rotations	Gestion	(Fujisaki et al., 2018)	Augmentation des stocks de COS
	Insertion de prairies temporaires dans les grandes cultures	Gestion	(Pellerin et al., 2019)	Augmentation importante des stocks de COS
	Cultures intermédiaires ou couverts d'interculture	Gestion	(Poeplau and Don, 2015)	Effet positif
	Réduction du travail du sol	Gestion	(Bai et al. 2019) (Dimassi et al. 2014)	Effet positif mais uniquement dans la couche 0-10 cm Pas d'effet significatif de l'absence de travail du sol

			(Powlson et al., 2014)(Haddaway et al., 2017)	Effet positif pour la couche 0-30 cm mais nul sur l'ensemble du profil
Travail du sol profond par retournement	Gestion	(Alcántara et al., 2016) (Schiedung et al., 2019)	Augmentation des stocks de COS, travail du sol jusqu'à 55-90 cm Augmentation des stocks de COS, prairies néo-zélandaises	
Retour au sol des résidus de culture	Gestion	(Powlson et al., 2008) (Li et al., 2018) (Liu et al., 2014)	Pas forcément de séquestration nette de COS Effet positif sur les stocks de COS Effet positif sur les teneurs en COS, mais dans le cas des rizières, augmentation des émissions de GES	
Fertilisation minérale	Gestion	(Francavaglia et al. 2019) & (Jian et al., 2016)	Effet positif	
Fertilisation organique	Gestion	(Francavaglia et al. 2019) & (Li et al., 2018)	Effet positif Mais l'augmentation des stocks de COS n'est pas synonyme de séquestration nette de COS, voir le commentaire plus bas sur l'agriculture biologique	
Engrais microbiologiques	Gestion	(Dębska et al., 2016)	Effet positif mais peu d'études à part celle-ci et composition non détaillée	
Quantités annuelles de carbone retournées au sol	Gestion	(Fujisaki et al., 2018; Virto et al., 2012)	Relation forte et positive entre apports de carbone au sol et stockage de carbone ; Le compartiment aérien est souvent mesuré, mais rarement la composante souterraine	
Chaulage	Gestion	(Paradelo et al., 2015)	Effet positif via augmentation des apports de C	
Irrigation	Gestion	(Bai et al., 2019; Trost et al., 2013)	Interaction avec climat et teneur initiale en COS	

		(Zhou et al., 2016)	Effet légèrement positif sur le stockage de COS, due à une augmentation des entrées de C
Drainage	Gestion	(Nishimura et al., 2008)	Pertes de COS suite au drainage de rizières et culture de riz pluvial ou rotation blé/soja.
Pratiques rizicoles	Gestion	(Livsey et al., 2019) (Wu et al., 2018)	Les pratiques d'irrigation rizicoles économies en eau telles que le drainage à la mi saison et l'inondation intermittente des rizières conduisent à une diminution des stocks de COS, malgré une légère diminution des émissions de GES dues à la diminution des émissions de méthane. Cela constitue cependant un champ de recherche peu exploré selon eux. Diminution de l'intensité d'inondation des rizières associée à une diminution des émissions de GES
Apport d'argile ("claying")	Gestion	(Grover et al., 2020)	Diminution des émissions de CO ₂ du sol et des résidus et du priming
Biochar	Gestion	(Bai et al. 2019)	Effet positif sur les teneurs en C
Agriculture biologique (AB)	Gestion	(Gattinger et al., 2012) (Leifeld et al., 2013)	Effet positif mais controversé : Comparaison non pertinente entre systèmes recevant des quantités différentes d'amendements organiques, et l'apport de fertilisation organique peut faire augmenter les stocks de COS mais n'est synonyme de séquestration nette de C (transfert de C d'un compartiment à un autre plutôt que puit net de CO ₂ atmosphérique)

	Agriculture de conservation (CA) (Combinaison de la réduction du travail du sol, retour au sol des résidus de culture, et modification des rotations culturales)	Gestion	(Corbeels et al., 2019) (Govaerts et al., 2009) (Cheesman et al., 2016)	Augmentation des stocks de COS en Afrique subsaharienne mais uniquement si les 3 principes sont appliqués Effet positif peu évident et questionable. Les bénéfices de la CA concernent en premier lieu la productivité végétale plutôt que la séquestration de COS Peu d'effet en raison des très faibles apports de carbone au sol (sud de l'Afrique)
Pratiques de gestion en forêts et plantations forestières	Structure du peuplement - âge "stand age"	Gestion	(Jonard et al., 2017) (Marín-Spiotta and Sharma, 2013)	Effet négatif (forêts métropolitaines, réseau RENECOFOR) L'âge des forêts et plantations tropicales a peu d'effet sur les stocks de C dans le cas de l'afforestation chez
	Conduite du peuplement - structure	Gestion et LUC	(Jonard et al., 2017) (Laganière et al. 2010) (Mayer et al., 2020)	Effet positif des plantations avec des arbres d'âges non homogènes Effet non significatif de la densité de peuplement Effets contrastés
	Usage et modes de gestion passés	Gestion	(Wäldchen et al., 2013)	Effet non détectable
	Diversification des espèces	Gestion	(Dawud et al., 2017)	Effet positif mais modeste, moins efficace que la sélection des essences forestières
	Eclaircie (thinning)	Gestion	(Zhang et al., 2018)	Pas d'effet (méta-analyse mondiale)
	Sélection des essences forestières	Gestion	(Lorenz and Thiele-Bruhn, 2019)	Conifères stockent plus de COS que feuillus - sites afforesté allemand
	Gestion des feux	Gestion	(Mayer et al., 2020; Nave et al., 2011)	Réduction des stocks de C de la litière suite aux feux naturels ou contrôlés ; pas d'impact sur le C du sol d'après Nave et al.

				2011. Incertitudes dans les tropiques où les changements globaux pourraient faire augmenter la fréquence des feux
	Export de litière et biomasse	Gestion	(Mayer et al., 2020)	Diminution significative des stocks de COS
	Régulation des herbivores	Gestion	(Mayer et al., 2020)	Augmentation des stocks de C avec exclusion des ongulés
	Espèces fixatrices d'azote	Gestion	(Mayer et al., 2020; Nave et al., 2009)	Augmentation des stocks de COS
	Fertilisation azotée	Gestion	(Mayer et al., 2020)	Augmentation significative du stockage de COS : +12 %
	Travail du sol lié à la préparation des sites	Gestion	(Mayer et al., 2020)	Diminution significative des stocks de COS, grande sensibilité des sols sableux
	Export des résidus forestiers post-récolte	Gestion	(Mayer et al., 2020)	Résultats contradictoires dans les méta-analyses : réduction des stocks de COS ou pas d'effet
	Coup et export des arbres	Gestion	(Mayer et al., 2020; Nave et al., 2010)	Réduction de 8% du stock de COS total
Pratiques de gestion en prairies	Nombre d'espèces de plantes, plant species richness	Gestion	(Lange et al., 2015; Yang et al., 2019)	Diversité des plantes associées à une augmentation des taux de stockage de COS
	Contrôle du pâturage	Gestion	(Batjes, 2019; Conant et al., 2017) (Stahl et al., 2017)	Peu de détails dans ces articles Prairies sans surpâturage en Amazonie : stockage important de COS
	Contrôle des taux de chargement	Gestion	(Batjes et al. 2019) (Stahl et al., 2017)	Effet peu détaillé Effet positif, compromis à trouver
	Introduction de légumineuses	Gestion	(Stahl et al., 2017, 2016)	Augmentation de l'apport de N au sol qui favorise la production microbienne et la stabilisation du COS
	Gestion des feux	Gestion	(Batjes, 2019; Conant et al., 2017) (Stahl et al., 2017)	Peu de détails dans ces articles

				Absence de feux de nettoyage associée à une augmentation des stocks de COS en Amazonie
	Fertilisation	Gestion	(Fornara et al., 2020) (Stahl et al., 2017)	Effet positif mais limité à la surface du sol, et réponse faible, uniquement avec de très fortes doses de fertilisants (en UK) Effet positif
	'Mobility of pastoral herds'	Gestion	(Assouma et al., 2019)	Interaction avec la saison : apports de C par les pratiques pastorales durant la saison sèche
Agroforesterie	Densité d'arbres	Gestion	(Corbeels et al. 2018)	Pas d'effet
	Alley cropping	Gestion	(Cardinael et al., 2018)	Classification des systèmes agroforestiers pour coefficient tier 1 IPCC
	Fallows	Gestion	(Cardinael et al., 2018)	Classification des systèmes agroforestiers pour coefficient tier 1 IPCC
	Hedgerows	Gestion	(Cardinael et al., 2018)	Classification des systèmes agroforestiers pour coefficient tier 1 IPCC
	Multistrata	Gestion	(Cardinael et al., 2018)	Classification des systèmes agroforestiers pour coefficient tier 1 IPCC
	Parklands	Gestion	(Cardinael et al., 2018)	Classification des systèmes agroforestiers pour coefficient tier 1 IPCC
	Shaded perennial crop	Gestion	(Cardinael et al., 2018)	Classification des systèmes agroforestiers pour coefficient tier 1 IPCC
	Silvoarable system	Gestion	(Cardinael et al., 2018)	Classification des systèmes agroforestiers pour coefficient tier 1 IPCC

	Silvopastoral systems	Gestion	(Cardinael et al., 2018)	Classification des systèmes agroforestiers pour coefficient tier 1 IPCC
Crop traits	Teneurs en N des feuilles	Gestion	(García-Palacios et al., 2018)	Etude agriculture biologique vs conventionnelle. Les apports massifs de fertilisants minéraux en système conventionnel entraînent d'importantes concentrations de N dans les feuilles, accélérant la décomposition des résidus et les pertes de carbone, comparé aux systèmes avec fertilisation organique
	Teneur en N des racines	Gestion	(García-Palacios et al., 2018)	Systèmes en AB
	Sélection variétale	Gestion	(Broek et al., 2020) (Dimassi et al., 2014)	Les cultivars à haut rendements transfèreraient moins de carbone racinaire dans le sol que les cultivars anciens Amélioration variétale : permet d'augmenter la quantité de biomasse retournée au sol, mais effet difficile à isoler car en concordance avec l'irrigation, le recours aux engrangements minéraux, et le recours aux pesticides et herbicides
Usage des terres	« Biophysical land degradation index »	LUC	(Sanderman et al., 2017)	Indicateur pertinent des pertes de SOC suite à des changements d'usage
	Dégénération des sols	LUC	(Batjes, 2019)	"In GLASOD, soil degradation classes are expressed in terms of declining agricultural productivity, biotic functions, and restoration costs"
	Usage historique	Gestion et LUC	(Jones et al., 2016; Smith, 2014)	L'usage du sol précédent la mise en place d'un mode de gestion stockant du carbone peut avoir des effets de très long terme sur la dynamique des stocks de carbone observée.
Conception de l'étude	Âge des pratiques de gestion ou du changement d'usage	LUC et gestion	(Fujisaki et al., 2018; Ledo et al., 2020) (Stahl et al., 2017)	Augmentation plus importante des stocks de carbone lorsque les pratiques stockant du carbone viennent d'être implantées Stockage de COS augmentant avec l'âge des prairies en Guyane

Profondeur d'échantillonnage	LUC et gestion	(Angers and Eriksen-Hamel, 2008; Mary et al., 2020) (Stahl et al., 2016)	Effet sur les variations reportées de stocks de carbone pour l'évaluation des systèmes sans travail du sol (voir également plus haut) Stockage important de COS dans les couches profondes du sol des prairies amazoniennes	
Expression des stocks de COS à masse ou profondeur fixe	LUC et gestion	(Haden et al., 2020)	Expression des stocks de COS à masse équivalente plutôt qu'à profondeur fixe associée à une réduction des incertitudes	
Protocole d'échantillonnage	LUC et gestion	(Heim et al., 2009) (Page-Dumroese et al., 1999)	Amélioration de la limite de détection de la variation des stocks de carbone entre deux inventaires, en utilisant une approche par site appariés plutôt que des campagnes d'échantillonnage indépendantes entre les deux inventaires Les valeurs de densité apparente et de proportions d'éléments grossiers sont également dépendantes de la méthode d'échantillonnage employée	

c. Variables influençant les variations de stocks de carbone des sols sous l'effet des changements globaux

Catégorie	Variable	Référence	Commentaire
Intrants	Fertilisation azotée	(Crowther et al., 2019)	Expe de fertilisation en N, P, K de prairies
	Dépôts azotés	(Hyvönen et al., 2008) (Averill et al., 2018)	Forêts US, croisement de données sol, dépôts azotés, climat, distinction mycorhizes arbusculaires vs ectomycorhizes, ces dernières favoriseraient le stockage de COS
Concentration atmosphérique de CO ₂		(Graaff et al., 2006) (van Groenigen et al., 2017)	L'augmentation de la concentration de CO ₂ peut entraîner une augmentation des stocks de COS sous l'effet de l'augmentation de la production végétale, mais uniquement s'il y a une fertilisation azotée L'élévation de la concentration en CO ₂ peut augmenter la fixation de N ₂ atmosphérique, mais ce processus est limité par la disponibilité en P
Climat	Température	(Hamdi et al., 2013)	Synthèse de l'impact de la température sur le Q10 en conditions contrôlées
		(Meersmans et al., 2016)	Modélisation en France selon projections climatiques : prédition de la diminution des stocks de COS sous l'effet de l'augmentation des températures et des sécheresses.
	Humidité du sol	Moyano et al., 2013 (Assouma et al., 2019)	Review de la littérature Bilan C dépendant des futures fluctuations d'humidité du sol
	Précipitations	(Meersmans et al., 2016)	Modélisation en France selon projections climatiques
	Sécheresse	(Zhou et al., 2016) (Canarini et al., 2017)	Effet positif sur les stocks de COS, en raison de la diminution de la respiration du sol

			Effet négatif des épisodes de sécheresse sur la respiration du sol dans le cas des sols riches en COS (> 2%), en raison de la quantité de substrat disponible et d'un changement de communautés microbiennes
Végétation	Assemblages de végétation	(Cagnarini et al., 2019)	"knowledge gap" : Changements globaux du climat ou de l'utilisation des terres, ainsi que la pollution atmosphérique peuvent modifier les assemblages végétaux et donc les apports de C au sol : quel impact sur la dynamique du COS ?
Organismes du sol	Carbon Use Efficiency	(Zhang et al., 2014)	Le ratio carbon use efficiency (NPP/GPP) est réduit par l'augmentation des températures et la diminution des précipitations.
Structure du sol		(Cagnarini et al., 2019)	« knowledge gap » : les changements climatiques pourraient induire des modifications de la structure des sols, qui moduleraient la minéralisation de la MO

2. Choisir des définitions communes pour chacune de ces variables, quantitatives et qualitatives, en s'appuyant notamment sur des normes internationales et divers thésaurus

Il s'agissait dans un premier temps de recenser, sinon de proposer des catégorisations et définitions des modes d'occupation du sol (land cover) et d'utilisation des sols (land use), issus de différents standards internationaux.

a. Classifications et définitions des modes d'occupation des sols (land cover)

Afin de réaliser cet inventaire des définitions et des catégories, les sources suivantes ont été consultées :

- LUCAS : Land Use/Cover Area frame Survey : à l'initiative de l'Union Européenne, programme d'inventaire de l'occupation et l'utilisation des sols pour fournir des statistiques harmonisées et comparables entre les pays de l'UE. Cet inventaire est réalisé à partir d'observations de terrain.
lien : https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/LUCAS_-_Land_use_and_land_cover_survey#How_is_LUCAS_conducted.3F
Document « technical guidelines », 2015 : [Lien vers le fichier](#)
- LCCS : Land Cover Classification System : développé par la FAO afin de fournir un cadre cohérent pour la classification et la cartographie de l'occupation du sol. Ses principaux objectifs étaient de surmonter la rigidité des classifications à priori de l'occupation du sol, qui, dans de nombreuses situations pratiques, ne permettent pas une affectation facile à l'une des classes prédéfinies et ne sont donc pas très adaptées à la cartographie."
Lien : <http://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1036361/>
Manuel version HTML (2000) : <http://www.fao.org/3/x0596e/x0596e00.htm>
- SEEA : System of Environmental-Economic Accounting: cadre pour la fourniture à l'échelle mondiale de statistiques sur l'environnement et l'économie. Les classes de land cover ont été alignées avec le système LCSS (FAO)
Lien : <https://seea.un.org/>
Rapport SEEA – Central Framework, 2012 : [Lien vers le fichier](#)
- International Geosphere–Biosphere Programme (IGBP): cartographie de l'occupation des sols à l'aide de CERES (Clouds and Earth's Radian Energy System)
Lien : <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/ceres-igbp-land-classification>
- CLC : Corine Land Cover : Inventaire de l'occupation des sols en Europe à partir d'images satellites, pour les surfaces > 25 ha. 44 classes d'occupation des sols
<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
Nomenclature illustrée des classes d'occupation du sol : [Lien vers le fichier](#)

Ces différents documents ont été analysés et il a été décidé collectivement de retenir pour la suite les classifications et nomenclatures proposées par SEEA (2012) pour les raisons suivantes :

- Couverture géographique mondiale
- Facilité d'utilisation
- Faible niveau de complexité
- Préférence pour une démarche ascendante partant de l'observation de terrain
- Soutien possible de la FAO sur ce système donc potentiel appui au Sud.

C'est donc ces dernières que nous détaillerons mais les autres sont présentées en Annexe 1.

i. Introduction SEEA (2012)

L'occupation des sols est désignée comme **la couverture physique et biologique observée de la surface de la Terre**. Elle englobe les surfaces végétales et abiotiques (non vivantes) naturelles. À son niveau le plus élémentaire, elle comprend tous les éléments qui recouvrent le territoire d'un pays. Aux fins des statistiques de l'occupation des sols, la zone du pays concernée ne comprend que les terres et les eaux intérieures. La zone des eaux côtières est exclue.

Le standard proposé par SEEA est aligné avec celui développé par la FAO (2009), utilisé pour enregistrer systématiquement les caractéristiques biophysiques de toutes les zones de terres d'un territoire donné. L'occupation des sols actuelle varie en fonction des changements naturels à l'œuvre dans l'environnement et de l'utilisation antérieure et actuelle des terres, en particulier dans les zones agricoles et forestières. Les caractéristiques de la végétation (comme le point de savoir si elle est naturelle ou cultivée) influencent l'occupation des sols à l'intérieur d'une zone, mais sans constituer des spécificités de l'occupation des sols. Une description claire et systématique des classes d'occupation des sols permet de comparer la classification de l'occupation des sols à celle des catégories d'utilisation des terres, tout en maintenant les critères spécifiques de l'occupation des sols. Le Système de classification de l'occupation du sol de la FAO fournit la base théorique de cette approche.

Le Système de classification de l'occupation du sol peut générer un nombre considérable d'éléments d'occupation des sols différents. Afin de normaliser et d'harmoniser des séries de données statistiques, une classification comprenant 14 classes a été élaborée (tableau). **Ces 14 classes constituent un ensemble complet de catégories d'occupation des sols, qui sont clairement délimitées à partir des définitions du Système de classification de l'occupation du sol, lesquelles s'excluent mutuellement et sont dépourvues d'ambiguïté.** Cette classification de l'occupation des sols peut être utilisée à différentes échelles, indépendamment de la méthode d'observation, ce qui permet d'établir une correspondance entre les cartes locales et régionales, d'une part, et les cartes continentales et mondiales, de l'autre, sans perte d'informations.

La classification de l'occupation des sols est complétée par un ensemble de règles de classement de base qui permet de convertir les séries de données nationales. Elles reflètent la structure logique du Système de classification de l'occupation du sol et déterminent, dans une première étape, l'objet principal (l'**« objet de base »**) à prendre en considération au moment d'effectuer une conversion de données. Les objets de base sont des éléments simples et intuitivement perceptibles de l'occupation des sols (arbres, arbustes, bâtiments, etc.). Les descriptions sont complétées par des informations sur les « propriétés » (hauteur, taux de couverture, etc.) et les « caractéristiques » (naturel, cultivé, etc.) des objets de base. Les descriptions détaillées des classes sont présentées dans l'annexe du document SEEA (2012).

Classification de l'occupation des sols

Catégories
1 Surfaces artificielles (y compris les zones urbaines et associées)
2 Cultures herbacées
3 Cultures ligneuses
4 Cultures multiples ou étagées
5 Prairies
6 Zones arborées
7 Mangroves
8 Zones couvertes d'arbustes
9 Végétation arbustive et/ou herbacée, aquatique ou régulièrement inondée
10 Zones de végétation naturelle clairsemée
11 Terres stériles
12 Neige permanente et glaciers
13 Étendues d'eau intérieures
14 Étendues d'eau côtières et zones intertidales

Tableau xx. Classification de l'occupation des sols

ii. Détail des différentes classes SEEA (2012)

1. Surfaces artificielles, y compris les zones urbaines et associées

Cette classe est composée de tout type de zones où prédominent les surfaces artificielles. Elle englobe tous les détails urbains ou connexes, comme les parcs urbains (parcs et pelouses). Elle comprend également les zones industrielles, les décharges et les sites d'extraction.

2. Cultures herbacées

Cette classe est composée d'une strate principale de plantes herbacées cultivées (graminoïdes ou plantes herbacées non graminées). Elle englobe les plantes herbacées utilisées pour le foin. Elle comprend également toutes les plantes non pérennes qui ne durent pas plus de deux saisons de culture et les plantes comme la canne à sucre, dans le cas desquelles la partie supérieure de la plante est régulièrement récoltée tandis que le système radiculaire peut demeurer pendant plus d'un an dans le champ.

3. Cultures ligneuses

Cette classe est composée d'une strate principale de cultures permanentes (arbres ou cultures arbustives) et englobe tous les types de vergers et de plantations (arbres fruitiers, plantations de caféiers et de théiers, palmiers à huile, plantations d'hévéas, arbres de Noël, etc.).

4. Cultures multiples ou étagées

Cette classe combine deux situations différentes du point de vue de l'occupation des sols :

- Deux strates de cultures différentes. On relève fréquemment la présence d'une strate de cultures ligneuses (arbres ou arbustes) et d'une autre strate faite d'une culture herbacée, par exemple des champs de blé

parsemés d'oliviers dans la zone méditerranéenne et une horticulture intensive ou une agriculture d'oasis ou côtière typique en Afrique, où les champs d'herbacées sont couverts par des palmiers.

- Présence d'une importante strate de végétation naturelle (principalement des arbres) qui couvre une strate de plantes cultivées. On en a un exemple caractéristique avec les plantations de cafiers croissant à l'ombre d'arbres naturels dans la zone équatoriale de l'Afrique.

5. Prairies

Cette classe comprend toutes zones géographiques dominées par des plantes herbacées naturelles (herbages, prairies, steppes et savanes) ayant atteint un couvert d'au moins 10 %, quelles que soient les activités humaines et/ou animales qui s'y déroulent, telles que le pacage ou la gestion sélective des incendies. Les plantes ligneuses (arbres et/ou arbustes) peuvent être présentes, dès lors que leur couvert est inférieur à 10 %.

6. Zones arborées

Cette classe comprend toutes zones géographiques dominées par des plantes arborées naturelles ayant atteint un couvert d'au moins 10 %. D'autres types de plantes (arbustes et/ou herbes) peuvent être présents, même si leur densité est supérieure à celle des arbres. Cette classe comprend également les zones plantées d'arbres aux fins de boisement et les plantations forestières, ainsi que les zones inondées de façon saisonnière ou permanente d'eau douce. Elle ne comprend pas les mangroves côtières (→07).

7. Mangroves

Cette classe comprend toutes zones géographiques dominées par une végétation ligneuse (arbres et/ou arbustes) ayant atteint un couvert d'au moins 10 % et inondée de façon permanente ou régulière d'eau salée et/ou saumâtre dans les régions côtières ou dans les deltas des fleuves.

8. Zones arbustives

Cette classe comprend toutes zones géographiques dominées par des arbustes naturels ayant atteint un couvert d'au moins 10 %. Les arbres peuvent être présents de façon dispersée si leur couvert est inférieur à 10 %. Les plantes herbacées peuvent également être présentes quelle que soit leur densité. Cette classe englobe les zones arbustives inondées de façon permanente ou régulière d'eau douce intérieure. Elle ne comprend pas les arbustes inondés d'eau salée ou saumâtre dans les régions côtières (→07).

9. Végétation arbustive et/ou herbacée, aquatique ou régulièrement inondée

Cette classe comprend toutes zones géographiques dominées par une végétation herbacée naturelle (couvert d'au moins 10 %) qui est inondée de façon permanente ou régulière d'eau douce ou saumâtre (marécages, marais, etc.). L'inondation doit durer au moins deux mois par an pour être considérée comme régulière. Une végétation ligneuse (arbres et/ou arbustes) peut être présente si son couvert est inférieur à 10 %.

10. Zones à végétation naturelle clairsemée

Cette classe comprend toutes zones géographiques où la végétation naturelle a atteint un couvert compris entre 2 % et 10 %. Elle englobe les zones inondées de façon permanente ou régulière.

11. Terres stériles

Cette classe comprend toutes zones géographiques dominées par des surfaces abiotiques naturelles (sol nu, sable, rochers, etc.) où la végétation naturelle est absente ou quasi absente (couvert inférieur à 2 %). Sont incluses les zones régulièrement inondées d'eau intérieure (rives de lacs, berges de cours d'eau, marais salants, etc.). Sont exclues les zones côtières affectées par le mouvement des masses d'eau salée lié aux marées (→14).

12. Neige permanente et glaciers

Cette classe comprend toutes zones géographiques recouvertes de neige ou de glaciers de façon persistante pendant au moins 10 mois.

13. Étendues d'eau intérieures

Cette classe comprend toutes zones géographiques couvertes pendant la plus grande partie de l'année par des étendues d'eau intérieures. Dans certains cas, l'eau peut être gelée pendant une partie de l'année (moins de 10 mois). L'étendue géographique des masses d'eau pouvant évoluer, il convient de fixer des limites en cohérence avec celles fixées par la classe 11, en fonction de la situation prédominante pendant l'année et/ou sur plusieurs années.

14. Étendues d'eaux côtières et zones intertidales

Cette classe est définie sur la base de détails géographiques en relation avec la mer (étendues d'eaux côtières, c'est-à-dire lagunes et estuaires) et de surfaces abiotiques marquées par une présence persistante de l'eau (zones intertidales, c'est-à-dire les estrans et les récifs coralliens).

b. Classifications et définitions des modes d'utilisation des sols (land use)

Comme pour les occupations du sol, il existe un ensemble de standards internationaux qui proposent des classifications et des définitions concernant les modes d'usage des sols. L'utilisation des sols concerne l'utilisation socioéconomique des sols (par exemple, pour l'agriculture, la sylviculture, à des fins récréatives ou résidentielles)¹ (voir également : <https://ec.europa.eu/eurostat/fr/web/lucas>)

Les sources suivantes ont été analysées pour proposer un choix :

- LUCAS : Deux sources de données sont possibles, soit le glossaire consultable sur le site web d'Eurostat, soit le guide technique LUCAS de 2015. Les définitions sont légèrement différentes entre ces deux sources ; du point de vue de la traçabilité il est préférable de se référer au guide technique de 2015, mais les définitions présentes sur le site web sont cependant un peu plus complètes. Une limite de ce dictionnaire est la faible exhaustivité des modes d'occupation spécifiques aux zones tropicales, en particulier pour les milieux faiblement anthropisés (forêts, savanes).

Guide technique LUCAS 2015 : [Lien vers le fichier](#)

Glossaire web : <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Category:Glossary>

- SEEA ou System of Environmental-Economic Accounting (2012) qui propose un cadre pour la comptabilité environnementale et économique. L'utilisation des terres correspond à la fois : a) aux activités entreprises; et b) aux arrangements institutionnels mis en place pour une zone déterminée aux fins de la production économique ou de la préservation et de la restauration des fonctions environnementales.

[Lien vers le fichier](#)

- WCA : world census of agriculture de 2020, rédigé par la FAO en 2016

Ce standard est aligné avec le SEEA de 2012, mais groupes de catégories et définitions très légèrement différentes

[Lien vers le fichier en français](#)

[Lien vers le fichier en anglais](#)

¹ Land use refers to the socioeconomic use that is made of land (for example, agriculture, commerce, residential use or recreation); at any one place, there may be multiple and alternative land uses. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=LUCAS_-_Land_use_and_land_cover_survey&oldid=409652

- IPCC 2006 : Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (chapter 3 : Consistent representation of lands) et IPCC 2000 : « The terms "land cover" and "land use" are often confused. Land cover² is "the observed physical and biological cover of the earth's land, as vegetation or man-made features." In contrast, land use is "the total of arrangements, activities, and inputs that people undertake in a certain land cover type" (FAO, 1997a; FAO/UNEP, 1999). National categories of land use differ, but many have been harmonized under the influence of FAO's periodical World Census of Agriculture (Table 2-1). Categories of land cover/use systems are used in Chapter 4 (Section 4.4) to illustrate the expected potential for carbon sequestration from a change in system management (e.g., intensification or extensification) or upon conversion from one category to another.

[Lien vers le fichier](#)

- IPCC, special report 2019 : « In some literature assessed in this report, land cover and land use are used interchangeably, but the two represent distinct classification systems. For example, the land cover class woodland can be under various land uses such as livestock grazing, recreation, conservation, or wood harvest. »

[Lien vers le fichier](#)

Comme précédemment, c'est la terminologie et la classification SEEA qui ont été préférées compte tenu de leur applicabilité outre-mer. Nous détaillons donc uniquement cette partie, les autres terminologies étant en annexe 2. A noter également la présence dans cette annexe d'un tableau permettant d'établir une correspondances entre les systèmes FAO, WCA, SEEA, et IPCC pour la classification de l'utilisation des sols.

i. Présentation SEEA (2012)

L'utilisation des terres correspond à la fois :a) aux activités entreprises; et b) aux arrangements institutionnels mis en place pour une zone déterminée aux fins de la production économique ou de la préservation et de la restauration des fonctions environnementales. En fait, l'« utilisation » d'une zone implique l'existence d'une intervention ou d'une gestion humaine. Les terres utilisées incluent donc les zones qui, comme les zones protégées, par exemple, sont activement gérées par des unités institutionnelles d'un pays aux fins d'exclure des zones concernées toute activité économique ou humaine.

Toutes les terres d'un pays ne sont pas utilisées au sens de la définition susvisée. Certaines terres sont « non utilisées », même si elles peuvent être utiles aux écosystèmes et à la diversité biologique. Pour présenter une comptabilité exhaustive de l'utilisation des terres d'un pays, il convient d'y faire figurer à la fois les terres utilisées et les terres non utilisées (sans usage).

Le tableau présente la classification des utilisations des terres du SCEE. Son niveau le plus élevé est occupé par les principales catégories de surface : les terres et les eaux intérieures. Le classement par catégorie de surface correspond à l'utilisation principale de la classification en tant qu'outil de comparaison des différentes utilisations. D'une façon générale, les catégories d'utilisation des zones d'eaux intérieures et des zones de terres sont très différentes, et ces différentes zones sont généralement gérées selon des modalités différentes.

² https://archive.ipcc.ch/ipccreports/sres/land_use/index.php?idp=45

1. Terres	
1.1	Agriculture
1.2	Sylviculture
1.3	Terres utilisées pour l'aquaculture
1.4	Utilisation de zones bâties et connexes
1.5	Terres utilisées pour la préservation et la restauration des fonctions environnementales
1.6	Autres utilisations des terres
1.7	Terres non utilisées
2. Eaux intérieures	Eaux intérieures

Tableau . Classification des utilisations des terres

ii. Détail des différentes classes d'utilisation des terres

1. Agriculture : L'ensemble des superficies suivantes : « terres affectées aux cultures temporaires », « terres de prairies et de pâturages temporaires », « terres en jachère temporaire », « terres affectées aux cultures permanentes », « terres de prairies et de pâturages permanents » et « terres sous couvert protecteur ».

Cette catégorie englobe les terres labourées et les terres en jachère, ainsi que les prairies et pâturages naturels permanents utilisés comme pacage, pour l'alimentation animale ou à des fins agricoles. Sont traditionnellement incluses les terres recouvertes par des bâtiments agricoles épars, les cours et annexes et les terres qui ne sont jamais cultivées, telles que les parcelles en friche, les berges, les sentiers pédestres, les fossés, les tourbières et les accotements.

1.1 Terres affectées aux cultures temporaires : Terres utilisées pour la culture de plantes dont le cycle de végétation est inférieur à un an et qui doivent être nouvellement semées ou plantées après la récolte. Certaines plantes qui restent dans le champ pendant plus d'un an peuvent également être considérées comme des cultures temporaires ; c'est par exemple le cas de l'asperge, de la fraise, de l'ananas, de la banane et de la canne à sucre. Sont exclues les plantes fourragères herbacées.

- 1.1.1. Céréales : Terres utilisées pour la culture des céréales, comme le blé, le riz, le maïs, le sorgho, l'orge, le seigle, l'avoine et le millet.
- 1.1.2. Légumes et melons : Terres utilisées pour la culture des légumes et des melons.
- 1.1.3. Cultures oléagineuses temporaires : Terres utilisées pour la culture des oléagineux, comme le soja, l'arachide, les graines de ricin, de lin et de moutarde, *Guizotia abyssinica*, le colza, le carthame, les graines de sésame et les graines de tournesol.
- 1.1.4. Racines et tubercules à haute teneur en féculé ou en inuline : Terres utilisées pour la culture des racines et tubercules, comme la pomme de terre, la patate douce, le manioc et l'igname.
- 1.1.5. Cultures temporaires pour épices : Terres utilisées pour les cultures temporaires pour épices, comme les poivres et les piments, l'anis, la badiane et le fenouil.
- 1.1.6. Légumineuses : Terres utilisées pour la culture des légumineuses, comme les haricots, les fèves, les pois chiches, les doliques, les lentilles, les lupins, les pois et les pois cajun.

- 1.1.7. Cultures sucrières : Terres utilisées pour la culture des plantes sucrières, comme la canne à sucre et la betterave sucrière.
- 1.1.8. Autres cultures temporaires : Terres utilisées pour la culture d'autres plantes temporaires non classées ailleurs.

- 1.2. Terres de prairies et de pâturages temporaires : Terres utilisées pour la culture de plantes fourragères herbacées temporaires pour le fauchage et le pacage. Une période de moins de cinq ans est utilisée pour distinguer les prairies temporaires des prairies permanentes.
- 1.3. Terres en jachère temporaire : Terres agricoles qui ne sont pas ensemencées pendant une ou plusieurs saisons de croissance. La durée maximale de repos est généralement inférieure à cinq ans. Une terre restée en jachère pendant une trop longue période peut acquérir des caractéristiques obligeant à la reclasser, comme sous 1.7 : « Terres non utilisées ». Cette terre peut être ensemencée à seule fin de produire des engrains verts.

- 1.4. Terres affectées aux cultures permanentes : Terres affectées à des cultures à long terme qui ne donnent pas lieu à replantation pendant plusieurs années (comme le cacao et le café) ; terres plantées d'arbres et d'arbustes produisant des fleurs (comme le rosier et le jasmin); et pépinières (à l'exception de celles où l'on cultive des plants d'arbres forestiers, qui doivent être classées sous 1.2.1 : « Terres forestières »). Les terres de prairies et de pâturages permanents sont exclues des « Terres affectées aux cultures permanentes ». Sont exclues les plantes fourragères herbacées.
 - 1.4.1. Cultures fruitières : Terres utilisées pour la culture d'arbres fruitiers et de buissons à fruits (comme le raisin, les fruits tropicaux et subtropicaux, les agrumes, les fruits à pépins et les fruits à noyau) et des fruits à coque (amandes, noix de cajou, châtaignes, noisettes, pistaches, noix, etc.).
 - 1.4.2. Cultures oléagineuses permanentes : Terres utilisées pour la culture de fruits oléagineux, comme la noix de coco, les olives et le fruit du palmier à huile.
 - 1.4.3. Plantes destinées à la préparation de boissons et cultures permanentes pour épices : Terres utilisées pour la culture de plantes destinées à la préparation de boissons (café, thé, maté, cacao, etc.) et les cultures permanentes de plantes à épices (noix de muscade, macis et cardamome, cannelle, clou de girofle, gingembre, vanille, etc.).
 - 1.4.4. Autres cultures permanentes : Terres utilisées pour la culture d'autres plantes pérennes, y compris l'hévéa et l'arbre de Noël.

- 1.5. Terres de prairies et de pâturages permanents : Terres utilisées pour faire croître des plantes fourragères herbacées permanentes (cycle de végétation d'au moins cinq ans) cultivées ou naturelles (prairies naturelles or pâturages). Les prairies et pâturages permanents où l'on fait pousser des arbres et des arbustes doivent être enregistrés sous cette rubrique uniquement si la culture des plantes fourragères est l'utilisation la plus importante des zones en question. Des mesures peuvent être prises pour maintenir ou accroître la productivité des terres (c'est-à-dire l'utilisation d'engrais, le fauchage ou la pâture systématique par des animaux domestiques). Cette classe comprend :
 - Le pacage dans les zones boisées (zones d'agroforesterie, par exemple);
 - Le pacage dans les zones arbustives (lande, maquis, garrigue);
 - Utilisation de la prairie des plaines ou zones montagneuses de faible altitude pour le pacage : terre traversée pendant la transhumance, au cours de laquelle les animaux passent une partie de l'année (une centaine de jours) sans rentrer le soir à la ferme : prairies de montagne et prairies subalpines et zones analogues ; et steppes et prairies sèches utilisées pour le pacage.

- 1.5.1. Prairies et pâturages permanents cultivés : Terres de prairies et de pâturages permanents qui sont gérées et cultivées.
- 1.5.2. Prairies et pâturages permanents naturels : Terres de prairies et de pâturages permanents naturels utilisés pour le pacage, l'alimentation animale ou l'agriculture.
- 1.6. Terres agricoles sous couvert protecteur : Surfaces occupées par des bâtiments de ferme à usage d'habitation, etc. : habitations, bâtiments d'exploitation (hangars, granges, caves, serres, silos), bâtiments pour la production animale (écuries, étables, porcheries, enclos à moutons, basses-cours), jardins individuels, cours de ferme. Sont exclus les bâtiments servant à la fabrication de produits agroalimentaires (→ 1.4.3) et les bâtiments des zones rurales à usage exclusif d'habitation (→ 1.4.8).
2. Sylviculture : Terres utilisées aux fins de la sylviculture. Sont exclues les terres à vocation agricole ou urbaine prédominante.
 - 2.1. Terres forestières : Terres occupant une superficie de plus de 0,5 hectare avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à cinq mètres et un couvert arboré de plus de 10 %, ou avec des arbres capables d'atteindre ces seuils *in situ*. Sont exclues les terres à vocation agricole ou urbaine prédominante, et les terres qui sont principalement utilisées aux fins du maintien ou de la restauration de leur fonction environnementale.

Notes explicatives :

 - Les terres forestières sont déterminées à la fois par la présence d'arbres et par l'absence d'autres utilisations prédominantes des terres. Les arbres doivent être capables d'atteindre une hauteur minimale de cinq mètres *in situ*;
 - Ces terres englobent les zones où poussent de jeunes arbres qui n'ont pas encore atteint mais devraient atteindre un couvert arboré de 10 % et une hauteur de cinq mètres. Elles englobent également les zones qui sont temporairement déboisées du fait de coupes rases effectuées dans le cadre de la gestion forestière ou résultant de catastrophes naturelles, et qui devraient se régénérer dans les cinq ans. La situation locale peut, dans des cas exceptionnels, justifier un plus long délai;
 - Sont inclus les routes forestières, les coupe-feu et les autres petites clairières;
 - Peuvent être incluses les terres forestières des parcs nationaux, des réserves naturelles et d'autres zones protégées, par exemple celles qui présentent un intérêt particulier sur les plans environnemental, scientifique, historique, culturel ou spirituel;
 - Sont inclus les brise-vent, plantations-abris et corridors couvrant plus de 0,5 hectare et ayant une largeur supérieure à 20 mètres;
 - Sont incluses les terres de culture itinérante abandonnées sur lesquelles se sont régénérés des arbres qui ont atteint ou devraient atteindre un couvert arboré de 10 % et une hauteur de cinq mètres;
 - Sont incluses les zones de mangroves situées dans la zone intertidale, que ces zones soient classées comme zones de terres ou non;
 - Sont incluses les zones de bambous et de palmiers s'il est satisfait aux critères d'utilisation des terres, de hauteur et de couvert arboré;
 - Certains systèmes d'agroforesterie, tels que le système de *taungya*, qui consiste à intercaler des cultures uniquement pendant les premières années du repeuplement, doivent être classés comme forêt;
 - Sont exclus les peuplements arborés dans les systèmes de production agricole, tels que les plantations d'arbres fruitiers (→ 1.1.4.1), les plantations de palmiers à huile, les hévéas et les arbres

de Noël (→ 1.1.4.4) et les systèmes d'agroforesterie dans lesquels les plantes sont cultivées sous couvert forestier (→ 1.1.5).

- 2.1.1. Forêt régénérée primaire : Forêt naturellement régénérée d'espèces indigènes où aucune trace d'activité humaine n'est clairement visible et où les processus écologiques ne sont pas sensiblement perturbés. Les caractéristiques essentielles des forêts primaires sont notamment les suivantes :
- Elles présentent des dynamiques forestières naturelles telles qu'une composition naturelle d'espèces forestières, la présence de bois mort, la répartition naturelle par âge et des processus naturels de régénération;
 - L'aire est suffisamment grande pour maintenir ses caractéristiques naturelles;
 - Elles ne présentent pas d'interventions humaines importantes ou la dernière intervention humaine importante a eu lieu il y a assez longtemps pour permettre à la composition naturelle des espèces et aux processus naturels de se rétablir.
- 2.1.2. Autres forêts naturellement régénérées : Forêts où les traces d'activité humaine sont clairement visibles.
Sont inclus :
- Les zones ayant fait l'objet d'une coupe sélective, les zones se régénérant après l'utilisation agricole des terres, les zones se rétablissant des incendies d'origine humaine, etc.;
 - Les forêts où il est impossible de faire la distinction entre plantation et régénération naturelle;
 - Les forêts présentant un mélange d'arbres naturellement régénérés et d'arbres plantés/semés, et où les arbres naturellement régénérés constitueront plus de
 - 50 % du matériel sur pied à maturité du peuplement;
 - Les taillis des arbres établis par régénération naturelle;
 - Les arbres naturellement régénérés d'espèces introduites.
- 2.1.3. Forêts plantées : Forêts à prédominance d'arbres établis par plantation et/ou ensemencement délibéré. En d'autres termes, les arbres plantés/semés constitueront plus de 50 % du matériel sur pied à maturité, y compris les taillis des arbres originairement plantés ou semés.
- Sont exclus les arbres spontanés d'espèces introduites, les peuplements arborés dans les systèmes de production agricole, tels que les plantations d'arbres fruitiers, les plantations de palmiers à huile et les systèmes d'agroforesterie dans lesquels les plantes sont cultivées sous couvert forestier, ainsi que les terres à vocation agricole ou urbaine prédominante.
- 2.2. Autres terres boisées : Terres non classées comme terres forestières, occupant une superficie de plus de 0,5 hectare avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à cinq mètres et un couvert arboré compris entre 5 et 10 %, ou avec des arbres capables d'atteindre ces seuils *in situ*; ou avec un couvert mixte d'arbustes, de buissons et d'arbres de plus de 10 %. Cette définition englobe deux options :
- a) Le couvert arboré est compris entre 5 et 10 % ; et les arbres doivent avoir atteint une hauteur supérieure à cinq mètres ou être capables d'atteindre cinq mètres *in situ* ; ou
 - b) Le couvert arboré est inférieur à 5 %, mais le couvert combiné des arbustes, buissons et arbres est supérieur à 10 %. Sont incluses les zones d'arbustes et de buissons dépourvues d'arbres.
- Sont incluses :
- Les zones où les arbres n'atteindront pas une hauteur de cinq mètre *in situ* et où le couvert arboré est d'au moins 10 %, comme dans le cas de certains types d'arbres de l'étage alpin et des mangroves de zone aride;
 - Les zones de bambous et de palmiers s'il est satisfait aux critères d'utilisation des terres, de hauteur et de couvert arboré.

Sont exclues les terres à vocation agricole ou urbaine prédominante et les terres principalement utilisées aux fins de la préservation et de la restauration des fonctions environnementales.

3. Terres utilisées pour l'aquaculture : Terres utilisées pour les installations d'aquaculture et la pisciculture. L'aquaculture consiste dans la culture d'organismes aquatiques, y compris poissons, mollusques, crustacés, plantes aquatiques, crocodiles, alligators, tortues et amphibiens. Le terme « culture » implique une quelconque forme d'intervention dans le processus d'élevage en vue d'améliorer la production, telle que l'empoissonnement à intervalle régulier, l'alimentation, la protection contre les prédateurs, etc.
 - 3.1. Terres utilisées pour les incubateurs : Logements pour la reproduction et l'élevage de semences de poissons, d'invertébrés ou de plantes aquatiques pour produire des alevins, des alevins d'un an ou des juvéniles.
 - 3.2. Sites terrestres d'engraissement dirigé : Terrains dotés d'installations d'aquaculture autres que les « incubateurs », par exemple des étangs et des bassins (unités artificielles de différentes dimensions construites au-dessus ou au-dessous du sol et capables de retenir et d'échanger l'eau), des *raceway*s et des silos (unités artificielles de différentes dimensions construites au-dessus ou au-dessous du sol et capables d'échanger l'eau plus de 20 fois par jour).
4. Utilisation de zones bâties et connexes : Terrains utilisés ou adaptés par l'homme, sur lesquels se trouvent des bâtiments, des routes, des mines et des carrières et tous autres équipements collectifs, y compris leurs espaces de service, délibérément mis en place pour permettre des activités humaines. Sont également compris sous cette rubrique certains terrains non construits, mais étroitement liés à ces activités, par exemple les décharges, les terrains vagues dans les zones construites, les dépôts de ferraille, les parcs et jardins publics. Sont inclus les terrains occupés par des villages fermés ou des localités rurales similaires.
 - 4.1. Activités extractives : Sont inclus dans les terres principalement utilisées pour les activités extractives les installations d'extraction de combustibles solides, de pétrole, de gaz naturel, de minéraux, de sel, de pierres de construction, de sables et d'argile, ainsi que leurs espaces connexes (crassiers, terrils et aires de stockage, sites de chargement et de décharge, puits et chevalements).
 - 4.2. Construction : Terrains principalement utilisés pour la construction, en particulier les chantiers. Sont inclus les terrains abandonnés (à usage d'habitation, industriel ou commercial, infrastructures et zones brûlées), décharges et friches urbaines ou rurales.
 - 4.3. Activité de fabrication : Terrains utilisés pour les activités de fabrication, y compris l'industrie lourde. Entrent dans cette catégorie les cokeries, le craquage et le raffinage du pétrole, les installations de production et de transformation des métaux, les installations de production de minéraux non métalliques; les installations de fabrication de produits chimiques de base et agro-chimiques, de fibres synthétiques et artificielles et d'autres produits; et les installations œuvrant dans les domaines des produits agroalimentaires, des boissons et des produits du tabac, de la fabrication de produits textiles, d'articles en cuir, de chaussures et de vêtements, et dans les secteurs du bois, du papier et de la fabrication d'articles en papier, du caoutchouc et de la transformation des matières plastiques; ainsi que les entreprises de construction et les travaux publics.
Sont exclus les chantiers de construction proprement dits (→1.4.2) et les ports et leurs installations de stockage (→1.4.5).
 - 4.4. Infrastructure technique : Terrains utilisés pour les installations techniques de génération, distribution et transport de l'énergie électrique; de distribution d'hydrocarbures, y compris les oléoducs et les gazoducs, et d'eau; de récupération et de purification de l'eau; et de collecte et de traitement des déchets. Terrains utilisés pour les réseaux de télécommunication, tels que les stations de relais, les antennes de télévision, les radiotélescopes, les radars et les principaux ouvrages de protection, par exemple les barrages de retenue et les digues de protection. Sont également inclus les terrains utilisés pour les bureaux et autres

bâtiments et installations de service connexes, ainsi que tous espaces nécessaires, conformément aux pratiques nationales, au fonctionnement de ces infrastructures techniques.

- 4.5. Transport et entreposage : Terrains utilisés par les infrastructures et les sociétés de services spécialisées dans le transport et le stockage. Sont inclus les infrastructures de transport routier; les réseaux ferroviaires; les installations aéroportuaires; et les installations liées au transport fluvial et maritime. Sont également inclus les terrains utilisés pour les bureaux et autres bâtiments et installations de service liés au transport, tels que les gares, les aérogares, les installations de stockage d'équipement et les ateliers de réparations, les trottoirs, les talus d'herbe en bordure de voie ferrée, les abravents le long des routes et les zones ouvertes de lutte contre le bruit autour des aéroports, ainsi que tous autres espaces nécessaires, conformément aux pratiques nationales, à la fourniture des infrastructures connexes.
Sont exclus les aérodromes militaires (→ 1.4.6) et les chantiers navals (→ 1.4.3).
- 4.6. Services commerciaux, financiers et publics : Terrains utilisés principalement pour les services commerciaux et apparentés, les administrations publiques et les services judiciaires, les services chargés du maintien de l'ordre et de la sécurité, les services de sécurité sociale et les services sociaux, ainsi que les associations professionnelles et commerciales, y compris les routes privées et autres espaces de service se trouvant dans les zones concernées. Cette catégorie comprend également le commerce de gros et de détail; les services hôteliers et de restauration; les banques et les compagnies d'assurances; les services à la personne; les installations de défense nationale; l'éducation et la recherche-développement; et les terrains occupés par les édifices religieux.
- 4.7. Installations de loisir : Terrains aménagés et occupés à des fins récréatives, comprenant les sites culturels, tels que les sites archéologiques et historiques, les monuments, ruines et demeures ancestrales classés; les musées, bibliothèques et médiathèques; les salles de concerts et les théâtres ; les cimetières et zones associées (eau, zones boisées, pelouses et jardins); les installations sportives : plages et piscines publiques, gymnases et salles de sport; stades et terrains de sport; salles de réunion et salles de danse; terrains de golf; pistes de randonnée équestre ; autodromes; espaces verts ou ludiques : parcs urbains, jardins publics, jardins zoologiques et botaniques et jardins d'agrément; principaux cimetières utilisés comme lieux de promenade agréémentés d'une végétation très abondante; installations touristiques : site de camping et de caravaning; parcs d'attractions, cirques, auberges de jeunesse et centres ruraux; marinas; résidences secondaires ou de vacances; et casinos.
Sont exclues les zones qui peuvent être utilisées à des fins récréatives sans que les loisirs en constituent la principale utilisation.
- 4.8. Terrains à usage résidentiel : Terrains principalement utilisés pour des bâtiments à usage résidentiel, qu'ils soient effectivement occupés ou temporairement vacants, y compris les terrains constructibles attenants à des jardins privés et à de petits espaces verts, et les aires de stationnement et les petits terrains de jeux principalement réservés à l'usage des habitants des bâtiments en question.
Sont inclus dans cette catégorie :
 - Zones d'habitat continu et dense (noyau urbain dense à très dense, où une proportion importante des bâtiments ont plus de trois niveaux);
 - Zones d'habitat continu de densité moyenne (habitat de banlieue, que l'on rencontre souvent dans les vieux villages attenants à une ville);
 - Zones d'habitat discontinu de densité moyenne (du type « zone d'habitation », constituée par des maisons individuelles);
 - Zones d'habitat isolé (hameaux, groupes de quelques maisons, petits villages, bâtiments isolés);
 - Zones d'habitat collectif (logements collectifs ayant généralement plus de trois niveaux).
Sont exclus les terrains utilisés à des fins spécifiées ailleurs, même s'ils sont utilisés principalement par la population locale.

5. Terres utilisées pour la préservation et la restauration des fonctions environnementales : Cette classe comprend les aires protégées définies par l'Union mondiale pour la nature (UICN), c'est-à-dire des espaces géographiques clairement définis, reconnus et légalement administrés par des moyens efficaces, juridiques ou autres, et voués spécialement à la préservation à long terme de la nature moyennant les services écosystémiques associés dispensés dans le respect des valeurs culturelles. Les aires protégées doivent viser, en tant que de besoin, à :

- Préserver les caractéristiques importantes des paysages ainsi que la géomorphologie et la géologie;
- Fournir des services écosystémiques de régulation, y compris de protection contre les incidences des changements climatiques;
- Préserver les aires naturelles et les panoramas d'importance nationale et internationale à des fins culturelles, spirituelles et scientifiques;
- Procurer des avantages aux résidents et aux communautés locales conformément aux autres objectifs de l'administration des aires protégées;
- Fournir des prestations en matière de loisirs conformément aux autres objectifs de l'administration des aires protégées;
- Faciliter les activités de recherche scientifique à faible impact et la surveillance écologique en rapport et en cohérence avec les valeurs de l'aire protégée;
- Mettre en œuvre des stratégies d'administration adaptatives en vue d'améliorer progressivement l'efficacité de cette administration et la qualité de la gouvernance;
- Multiplier les possibilités d'éducation (notamment en ce qui concerne les méthodes d'administration);
- Mobiliser la population en faveur de la protection.

6. Autres utilisations des terres non reprises ailleurs : Terres utilisées à des fins non reprises ailleurs.

7. Terres non utilisées : Terres où aucune activité humaine clairement visible ou aucun arrangement institutionnel ne semble avoir eu pour objectif une production économique ou la préservation et la restauration des fonctions environnementales et où les processus écologiques ne sont pas sensiblement perturbés. Entrent dans cette catégorie :

- Terres plantées d'arbres non utilisés à des fins agricoles et non classées comme « Terres forestières et autres terres boisées »;
- Buissons et arbustes non utilisés à des fins agricoles et non classés comme « Au-tres terres boisées »;
- Clairières à végétation basse de type herbacé, non utilisées à des fins agricoles;
- Surfaces naturelles et non bâties pratiquement dépourvues de végétation, ce qui empêche de les faire figurer dans d'autres catégories de la classification; sont incluses les vieilles carrières et les sablières abandonnées, et les zones brûlées;
- Sols nus (zones où affleure la roche du substratum), y compris les rochers et les éboulis, ainsi que les dunes et les plages de sable et de galets;
- Terres recouvertes de glaciers (généralement mesurés au moment de leur expansion maximale dans la saison) ou de neige permanente;
- Terres inondées ou inondables pendant une grande partie de l'année par de l'eau douce, saumâtre ou salée, ou stagnante, à végétation composée d'arbustes et de plantes semi-ligneuses ou herbacées (marais et marécages); et occupées par des zones intermédiaires entre les états solide et liquide, parmi lesquelles les tourbières de couverture ou tourbières hautes, telles que les tourbières ombrótophages (terres basses).

Sont exclues les tourbières ombratropes utilisées pour la récolte de combustible (\rightarrow 1.4.1) et les aires protégées (\rightarrow 1.5).

c. Catégorisation et définition des pratiques de gestion des sols pour mettre en évidence l'effet du mode de gestion sur la dynamique des stocks de carbone organique des sols

Contrairement aux catégories d'occupation des sols (land cover) et d'utilisation des sols (land use), il existe peu de standards pour hiérarchiser et définir les pratiques, notamment en raison de l'adaptation au contexte local de l'adoption de certaines pratiques et des pratiques émergentes encore peu étudiées.

Le tableau X résume les pratiques de gestion et les changements d'usages étudiés dans les synthèse et méta-analyses de la littérature mesurant ou évaluant le stockage et/ou le potentiel de stockage de carbone organique dans les sols, à l'échelle de la parcelle. Dans l'étude (mesure, évaluation) d'un stockage de carbone additionnel, il y a souvent une référence. C'est le changement d'usage, l'adoption d'une ou plusieurs pratiques agricoles qui conduit à stockage de COS par rapport à une référence/contrôle. Ce peut être plus largement l'introduction d'arbres dans le système de production (Agroforesterie) ou la restauration du sol dans le cas d'un système dégradé.

Six grandes catégories sont listées dans ce tableau : forêts, cultures annuelles, cultures pérennes, prairies, agroforesterie, et changement d'usage. Cette catégorisation reflète la façon dont sont traités les changements de mode de gestion et d'usage dans la littérature recensée ici.

Nous présentons donc ici les changements d'usages décrits dans la littérature, bien que dans le projet DATA4C+ la classification des usages fait l'objet d'un traitement indépendant des modes de gestion. De plus cette catégorisation n'apparaît pas forcément pertinente pour classer ces changements selon le mode d'utilisation des sols. Par exemple l'effet des systèmes agroforestiers sur la dynamique des stocks de COS a été étudiée dans plusieurs méta-analyses en tant que tel et en déclinant plusieurs catégories de systèmes agroforestiers, mais l'implantation de systèmes agroforestiers peut également être considérée comme un changement de mode de gestion au sein d'une catégorie d'utilisation des sols. La synthèse 4P1000 de l'INRA (Pellerin et al., 2019) évalue le potentiel de l'agroforesterie intra-parcellaire dans les cultures annuelles : dans ce cas l'usage du sol ne change pas. Le développement de l'agroforesterie dans ce cas constitue un changement de pratique et non un changement d'usage. En revanche, la conversion de cultures annuelles vers un système agroforestier associant des herbacées et des arbres constitue un changement d'usage. Une homogénéisation des différentes catégories est donc nécessaire, aboutissant à une proposition présentée dans la partie 2) de ce document.

i. Inventaire des catégorisations possibles selon la littérature

Tableau 1 : Catégorisations des modes de gestion et des changements d'usage employées dans la littérature.

Référence	Forêts	Cultures annuelles	Cultures pérennes	Prairies	Agroforesterie	Changement d'usage
(Smith et al., 2007) Rapport IPCC sur la mitigation des GES par le secteur agricole		<ul style="list-style-type: none"> - Improved agronomic practices - Nutrient management - No till & residue retention - Water management - Manure application 				
(Bernoux et al., 2010) Calculateur Ex-ACT Inspiré de (Smith et al., 2007), (IPCC, 2006) Bilan GES en foresterie et agriculture		<p>“Crop Production”</p> <ul style="list-style-type: none"> - Improved agronomic practices - Nutrient management - No till and residue retention - Water management - Manure application - Residue management 	<ul style="list-style-type: none"> - Non degraded - Severely degraded - Moderately degraded - Improved without inputs management - Improved with inputs management 			
Chotte et al. 2019 Rapport UNCCD sur les pratiques « Sustainable Land Management »		<ul style="list-style-type: none"> - Agroforestry - Live fencing (?) - no/minimum tillage - Crop rotation - Intercropping - Green manuring - Composting/mulching - Manuring - Integrated crop/livestock systems - Conservation agriculture - Fertilizer use 	<ul style="list-style-type: none"> - Reduce herd densities 			<ul style="list-style-type: none"> - Afforestation - Reforestation

<p>(Sanz et al., 2017)</p> <p>Rapport UNCCD : Sustainable Land Management contribution to successful land-based climate change adaptation and mitigation</p> <p>Liste exhaustive des SLM évaluées dans le rapport ; mais toutes n'ont pas un impact significatif sur la dynamique des stocks de carbone du sol. Les pratiques avec un effet nul ou non évaluée sur le carbone du sol (voir table 8 du rapport) sont ici griseses.</p> <p>Les pratiques qui s'appliquent à une échelle non parcellaire (exploitation, village, bassin versant) sont colorées en marron.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Drainage <ul style="list-style-type: none"> ○ Trees for bio-drainage - Fire control, pest and disease control <ul style="list-style-type: none"> ○ Control of wildfires in peatlands ○ Controlling anthropogenic disturbances such as fire and pest outbreaks ○ Management for forest fire prevention - Forest restoration <ul style="list-style-type: none"> ○ Assisted regeneration - Soil erosion control <ul style="list-style-type: none"> ○ Afforestation and hillside terracing ○ Hydromulching ○ Landslide prevention using drainage 	<ul style="list-style-type: none"> - Integrated soil fertility management <ul style="list-style-type: none"> ○ Application of organic fertilizers ○ Biochar soil amendment ○ Production and application of bio-humus ○ Planting pits ○ Changing fertilizer application rate, fertilizer type, timing, precision application, inhibitors ○ Composting using Indigenous Microorganism and application ○ Micro-fertilization and seed priming - Minimum soil disturbance <ul style="list-style-type: none"> ○ Strip tillage ○ No-till technology ○ Direct planting ○ Mulching in croplands - Integrated Pest Management <ul style="list-style-type: none"> ○ Application of biological agents to increase crop resistance ○ Biological pest control ○ Integrated production and pest management ○ Trees as buffer zones ○ Use of phytosanitary products - Water management <ul style="list-style-type: none"> ○ Micro-irrigation systems 	<ul style="list-style-type: none"> - Animal waste management <ul style="list-style-type: none"> ○ Improved cattleshed for urine collection - Grazing pressure management <ul style="list-style-type: none"> ○ Improved cattleshed for urine collection ○ Communal grazing management ○ Ecograze ○ Rangeland resting ○ Rotational grazing ○ Stocking density - Integrated soil fertility management <ul style="list-style-type: none"> ○ Manure separation to better distribute organic matter ○ Nutrient management - Vegetation management <ul style="list-style-type: none"> ○ Creation of a perennial grass seed area ○ Cut and carry fodder production 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Animal draft zero-tillage ○ Home gardens ○ Plantation crop combinations, multipurpose trees on croplands ○ Orchard with integrated grazing and fodder production (Silvo-pastoralism) 	<ul style="list-style-type: none"> - Afforestation / reforestation <ul style="list-style-type: none"> ○ Afforestation with species mix at different scales ○ Forest establishment in semi-arid land ○ Land reclamation by introducing forest native species ○ Reforestation in former forest lands ○ Reintroduction of forest cover after wildfires - Reducing deforestation <ul style="list-style-type: none"> ○ Establishment of protected forest areas ○ Reducing slash and burn agriculture
--	---	--	--	---	--

	<ul style="list-style-type: none"> ○ trenches lined with fast growing trees ○ Mulching after forest fires ○ Trees for watershed management ○ Trees on mountain slopes together with moisture accumulating trenches <p>- Sustainable forest management</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Adjust forest plantations rotation periods ○ Forest irrigation and fertilisation ○ Fuelwood production ○ Reducing logging waste ○ Selective logging 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mid-season paddy water management ○ Spate irrigation ○ Spiral water pumps ○ Subsurface drainage ○ Water harvesting from concentrated runoff for irrigation purposes <p>- Soil erosion control</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Gully control and catchment protection ○ Haraghie Stone Bund ○ Integrated runoff water management ○ Living fences / windbreaks ○ Paved and grassed waterways ○ Progressive bench terrace ○ River bank stabilization ○ Rockwall Terracing ○ Semi-circular bunds ○ Shelterbelts and windbreaks, live hedges ○ Soil/stone bunds ○ Soil Bund with contour cultivation ○ Stone lines and stone walls ○ Terracing in watershed ○ Traditional cut-off drain ○ Tree row and grass strip to sustain filtering 		
--	---	---	--	--

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Short rotation biomass production from forest ○ Woodlots for biomass production 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Vegetated earth-banked terraces ○ Vegetative strips ○ Water-spreading weirs <p>- Vegetation management</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Choice plant species/varieties ○ Crop rotation ○ Green cover in perennial woody crops ○ Long term fallow or set-aside ○ Multiple cropping systems ○ Permanent soil cover ○ Seed priming ○ Traditionnal Shifting cultivation 		
(Paustian et al., 2016) Arbre de décision des pratiques ou changements d'usage à implémenter pour des « climate-smart » soils, dans l'ordre d'importance décroissant		<ul style="list-style-type: none"> - Add nutrients; add lime; grow N fixing species - Grow cover crops; reduce or vegetate fallow fields - Reduce to economic-optimal rates - Reduce or halt tilling; implement residue retention - Improve timing and placement; use enhanced efficiency fertilizer - Rotate perennials; use agroforestry; use high-C input species; grow cover crops - Add amendments such as compost and biochar 		<ul style="list-style-type: none"> - Convert to perennial vegetation - Restore to wetland
(Bai et al., 2019) Effet des pratiques « climate-smart agriculture »		<ul style="list-style-type: none"> - conservation tillage <ul style="list-style-type: none"> - no-till - reduced tillage - cover crops - biochar 		

		« other agronomic practices » crop residues, nitrogen fertilization, irrigation, and crop rotation				
(Poulton et al., 2018) Estimation du potentiel 4P1000 des expérimentations de Rothamsted (UK)		<ul style="list-style-type: none"> - Addition of manures and other organic materials - Retention of crop residues - Conversion from continuous arable to ley-arable cropping - Addition of N fertilizer 				- Removal of land from agriculture
(Chambers et al., 2016) Estimation du potentiel 4P1000 aux USA		<ul style="list-style-type: none"> - Conservation cover (ac) – retiring marginal soils - Conservation crop rotation (ac) - Residue and tillage management, no-till (ac) - Strip till (ac) - contour farming (ac) - Contour buffer strips (ac) 		<ul style="list-style-type: none"> - Forage and biomass planting (ac) - Prescribed grazing - Range planting 		

		<ul style="list-style-type: none"> - Residue and tillage management, reduced till (ac) - Field border (ac) - Filter strips (ac) - Grassed waterways (ac) - Strip-cropping (ac) - Vegetative barriers (ft) - Herbaceous wind barriers (ft) 				
(Pellerin et al., 2019) Etude 4P1000 INRA Potentiel 4P1000 en France métropolitaine	Pas de pratique retenue	<ul style="list-style-type: none"> - passage au semis direct - cultures intermédiaires et intercalaires - l'accroissement de la part des prairies temporaires dans les successions - la mobilisation et l'apport au sol de matières organiques exogènes supplémentaires - développement de l'agroforesterie intra-parcellaire 	<ul style="list-style-type: none"> - l'enherbement des inter-rangs en vignoble 	<ul style="list-style-type: none"> - intensification modérée des prairies extensives : apports de fertilisants et/ou augmentation des légumineuses, avec augmentation des prélèvements d'herbe - l'exploitation de l'herbe par pâturage plutôt que par fauche 		

		- l'implantation de haies				
(Conant et al., 2017a) Effet de la gestion des prairies sur les stocks de COS				<ul style="list-style-type: none"> - earthworms - fertilisation - fire - grazing - grass ley - reclamation 		<ul style="list-style-type: none"> - cultivation to grass - native to grass
(Batjes, 2019) Effet de la gestion des prairies sur les stocks de COS				<ul style="list-style-type: none"> - controlled grazing - adjusting stocking rates - improved pastures with leguminous crops - fire management 		
(Corbeels et al., 2019) Potentiel 4P1000 en Afrique subsaharienne pour l'agroforesterie et l'agriculture de conservation		Conservation agriculture : <ul style="list-style-type: none"> - minimum/no tillage - minimum/no tillage + residues - minimum/no tillage + residues + intercrop or rotation 			Parklands Alley cropping Multistrata systems Fallows	
(Dignac et al., 2017) Review sur l'augmentation des stocks de COS	Catégorisation des variables liées aux pratiques de gestion :					
	<ul style="list-style-type: none"> - choice of plant species - Soil OM inputs - Practices that stimulate both primary production and decomposer activity 					
(Francaviglia et al., 2019) Potentiel 4P1000 en zone méditerranéenne		<ul style="list-style-type: none"> - soil management (minimum tillage, tillage, no tillage) - fertilization group (mineral, mixed, none, organic) 				

		- rotation types (monoculture, 2 years, ≥ 3 years)			
(Smith et al., 2020) Pratiques contribuant à la sécurité alimentaire, mitigation du réchauffement climatique, et à la lutte contre la désertification et la dégradation des terres	Improved forest management refers to management practices in forests for the purpose of climate change mitigation. It includes a wide variety of practices affecting the growth of trees and the biomass removed, including improved regeneration (natural or artificial) and a better schedule, intensity, and execution of operations (thinning, selective logging, final cut; reduced impact logging, etc.). Sustainable forest management is the stewardship and use of forests and forest lands in a way, and at a rate, that	- Improved cropland management is a collection of practices consisting of (a) management of the crop: including high carbon input practices, for example, improved crop varieties, crop rotation, use of cover crops, perennial cropping systems, integrated production systems, crop diversification, agricultural biotechnology; (b) nutrient management: including optimized fertilizer application rate, fertilizer type (organic manures, compost, and mineral), timing, precision application, nitrification inhibitors; (c) reduced tillage intensity and residue retention; (d) improved water management: including drainage of waterlogged mineral soils and irrigation of crops in arid/semiarid conditions; (e) improved rice management: including water management such as mid-season drainage and improved fertilization and residue management in paddy rice systems; and (f) biochar application	Improved grazing land management is a collection of practices consisting of (a) management of vegetation: including improved grass varieties/sward composition, deep rooting grasses, increased productivity, and nutrient management; (b) animal management: including appropriate stocking densities fit to carrying capacity, fodder banks, and fodder diversification; and (c) fire management: improved use of fire for sustainable grassland management, including fire prevention and improved prescribed burning (see also fire management as a separate practice below)	Definition : « Agroforestry involves the deliberate planting of trees in croplands and silvopastoral systems »	- Reduced grassland conversion to cropland - Reduced deforestation and degradation - Reforestation and forest restoration - afforestation

	<p>maintains their biodiversity, productivity, regeneration capacity, vitality, and their potential to fulfill, now and in the future, relevant ecological, economic, and social functions, at local, national, and global levels, and that does not cause damage to other ecosystems</p>	<p>- Practices that increase soil organic matter content include (a) land use change to an ecosystem with higher equilibrium soil carbon levels (e.g., from cropland to forest); (b) management of the vegetation: including high carbon input practices, for example, improved varieties, rotations and cover crops, perennial cropping systems, biotechnology to increase inputs and recalcitrance of below ground carbon; (c) nutrient management and organic material input to increase carbon returns to the soil: including optimized fertilizer and organic material application rate, type, timing, and precision application; (d) reduced tillage intensity and residue retention; and (e) improved water management: including irrigation in arid/semiarid conditions</p>			
(Chenu et al., 2019) « Here we focus on knowledge gaps, and hence research needs, for innovative SOC management		<p>Category 1: Assessments, balances or re-evaluation required</p> <ul style="list-style-type: none"> - no tillage and conservation agriculture - Irrigation - Increasing below-ground inputs - Managing soil nitrogen 			

practices, in the light of recent studies in soil ecology and biogeochemistry. »		Category 2. More speculative <ul style="list-style-type: none"> - Plant secondary metabolites - Mineral amendments - Manipulating microbial physiology - Managing soil biodiversity 		
(Mayer et al., 2020) Effet des pratiques de gestion forestières sur les stocks de C	<ul style="list-style-type: none"> - Nitrogen addition - Selection of species with N-fixing associates - Trees species selection - Management of tree species diversity - Management of stand density and thinning - Removal of forest residues - Herbivory regulation - Fire management 			Afforestation
(Cardinael et al., 2018b) Catégories en agroforesterie et coefficients Tier 1 IPCC			<ul style="list-style-type: none"> - Alley cropping - Fallows - Hedgerows - Multistrata systems - Parklands - Shaded perennial-crop systems - Silvo-arable systems - Silvopastures 	

(De Stefano and Jacobson, 2018) Méta-analyse systèmes en agroforesterie			- Agrisilvicultural systems - Silvopastoral systems - Agrosilvopastoral systems	
(Griscom et al., 2017) Evaluation de « land management practices » sur la mitigation des émissions de GES	- Natural forest management - Improved plantations - Avoided woodfuel - Fire management	- Biochar - Trees in croplands - Nutrient management - Conservation agriculture - Improved rice	- grazing-feed - grazing-animal managment - optimal int. (?) - Legumes	- Reforestation - Avoided Forest conversion - Avoided Grassland conversion
(Shi et al., 2018) Méta-analyse systèmes en agroforesterie			- alley cropping - windbreaks (shelterbelts) - silvopastures (tree-pasture or silvia forest) - homegardens (multistrata systems)	
(Fujisaki et al., 2018a) Effet des pratiques de gestion des cultures annuelles tropicales sur la dynamique des stocks de COS		- fertilisation organique - fertilisation minérale - modification des rotations - diminution du travail du sol - combinaisons entre ces pratiques		
(James and Harrison, 2016) Meta-analyse effet des récoltes de bois dans les forêts sur les stocks de COS	- Harvest type <ul style="list-style-type: none">○ Clearcut○ Thin - Harvest intensity			

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Whole tree harvest ○ Bole-only <p>- Residue Management</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Removal ○ Spread <p>- Site preparation</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Broadcast burn ○ Tillage 			
(Jandl et al., 2007) Effet des pratiques de gestion forestières sur la séquestration de COS	<ul style="list-style-type: none"> - Tree species - Stand management <ul style="list-style-type: none"> . Thinning regime . Length of rotation period . Specific harvesting techniques <ul style="list-style-type: none"> _ Whole-tree harvesting _ Conventionnal harvesting . Uneven-aged forest management . Continuous-cover forestry 			

<ul style="list-style-type: none">-Improvement of site conditions<ul style="list-style-type: none">. Nitrogen fertilization. Natural aggradation of forests. Liming. Water management in peatlands -Site preparation<ul style="list-style-type: none">. Manual, mechanical, chemical methods. Prescribed burning			
---	--	--	--

ii. Synthèse : classification et définition des pratiques de gestion

Une classification des pratiques de gestion agricoles et forestières ainsi que leurs définitions³ ont été proposées ci-dessous à partir de l'analyse de la littérature. Trois grandes catégories ont été créées selon le mode d'occupation :

- pratiques de gestion en grandes cultures et cultures pérennes,
- pratiques de gestion dans les prairies,
- pratiques de gestion dans les forêts et plantations.

Pour les grandes cultures et les plantes pérennes, les catégories de pratiques choisies reflètent en partie la classification de Smith et al. (2020) qui distingue les pratiques relevant de la gestion des plantes, du travail du sol, des amendements, de l'eau, des cultures de riz, et du biochar. Les catégories listées et définies ici correspondent à des pratiques de gestion menées à l'échelle de la parcelle, susceptibles d'influencer la dynamique des stocks de COS lorsqu'elles sont implantées. Les pratiques de gestion menées à d'autres échelles (fermes, bassin versant) ou ayant uniquement un effet sur les émissions de gaz à effet de serre autre que le CO₂ (N₂O, CH₄) ne sont donc pas considérées ici.

Nous avons ajouté plusieurs catégories, pour la gestion des résidus végétaux, la gestion des modes de défriche, les pratiques anti-érosives, et la gestion des feux. Les apports de biochar ont été classés dans la gestion des amendements. Les pratiques de gestion intégrées, consistant en une combinaison de différentes pratiques, n'ont pas été intégrées dans l'arbre de catégories mais ont cependant été définies dans le document.

Les catégories de pratiques de gestion pour les prairies et les forêts/plantations sont principalement inspirées de méta-analyses, rapports et dictionnaires de données.

Des variables quantitatives associées aux pratiques de gestion ont également été incluses dans ce document, notamment les variables permettant de calculer les apports de carbone au sol, qui sont un déterminant majeur des stocks de carbone et de leur dynamique.

³ Pour proposer des définitions, nous nous sommes appuyés sur les sources suivantes :

- Glossaire Wocat : <https://www.wocat.net/en/glossary>
- Glossaire du projet Landmark : <http://landmark2020.eu/landmark-glossary/management-practices/> & [lien vers le fichier](#)
- Glossaire du rapport spécial de l'IPCC (2019) ([lien vers le fichier](#))
- World Census of Agriculture 2020 (FAO, 2017, 2016), liens vers les fichiers en [français](#) et en [anglais](#)
- Etude 4P1000 INRA (Pellerin et al., 2019) ([lien vers le fichier](#))
- Rapport de l'UNCCD sur les technologies « Sustainable Land Management » (Sanz et al., 2017) ([lien vers le fichier](#))
- Dictionnaire de données pour les tables relatives aux données d'enquêtes agronomiques - DONESOL version 2.0.5 (Boulonne, 2011) ([lien vers le fichier](#))
- Autres rapports, glossaires, à partir desquels certaines définitions ont été extraites : [lien vers le dossier de partage contenant les fichiers pdf](#)
- Articles scientifiques ([Erreur ! Source du renvoi introuvable.](#), à la fin du document).

Les définitions ont été compilées en français et/ou en anglais. Certaines définitions ont été traduites depuis l'anglais (notées « traduction KF »).

Un ‘mind mapping’ a été réalisé, reprenant la hiérarchie des catégories retenues (Figure 1) :
<https://gitmind.com/app/doc/469dc07d104f7a1f98cd9bf4e0f2b0a>

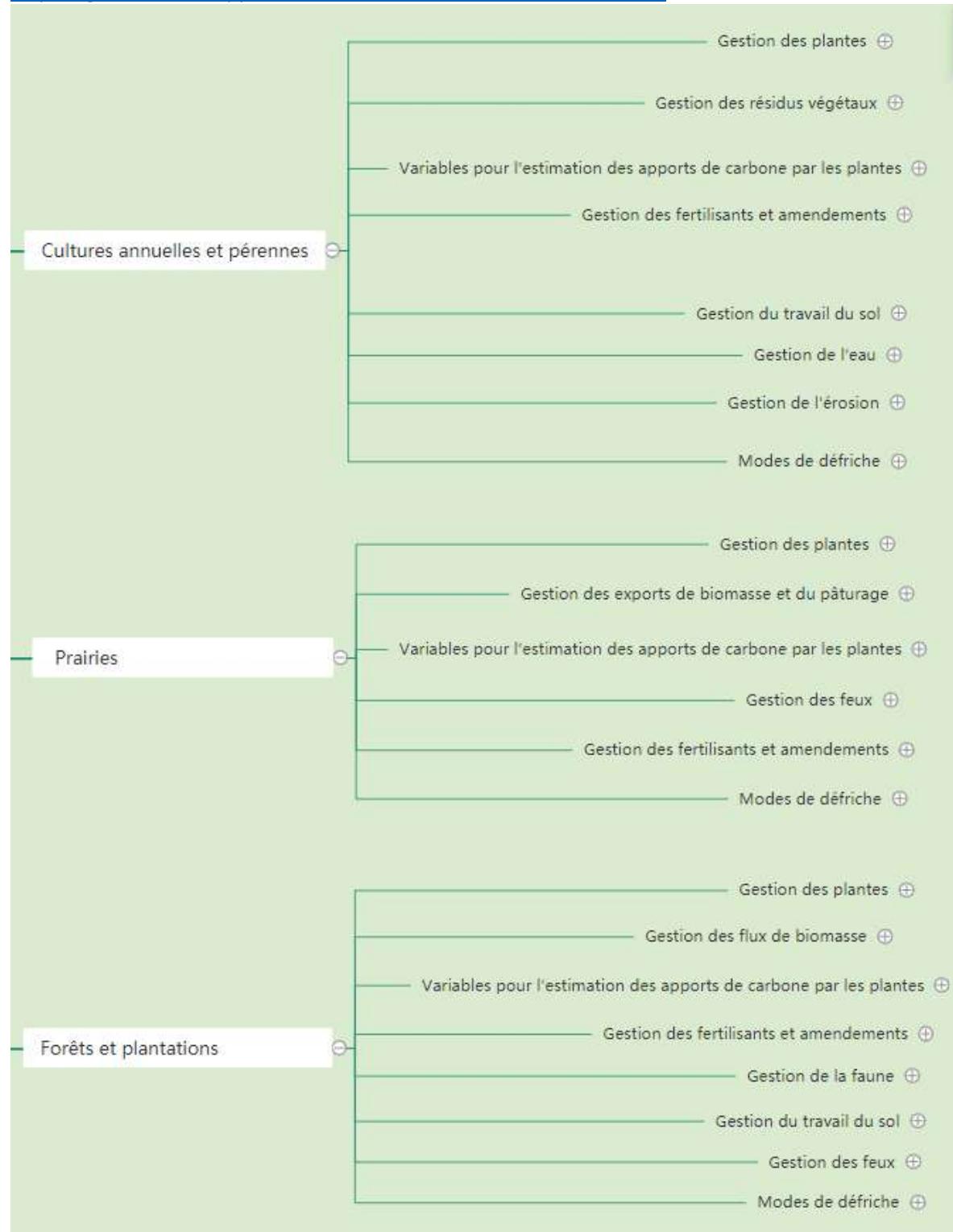


Figure 1 : Extrait des principales catégories de pratiques de gestion définies
<https://gitmind.com/app/doc/469dc07d104f7a1f98cd9bf4e0f2b0a>

Les définitions et détails de ces 3 catégories sont présentés en annexe 2.

3. Conclusions et perspectives

Ont ainsi été identifiés, proposés et validés :

- Les principales variables influençant les stocks de carbone et leurs variations,
- Les vocabulaires et référentiels à utiliser pour catégoriser les occupations et usages des sols ainsi que les pratiques

Il reste à produire des recommandations (T1.3) ou règles communes pour renseigner ces variables quantitatives et qualitatives.

4. Références citées

- Alcántara, V., Don, A., Well, R., Nieder, R., 2016. Deep ploughing increases agricultural soil organic matter stocks. *Global Change Biology* 22, 2939–2956. <https://doi.org/10.1111/gcb.13289>
- Allen, V.G., Batello, C., Berretta, E.J., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., McIvor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A., Sanderson, M., 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science* 66, 2–28. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x>
- Angers, D.A., Eriksen-Hamel, N.S., 2008. Full-Inversion Tillage and Organic Carbon Distribution in Soil Profiles: A Meta-Analysis. *Soil Science Society of America Journal* 72, 1370–1374. <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0342>
- Arrouays, D., Saby, N., Walter, C., Lemercier, B., Schwart, C., 2006. Relationships between particle-size distribution and organic carbon in French arable topsoils. *Soil Use and Management* 22, 48–51. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2006.00020.x>
- Assouma, M.H., Hiernaux, P., Lecomte, P., Ickowicz, A., Bernoux, M., Vayssières, J., 2019. Contrasted seasonal balances in a Sahelian pastoral ecosystem result in a neutral annual carbon balance. *Journal of Arid Environments* 162, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.11.013>
- Averill, C., Dietze, M.C., Bhatnagar, J.M., 2018. Continental-scale nitrogen pollution is shifting forest mycorrhizal associations and soil carbon stocks. *Global Change Biology* 24, 4544–4553. <https://doi.org/10.1111/gcb.14368>
- Averill, C., Turner, B.L., Finzi, A.C., 2014. Mycorrhiza-mediated competition between plants and decomposers drives soil carbon storage. *Nature* 505, 543–545. <https://doi.org/10.1038/nature12901>
- Bai, X., Huang, Y., Ren, W., Coyne, M., Jacinthe, P.-A., Tao, B., Hui, D., Yang, J., Matocha, C., 2019. Responses of soil carbon sequestration to climate-smart agriculture practices: A meta-analysis. *Global Change Biology* 25, 2591–2606. <https://doi.org/10.1111/gcb.14658>
- Balesdent, J., Derrien, D., Fontaine, S., Kirman, S., Klumpp, K., Loiseau, P., Marol, C., Nguyen, C., Péan, M., Personeni, E., 2011. Contribution de la rhizodéposition aux matières organiques du sol, quelques implications pour la modélisation de la dynamique du carbone. *Etude et Gestion des Sols* 16.
- Barré, P., Fernandez-Ugalde, O., Virto, I., Velde, B., Chenu, C., 2014. Impact of phyllosilicate mineralogy on organic carbon stabilization in soils: incomplete knowledge and exciting prospects. *Geoderma* 235–236, 382–395. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.029>
- Barthès, B.G., Kouakoua, E., Larré-Larrouy, M.-C., Razafimbelo, T.M., de Luca, E.F., Azontonde, A., Neves, C.S.V.J., de Freitas, P.L., Feller, C.L., 2008. Texture and sesquioxide effects on water-stable aggregates and organic matter in some tropical soils. *Geoderma* 143, 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.10.003>
- Batjes, N.H., 2019. Technologically achievable soil organic carbon sequestration in world croplands and grasslands. *Land Degradation & Development* 30, 25–32. <https://doi.org/10.1002/lrd.3209>

Bernoux, M., Branca, G., Carro, A., Lipper, L., Smith, G., Bockel, L., 2010. Ex-ante greenhouse gas balance of agriculture and forestry development programs. *Sci. agric.* (Piracicaba, Braz.) 67, 31–40. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000100005>

Bertrand, I., Viaud, V., Daufresne, T., Pellerin, S., Recous, S., 2019. Stoichiometry constraints challenge the potential of agroecological practices for the soil C storage. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 54. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0599-6>

Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., VandenBygaart, A.J., 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118, 29–42. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.013>

Boulonne, L., 2011. Dictionnaire de données pour les tables relatives aux données d'enquêtes agronomiques - DONESOL version 2.0.5.

Broek, M.V. de, Ghiasi, S., Decock, C., Hund, A., Abiven, S., Friedli, C., Werner, R.A., Six, J., 2020. The soil organic carbon stabilization potential of old and new wheat cultivars: a $^{13}\text{CO}_2$ -labeling study. *Biogeosciences* 17, 2971–2986. <https://doi.org/10.5194/bg-17-2971-2020>

Bruins, M., 2009. The evolution and contribution of plant breeding to global agriculture, in: Proceedings of the Second World Seed Conference: Responding to the Challenges of a Changing World: The Role of New Plant Varieties and High Quality Seed in Agriculture. pp. 18–31.

Cagnarini, C., Blyth, E., Emmett, B.A., Evans, C.D., Griffiths, R.I., Keith, A., Jones, L., Lebron, I., McNamara, N.P., Puissant, J., Reinsch, S., Robinson, D.A., Rowe, E.C., Thomas, A.R.C., Smart, S.M., Whitaker, J., Cosby, B.J., 2019. Zones of influence for soil organic matter dynamics: A conceptual framework for data and models. *Global Change Biology* 25, 3996–4007. <https://doi.org/10.1111/gcb.14787>

Callesen, I., Liski, J., Raulund-Rasmussen, K., Olsson, M.T., Tau-Strand, L., Vesterdal, L., Westman, C.J., 2003. Soil carbon stores in Nordic well-drained forest soils—relationships with climate and texture class. *Global Change Biology* 9, 358–370. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00587.x>

Campioli, M., Malhi, Y., Vicca, S., Luyssaert, S., Papale, D., Peñuelas, J., Reichstein, M., Migliavacca, M., Arain, M.A., Janssens, I.A., 2016. Evaluating the convergence between eddy-covariance and biometric methods for assessing carbon budgets of forests. *Nature Communications* 7, 13717. <https://doi.org/10.1038/ncomms13717>

Canarini, A., Kiær, L.P., Dijkstra, F.A., 2017. Soil carbon loss regulated by drought intensity and available substrate: A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry* 112, 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.04.020>

Cardinael, R., Guenet, B., Chevallier, T., Dupraz, C., Cozzi, T., Chenu, C., 2018a. High organic inputs explain shallow and deep SOC storage in a long-term agroforestry system – combining experimental and modeling approaches. *Biogeosciences* 15, 297–317. <https://doi.org/10.5194/bg-15-297-2018>

Cardinael, R., Umulisa, V., Toudert, A., Olivier, A., Bockel, L., Bernoux, M., 2018b. Revisiting IPCC Tier 1 coefficients for soil organic and biomass carbon storage in agroforestry systems. *Environ. Res. Lett.* 13, 124020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaeb5f>

Ceddia, M.B., Villela, A.L.O., Pinheiro, É.F.M., Wendroth, O., 2015. Spatial variability of soil carbon stock in the Urucu river basin, Central Amazon-Brazil. *Science of The Total Environment* 526, 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.121>

Chambers, A., Lal, R., Paustian, K., 2016. Soil carbon sequestration potential of US croplands and grasslands: Implementing the 4 per Thousand Initiative. *Journal of Soil and Water Conservation* 71, 68A-74A. <https://doi.org/10.2489/jswc.71.3.68A>

Chaplot, V., Bouahom, B., Valentin, C., 2010. Soil organic carbon stocks in Laos: spatial variations and controlling factors. *Global Change Biology* 16, 1380–1393. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02013.x>

Cheesman, S., Thierfelder, C., Eash, N.S., Kassie, G.T., Frossard, E., 2016. Soil carbon stocks in conservation agriculture systems of Southern Africa. *Soil and Tillage Research* 156, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.018>

Chen, S., Arrouays, D., Angers, D.A., Martin, M.P., Walter, C., 2019. Soil carbon stocks under different land uses and the applicability of the soil carbon saturation concept. *Soil and Tillage Research, Soil Carbon and Climate Change: the 4 per Mille Initiative* 188, 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.11.001>

Chen, X., Chen, H.Y.H., Chen, C., Ma, Z., Searle, E.B., Yu, Z., Huang, Z., 2020. Effects of plant diversity on soil carbon in diverse ecosystems: a global meta-analysis. *Biological Reviews* 95, 167–183. <https://doi.org/10.1111/brv.12554>

Chenu, C., Angers, D.A., Barré, P., Derrien, D., Arrouays, D., Balesdent, J., 2019. Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research, Soil Carbon and Climate Change: the 4 per Mille Initiative* 188, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.04.011>

Chevallier, T., Fujisaki, K., Rouspard, O., Guidat, F., Kinoshita, R., Melo Viginio Filho, E. de, Lehner, P., Albrecht, A., 2019. Short-range-order minerals as powerful factors explaining deep soil organic carbon stock distribution: the case of a coffee agroforestry plantation on Andosols in Costa Rica. *SOIL* 5, 315–332. <https://doi.org/10.5194/soil-5-315-2019>

Conant, R.T., Cerri, C.E.P., Osborne, B.B., Paustian, K., 2017b. Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecological Applications* 27, 662–668. <https://doi.org/10.1002/eap.1473>

Corbeels, M., Cardinael, R., Naudin, K., Guibert, H., Torquebiau, E., 2019. The 4 per 1000 goal and soil carbon storage under agroforestry and conservation agriculture systems in sub-Saharan Africa. *Soil and Tillage Research, Soil Carbon and Climate Change: the 4 per Mille Initiative* 188, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.02.015>

Courte, A., Cialdella, N., Muller, A., Blanfort, V., Bochu, J.-L., Brossard, M., 2020. Recenser et évaluer les pratiques agricoles qui stockent le carbone des sols, premier pas vers une agriculture à faible impact en Guyane. *Cah. Agric.* 29, 21. <https://doi.org/10.1051/cagri/2020019>

Crowther, T.W., Riggs, C., Lind, E.M., Borer, E.T., Seabloom, E.W., Hobbie, S.E., Wubs, J., Adler, P.B., Firn, J., Gherardi, L., Hagenah, N., Hofmockel, K.S., Knops, J.M.H., McCulley, R.L., MacDougall, A.S., Peri, P.L., Prober, S.M., Stevens, C.J., Routh, D., 2019. Sensitivity of global soil carbon stocks to combined nutrient enrichment. *Ecology Letters* 22, 936–945. <https://doi.org/10.1111/ele.13258>

CRPF Pays-de-la-Loire – CRPF Bretagne, n.d. Lexique des termes forestiers usuels.

Dassot, P.M., Wehrlen, L., Collet, C., 2015. La scarification du sol et le dosage du couvert forestier permettent l'installation de la régénération naturelle 5.

Dawud, S.M., Raulund-Rasmussen, K., Ratcliffe, S., Domisch, T., Finér, L., Joly, F.-X., Hättenschwiler, S., Vesterdal, L., 2017. Tree species functional group is a more important driver of soil properties than tree species diversity across major European forest types. *Functional Ecology* 31, 1153–1162. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12821>

De Stefano, A., Jacobson, M.G., 2018. Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a meta-analysis. *Agroforest Syst* 92, 285–299. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0147-9>

Dębska, B., Długosz, J., Piotrowska-Długosz, A., Banach-Szott, M., 2016. The impact of a bio-fertilizer on the soil organic matter status and carbon sequestration—results from a field-scale study. *J Soils Sediments* 16, 2335–2343. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1430-5>

Dignac, M.-F., Derrien, D., Barré, P., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., Chevallier, T., Freschet, G.T., Garnier, P., Guenet, B., Hedde, M., Klumpp, K., Lashermes, G., Maron, P.-A., Nunan, N., Roumet, C., Basile-Doelsch, I., 2017.

Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. Agron. Sustain. Dev. 37, 14. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0421-2>

Dimassi, B., Mary, B., Willeman, R., Labreuche, J., Couture, D., Piraux, F., Cohan, J.-P., 2014. Long-term effect of contrasted tillage and crop management on soil carbon dynamics during 41 years. Agriculture, Ecosystems & Environment 188, 134–146. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.014>

Doetterl, S., Stevens, A., Six, J., Merckx, R., Van Oost, K., Casanova Pinto, M., Casanova-Katny, A., Muñoz, C., Boudin, M., Zagal Venegas, E., Boeckx, P., 2015. Soil carbon storage controlled by interactions between geochemistry and climate. Nature Geoscience 8, 780–783. <https://doi.org/10.1038/ngeo2516>

Don, A., Schumacher, J., Freibauer, A., 2011. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis. Global Change Biology 17, 1658–1670. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x>

Dykstra, D.P., Heinrich, R., 1996. FAO model code of forest harvesting practice. FAO.

Enters, T., Durst, P.B., Applegate, G.B., Kho, P.C., Man, G., 2002. Applying Reduced Impact Logging to Advance Sustainable Forest Management.

FAO, 2016. Programme mondial du recensement de l'agriculture 2020. Volume 1 Programme, concepts et définitions. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome.

FAO, 2017. World Programme for the Census of Agriculture 2020. Volume 1 Programme, Concepts and Definitions. FAO Rome.

FAO/GFMC, 1999. Updated Wildland Fire Management Terminology.

Feng, W., Plante, A.F., Six, J., 2013. Improving estimates of maximal organic carbon stabilization by fine soil particles. Biogeochemistry 112, 81–93. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9679-7>

Fissore, C., Dalzell, B.J., Berhe, A.A., Voegtle, M., Evans, M., Wu, A., 2017. Influence of topography on soil organic carbon dynamics in a Southern California grassland. CATENA 149, 140–149. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.09.016>

Fontaine, S., Stahl, C., Klumpp, K., Picon-Cochard, C., Grise, M.M., Dezécache, C., Ponchant, L., Freycon, V., Blanc, L., Bonal, D., Burban, B., Soussana, J.-F., Blanfort, V., Alvarez, G., 2018. Response to Editor to the comment by Schipper & Smith to our paper entitled “Continuous soil carbon storage of old permanent pastures in Amazonia.” Global Change Biology 24, e732–e733. <https://doi.org/10.1111/gcb.14028>

Ford-Robertson, F.C., 1971. Terminology of Forest Science, Technology Practice and Products: English-language Version. Soc. of American Foresters.

Forkuor, G., Hounkpatin, O.K.L., Welp, G., Thiel, M., 2017. High Resolution Mapping of Soil Properties Using Remote Sensing Variables in South-Western Burkina Faso: A Comparison of Machine Learning and Multiple Linear Regression Models. PLOS ONE 12, e0170478. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170478>

Fornara, D., Olave, R., Higgins, A., 2020. Evidence of low response of soil carbon stocks to grassland intensification. Agriculture, Ecosystems & Environment 287, 106705. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106705>

Francaviglia, R., Di Bene, C., Farina, R., Salvati, L., Vicente-Vicente, J.L., 2019. Assessing “4 per 1000” soil organic carbon storage rates under Mediterranean climate: a comprehensive data analysis. Mitig Adapt Strateg Glob Change 24, 795–818. <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9832-x>

Fujisaki, K., Chevallier, T., Chapuis-Lardy, L., Albrecht, A., Razafimbelo, T., Masse, D., Ndour, Y.B., Chotte, J.-L., 2018a. Soil carbon stock changes in tropical croplands are mainly driven by carbon inputs: a synthesis. Agriculture, Ecosystems & Environment 259, 147–158. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.008>

Fujisaki, K., Chevallier, T., Chapuis-Lardy, L., Albrecht, A., Razafimbelo, T., Masse, D., Ndour, Y.B., Chotte, J.-L., 2018b. Soil carbon stock changes in tropical croplands are mainly driven by carbon inputs: A synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 259, 147–158. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.008>

Fujisaki, K., Chevallier, T., Chapuis-Lardy, L., Albrecht, A., Razafimbelo, T., Masse, D., Ndour, Y.B., Chotte, J.-L., 2018. Soil carbon stock changes in tropical croplands are mainly driven by carbon inputs: A synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 259, 147–158. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.008>

García-Palacios, P., Göttinger, A., Bracht-Jørgensen, H., Brussaard, L., Carvalho, F., Castro, H., Clément, J.-C., Deyn, G.D., D'Hertefeldt, T., Foulquier, A., Hedlund, K., Lavorel, S., Legay, N., Lori, M., Mäder, P., Martínez-García, L.B., Silva, P.M. da, Muller, A., Nascimento, E., Reis, F., Symanczik, S., Sousa, J.P., Milla, R., 2018. Crop traits drive soil carbon sequestration under organic farming. *Journal of Applied Ecology* 55, 2496–2505. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13113>

Göttinger, A., Muller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., Mader, P., Stolze, M., Smith, P., Scialabba, N.E.-H., Niggli, U., 2012. Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109, 18226–18231. <https://doi.org/10.1073/pnas.1209429109>

Govaerts, B., Verhulst, N., Castellanos-Navarrete, A., Sayre, K.D., Dixon, J., Dendooven, L., 2009. Conservation Agriculture and Soil Carbon Sequestration: Between Myth and Farmer Reality. *Critical Reviews in Plant Sciences* 28, 97–122. <https://doi.org/10.1080/07352680902776358>

Graaff, M.-A.D., Groenigen, K.-J.V., Six, J., Hungate, B., Kessel, C.V., 2006. Interactions between plant growth and soil nutrient cycling under elevated CO₂: a meta-analysis. *Global Change Biology* 12, 2077–2091. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01240.x>

Griscom, B.W., Adams, J., Ellis, P.W., Houghton, R.A., Lomax, G., Miteva, D.A., Schlesinger, W.H., Shoch, D., Siikamäki, J.V., Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R.T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M.R., Herrero, M., Kiesecker, J., Landis, E., Laestadius, L., Leavitt, S.M., Minnemeyer, S., Polasky, S., Potapov, P., Putz, F.E., Sanderman, J., Silvius, M., Wollenberg, E., Fargione, J., 2017. Natural climate solutions. *PNAS* 114, 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>

Grover, S.P., Butterly, C.R., Wang, X., Gleeson, D.B., Macdonald, L.M., Hall, D., Tang, C., 2020. An agricultural practise with climate and food security benefits: “Claying” with kaolinitic clay subsoil decreased soil carbon priming and mineralisation in sandy cropping soils. *Science of The Total Environment* 709, 134488. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134488>

Grüneberg, E., Ziche, D., Wellbrock, N., 2014. Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. *Global Change Biology* 20, 2644–2662. <https://doi.org/10.1111/gcb.12558>

Haddaway, N.R., Hedlund, K., Jackson, L.E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I.K., Jørgensen, H.B., Isberg, P.-E., 2017. How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environ Evid* 6, 30. <https://doi.org/10.1186/s13750-017-0108-9>

Haden, A.C. von, Yang, W.H., DeLucia, E.H., 2020. Soils' dirty little secret: Depth-based comparisons can be inadequate for quantifying changes in soil organic carbon and other mineral soil properties. *Global Change Biology* 26, 3759–3770. <https://doi.org/10.1111/gcb.15124>

Hamdi, S., Moyano, F., Sall, S., Bernoux, M., Chevallier, T., 2013. Synthesis analysis of the temperature sensitivity of soil respiration from laboratory studies in relation to incubation methods and soil conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 58, 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.11.012>

Harris, F., 2002. Management of Manure in Farming Systems in Semi-arid West Africa. *Ex. Agric.* 38, 131–148. <https://doi.org/10.1017/S0014479702000212>

Hashimoto, S., Nanko, K., Tupek, B., Lehtonen, A., 2017. Data-mining analysis of the global distribution of soil carbon in observational databases and Earth system models. *Geoscientific Model Development* 10, 1321–1337. <https://doi.org/10.5194/gmd-10-1321-2017>

Hassink, J., 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil* 191, 77–87. <https://doi.org/10.1023/A:1004213929699>

Heim, A., Wehrli, L., Eugster, W., Schmidt, M.W.I., 2009. Effects of sampling design on the probability to detect soil carbon stock changes at the Swiss CarboEurope site Lägeren. *Geoderma* 149, 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.12.018>

Hobley, E.U., Murphy, B., Simmons, A., 2018. Comment on “Soil organic stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content” by Poeplau et al. (2017). *SOIL* 4, 169–171. <https://doi.org/10.5194/soil-4-169-2018>

Hou, E., Chen, C., Wen, D., Liu, X., 2014. Relationships of phosphorus fractions to organic carbon content in surface soils in mature subtropical forests, Dinghushan, China. *Soil Res.* 52, 55. <https://doi.org/10.1071/SR13204>

Huang, X., Feng, C., Zhao, G., Ding, M., Kang, W., Yu, G., Ran, W., Shen, Q., 2017. Carbon Sequestration Potential Promoted by Oxalate Extractable Iron Oxides through Organic Fertilization. *Soil Science Society of America Journal* 81, 1359–1370. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.02.0068>

Hyvönen, R., Persson, T., Andersson, S., Olsson, B., Ågren, G.I., Linder, S., 2008. Impact of long-term nitrogen addition on carbon stocks in trees and soils in northern Europe. *Biogeochemistry* 89, 121–137. <https://doi.org/10.1007/s10533-007-9121-3>

IBI, 2018. Frequently Asked Questions About Biochar: What is biochar? International Biochar Initiative (IBI) [WWW Document].

IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T and Tanabe K. Hayama, Kanagawa, Japan.

Jackson, R.B., Lalitha, K., Crow, S.E., Hugelius, G., Kramer, M.G., Piñeiro, G., 2017. The Ecology of Soil Carbon: Pools, Vulnerabilities, and Biotic and Abiotic Controls. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 48, 419–445. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054234>

Jacobs, A., Poeplau, C., Weiser, C., Fahrion-Nitschke, A., Don, A., 2020. Exports and inputs of organic carbon on agricultural soils in Germany. *Nutr Cycl Agroecosyst.* <https://doi.org/10.1007/s10705-020-10087-5>

James, J., Harrison, R., 2016. The Effect of Harvest on Forest Soil Carbon: A Meta-Analysis. *Forests* 7, 308. <https://doi.org/10.3390/f7120308>

Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D.W., Minkkinen, K., Byrne, K.A., 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma* 137, 253–268. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.09.003>

Jian, S., Li, J., Chen, J., Wang, G., Mayes, M.A., Dzantor, K.E., Hui, D., Luo, Y., 2016. Soil extracellular enzyme activities, soil carbon and nitrogen storage under nitrogen fertilization: A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry* 101, 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.07.003>

Jonard, M., Nicolas, M., Coomes, D.A., Cailliet, I., Saenger, A., Ponette, Q., 2017. Forest soils in France are sequestering substantial amounts of carbon. *Science of The Total Environment* 574, 616–628. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.028>

Jones, A.R., Orton, T.G., Dalal, R.C., 2016. The legacy of cropping history reduces the recovery of soil carbon and nitrogen after conversion from continuous cropping to permanent pasture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 216, 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.029>

Kato, M.S.A., Kato, O.R., Denich, M., Vlek, P.L.G., 1999. Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the eastern Amazon region: the role of fertilizers. *Field Crops Research* 62, 225–237. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00021-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00021-0)

Kerr, D.D., Ochsner, T.E., 2020. Soil organic carbon more strongly related to soil moisture than soil temperature in temperate grasslands. *Soil Science Society of America Journal* 84, 587–596. <https://doi.org/10.1002/saj2.20018>

Laganière, J., Angers, D.A., Paré, D., 2010. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. *Global Change Biology* 16, 439–453. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01930.x>

Lal, R., 2010. Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security. *BioScience* 60, 708–721. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.9.8>

Landais, É., Lhoste, P., 1993. Systèmes d'élevage et transfert de fertilité dans la zone des savanes africaines. 2: les systèmes de gestion de la fumure animale et leur insertion dans les relations entre l'élevage et l'agriculture.

Lange, M., Eisenhauer, N., Sierra, C.A., Bessler, H., Engels, C., Griffiths, R.I., Mellado-Vázquez, P.G., Malik, A.A., Roy, J., Scheu, S., Steinbeiss, S., Thomson, B.C., Trumbore, S.E., Gleixner, G., 2015. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nature Communications* 6, 6707. <https://doi.org/10.1038/ncomms7707>

Lavelle, P., Spain, A., Fonte, S., Bedano, J.C., Blanchart, E., Galindo, V., Grimaldi, M., Jimenez, J.J., Velasquez, E., Zangerlé, A., 2020. Soil aggregation, ecosystem engineers and the C cycle. *Acta Oecologica* 105, 103561. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103561>

Lazdina, D., Makovskis, K., Kofman, P., Unrau, A., 2017. The Eurocoppice Glossary: terms & definitions related to coppice.

ledo, A., Smith, P., Zerihun, A., Whitaker, J., Vicente-Vicente, J.L., Qin, Z., McNamara, N.P., Zinn, Y.L., Llorente, M., Liebig, M., Kuhnert, M., Dondini, M., Don, A., Diaz-Pines, E., Datta, A., Bakka, H., Aguilera, E., Hillier, J., 2020. Changes in soil organic carbon under perennial crops. *Global Change Biology* 26, 4158–4168. <https://doi.org/10.1111/gcb.15120>

Leifeld, J., Angers, D.A., Chenu, C., Fuhrer, J., Kätterer, T., Powlson, D.S., 2013. Organic farming gives no climate change benefit through soil carbon sequestration. *PNAS* 110, E984–E984. <https://doi.org/10.1073/pnas.1220724110>

Lenka, N.K., Sudhishri, S., Dass, A., Choudhury, P.R., Lenka, S., Patnaik, U.S., 2013. Soil carbon sequestration as affected by slope aspect under restoration treatments of a degraded alfisol in the Indian sub-tropics. *Geoderma* 204–205, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.04.009>

Levasseur, P., Soulier, A., Lagrange, H., Trochard, R., Foray, S., Charpiot, A., Ponchant, P., Blazy, V., n.d. Valorisation agronomique des effluents d'élevages de porcs, bovins, ovins, caprins, volailles et lapins. RMT Elevage et Environnement, Paris, 83 pages.

Li, Y., Shi, S., Waqas, M.A., Zhou, X., Li, J., Wan, Y., Qin, X., Gao, Q., Liu, S., Wilkes, A., 2018. Long-term (≥ 20 years) application of fertilizers and straw return enhances soil carbon storage: a meta-analysis. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 23, 603–619. <https://doi.org/10.1007/s11027-017-9751-2>

Liu, C., Lu, M., Cui, J., Li, B., Fang, C., 2014. Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: a meta-analysis. *Global Change Biology* 20, 1366–1381. <https://doi.org/10.1111/gcb.12517>

Livsey, J., Kätterer, T., Vico, G., Lyon, S.W., Lindborg, R., Scaini, A., Da, C.T., Manzoni, S., 2019. Do alternative irrigation strategies for rice cultivation decrease water footprints at the cost of long-term soil health? *Environ. Res. Lett.* 14, 074011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2108>

Lorenz, M., Thiele-Bruhn, S., 2019. Tree species affect soil organic matter stocks and stoichiometry in interaction with soil microbiota. *Geoderma* 353, 35–46. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.06.021>

Luo, Z., Feng, W., Luo, Y., Baldock, J., Wang, E., 2017. Soil organic carbon dynamics jointly controlled by climate, carbon inputs, soil properties and soil carbon fractions. *Global Change Biology* 23, 4430–4439. <https://doi.org/10.1111/gcb.13767>

Lutter, R., Kõlli, R., Tullus, A., Tullus, H., 2019. Ecosystem carbon stocks of Estonian premature and mature managed forests: effects of site conditions and overstorey tree species. *Eur J Forest Res* 138, 125–142. <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1158-4>

Ma, M., Chang, R., 2019. Temperature drive the altitudinal change in soil carbon and nitrogen of montane forests: Implication for global warming. *CATENA* 182, 104126. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104126>

Mahmoudabadi, E., Karimi, A., Haghnia, G.H., Sepehr, A., 2017. Digital soil mapping using remote sensing indices, terrain attributes, and vegetation features in the rangelands of northeastern Iran. *Environ Monit Assess* 189, 500. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6197-7>

Maillard, É., Angers, D.A., 2014. Animal manure application and soil organic carbon stocks: a meta-analysis. *Global Change Biology* 20, 666–679. <https://doi.org/10.1111/gcb.12438>

Malhi, Y., Aragão, L.E.O.C., Metcalfe, D.B., Paiva, R., Quesada, C.A., Almeida, S., Anderson, L., Brando, P., Chambers, J.Q., Costa, A.C.L.D., Hutyra, L.R., Oliveira, P., Patiño, S., Pyle, E.H., Robertson, A.L., Teixeira, L.M., 2009. Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. *Global Change Biology* 15, 1255–1274. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01780.x>

Malhi, Y., Doughty, C., Galbraith, D., 2011. The allocation of ecosystem net primary productivity in tropical forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 366, 3225–3245. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0062>

Malhi, Y., Girardin, C.A.J., Goldsmith, G.R., Doughty, C.E., Salinas, N., Metcalfe, D.B., Huasco, W.H., Silva-Espejo, J.E., Aguilla-Pasquell, J. del, Amézquita, F.F., Aragão, L.E.O.C., Guerrieri, R., Ishida, F.Y., Bahar, N.H.A., Farfan-Rios, W., Phillips, O.L., Meir, P., Silman, M., 2017. The variation of productivity and its allocation along a tropical elevation gradient: a whole carbon budget perspective. *New Phytologist* 214, 1019–1032. <https://doi.org/10.1111/nph.14189>

Manning, P., Vries, F.T. de, Tallowin, J.R.B., Smith, R., Mortimer, S.R., Pilgrim, E.S., Harrison, K.A., Wright, D.G., Quirk, H., Benson, J., Shipley, B., Cornelissen, J.H.C., Kattge, J., Bönisch, G., Wirth, C., Bardgett, R.D., 2015. Simple measures of climate, soil properties and plant traits predict national-scale grassland soil carbon stocks. *Journal of Applied Ecology* 52, 1188–1196. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12478>

Marín-Spiotta, E., Sharma, S., 2013. Carbon storage in successional and plantation forest soils: a tropical analysis. *Global Ecology and Biogeography* 22, 105–117. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2012.00788.x>

Marmo, L., Feix, I., Bourneau, E., Amlinger, F., Bannick, C., De Neve, S., 2004. Reports of the Technical Working Groups Established Under the Thematic Strategy for Soil Protection. Volume-III. Organic Matter and Biodiversity. Taskgroup 4 on Exogenous Organic Matter. EUR 21319 EN/3. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. Available online at: <http://ec.europa.eu/environment/archives/soil/pdf/vol3.pdf>.

Martin, M.P., Wattenbach, M., Smith, P., Meersmans, J., Jolivet, C., Boulonne, L., Arrouays, D., 2011. Spatial distribution of soil organic carbon stocks in France. *Biogeosciences* 8, 1053–1065. <https://doi.org/10.5194/bg-8-1053-2011>

Mary, B., Clivot, H., Blaszczyk, N., Labreuche, J., Ferchaud, F., 2020. Soil carbon storage and mineralization rates are affected by carbon inputs rather than physical disturbance: Evidence from a 47-year tillage experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 299, 106972. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106972>

Mayer, M., Prescott, C.E., Abaker, W.E.A., Augusto, L., Cécillon, L., Ferreira, G.W.D., James, J., Jandl, R., Katzensteiner, K., Laclau, J.-P., Laganière, J., Nouvellon, Y., Paré, D., Stanturf, J.A., Vanguelova, E.I., Vesterdal, L., 2020. Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. *Forest Ecology and Management* 466, 118127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118127>

Mayer, S., Kühnel, A., Burmeister, J., Kögel-Knabner, I., Wiesmeier, M., 2019. Controlling factors of organic carbon stocks in agricultural topsoils and subsoils of Bavaria. *Soil and Tillage Research* 192, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.021>

McDonald, A.J., Hobbs, P.R., Riha, S.J., 2006. Does the system of rice intensification outperform conventional best management?: A synopsis of the empirical record. *Field Crops Research* 96, 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.05.003>

McGourty, G.T., Reganold, J.P., 2005. Managing vineyard soil organic matter with cover crops, in: Proceedings of the Soil Environment and Vine Mineral Nutrition Symposium. Davis, CA.: American Society for Enology and Viticulture, pp. 145–151.

Meersmans, J., Arrouays, D., Van Rompaey, A.J.J., Pagé, C., De Baets, S., Quine, T.A., 2016. Future C loss in mid-latitude mineral soils: climate change exceeds land use mitigation potential in France. *Scientific Reports* 6, 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep35798>

Meersmans, J., Wesemael, B.V., Ridder, F.D., Dotti, M.F., Baets, S.D., Molle, M.V., 2009. Changes in organic carbon distribution with depth in agricultural soils in northern Belgium, 1960–2006. *Global Change Biology* 15, 2739–2750. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01855.x>

Mi, W., Sun, Y., Zhao, C., Wu, L., 2019. Soil organic carbon and its labile fractions in paddy soil as influenced by water regimes and straw management. *Agricultural Water Management* 224, 105752. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105752>

Moore, S., Adu-Bredu, S., Duah-Gyamfi, A., Addo-Danso, S.D., Ibrahim, F., Mbou, A.T., Grandcourt, A. de, Valentini, R., Nicolini, G., Djagbletey, G., Owusu-Afriyie, K., Gvozdevaite, A., Oliveras, I., Ruiz-Jaen, M.C., Malhi, Y., 2018. Forest biomass, productivity and carbon cycling along a rainfall gradient in West Africa. *Global Change Biology* 24, e496–e510. <https://doi.org/10.1111/gcb.13907>

Moyano, F.E., Manzoni, S., Chenu, C., 2013. Responses of soil heterotrophic respiration to moisture availability: An exploration of processes and models. *Soil Biology and Biochemistry* 59, 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.01.002>

Nair, P.K.R., Kumar, B.M., Nair, V.D., 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172, 10–23. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800030>

Nave, L.E., Vance, E.D., Swanston, C.W., Curtis, P.S., 2009. Impacts of elevated N inputs on north temperate forest soil C storage, C/N, and net N-mineralization. *Geoderma* 153, 231–240. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.08.012>

Nave, L.E., Vance, E.D., Swanston, C.W., Curtis, P.S., 2010. Harvest impacts on soil carbon storage in temperate forests. *Forest Ecology and Management* 259, 857–866. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.12.009>

Nave, L.E., Vance, E.D., Swanston, C.W., Curtis, P.S., 2011. Fire effects on temperate forest soil C and N storage. *Ecological Applications* 21, 1189–1201. <https://doi.org/10.1890/10-0660.1>

Neumann, M., Godbold, D.L., Hirano, Y., Finér, L., 2020. Improving models of fine root carbon stocks and fluxes in European forests. *Journal of Ecology* 108, 496–514. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13328>

Neumann, M., Ukonmaanaho, L., Johnson, J., Benham, S., Vesterdal, L., Novotný, R., Verstraeten, A., Lundin, L., Thimonier, A., Michopoulos, P., Hasenauer, H., 2018. Quantifying Carbon and Nutrient Input From Litterfall in

European Forests Using Field Observations and Modeling. *Global Biogeochemical Cycles* 32, 784–798.
<https://doi.org/10.1029/2017GB005825>

Nishimura, S., Yonemura, S., Sawamoto, T., Shirato, Y., Akiyama, H., Sudo, S., Yagi, K., 2008. Effect of land use change from paddy rice cultivation to upland crop cultivation on soil carbon budget of a cropland in Japan. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 125, 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.11.003>

O'Brien, S.L., Jastrow, J.D., Grimley, D.A., Gonzalez-Meler, M.A., 2015. Edaphic controls on soil organic carbon stocks in restored grasslands. *Geoderma* 251–252, 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.03.023>

Ofori, F., Stern, W.R., 1987. Cereal-Legume Intercropping Systems, in: Brady, N.C. (Ed.), *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp. 41–90. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60802-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60802-0)

Page-Dumroese, D.S., Brown, R.E., Jurgensen, M.F., Mroz, G.D., 1999. Comparison of Methods for Determining Bulk Densities of Rocky Forest Soils. *Soil Science Society of America Journal* 63, 379–383. <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.03615995006300020016x>

Palm, C., Vosti, S.A., Sanchez, P.A., Erickson, P.J., 2005. *Slash-and-burn agriculture: the search for alternatives*. Columbia University Press.

Paradelo, R., Virto, I., Chenu, C., 2015. Net effect of liming on soil organic carbon stocks: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 202, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.005>

Partey, S.T., Zougmoré, R.B., Ouédraogo, M., Campbell, B.M., 2018. Developing climate-smart agriculture to face climate variability in West Africa: Challenges and lessons learnt. *Journal of Cleaner Production* 187, 285–295. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.199>

Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., Smith, P., 2016. Climate-smart soils. *Nature* 532, 49–57. <https://doi.org/10.1038/nature17174>

Pellerin, S., Bamière, L., Launay, C., Martin, R., Schiavo, M., Angers, D., Augusto, L., Balesdent, J., Doelsch, I.B., Bellassen, V., Cardinael, R., Cécillon, L., Ceschia, E., Chenu, C., Constantin, J., Darroussin, J., Delacote, P., Delame, N., Gastal, F., Gilbert, D., Graux, A.-I., Guenet, B., Houot, S., Klumpp, K., Letort, E., Litrico, I., Martin, M., Menasseri, S., Mézière, D., Morvan, T., Mosnier, C., Roger-Estrade, J., Saint-André, L., Sierra, J., Thérond, O., Viaud, V., Grateau, R., Le Perche, S., Savini, I., Réchauchère, O., 2019. Stocker du carbone dans les sols français, quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût?, *Synthèse du rapport d'étude*, INRA (France). ed.

Poeplau, C., Don, A., 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 200, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>

Poeplau, C., Vos, C., Don, A., 2017. Soil organic carbon stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content. *SOIL* 3, 61–66. <https://doi.org/10.5194/soil-3-61-2017>

Porras, R.C., Hicks Pries, C.E., McFarlane, K.J., Hanson, P.J., Torn, M.S., 2017. Association with pedogenic iron and aluminum: effects on soil organic carbon storage and stability in four temperate forest soils. *Biogeochemistry* 133, 333–345. <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0337-6>

Poulton, P., Johnston, J., Macdonald, A., White, R., Powlson, D., 2018. Major limitations to achieving “4 per 1000” increases in soil organic carbon stock in temperate regions: Evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, United Kingdom. *Global Change Biology* 24, 2563–2584. <https://doi.org/10.1111/gcb.14066>

Powers, J.S., Corre, M.D., Twine, T.E., Veldkamp, E., 2011. Geographic bias of field observations of soil carbon stocks with tropical land-use changes precludes spatial extrapolation. *PNAS* 108, 6318–6322. <https://doi.org/10.1073/pnas.1016774108>

Powlson, D.S., Riche, A.B., Coleman, K., Glendining, M.J., Whitmore, A.P., 2008. Carbon sequestration in European soils through straw incorporation: Limitations and alternatives. *Waste Management, OECD Workshop*

- Soils and Waste Management: A Challenge to Climate Change 28, 741–746.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.024>

Powlson, D.S., Stirling, C.M., Jat, M.L., Gerard, B.G., Palm, C.A., Sanchez, P.A., Cassman, K.G., 2014. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change* 4, 678–683.
<https://doi.org/10.1038/nclimate2292>

Rasmussen, C., Heckman, K., Wieder, W.R., Keiluweit, M., Lawrence, C.R., Berhe, A.A., Blankinship, J.C., Crow, S.E., Druhan, J.L., Hicks Pries, C.E., Marin-Spiotta, E., Plante, A.F., Schädel, C., Schimel, J.P., Sierra, C.A., Thompson, A., Wagai, R., 2018. Beyond clay: towards an improved set of variables for predicting soil organic matter content. *Biogeochemistry* 137, 297–306. <https://doi.org/10.1007/s10533-018-0424-3>

Reicosky, D.C., 2015. Conservation tillage is not conservation agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation* 70, 103A-108A. <https://doi.org/10.2489/jswc.70.5.103A>

Rial, M., Martínez Cortizas, A., Rodríguez-Lado, L., 2017. Understanding the spatial distribution of factors controlling topsoil organic carbon content in European soils. *Science of The Total Environment* 609, 1411–1422.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.012>

Rowley, M.C., Grand, S., Verrecchia, É.P., 2018. Calcium-mediated stabilisation of soil organic carbon. *Biogeochemistry* 137, 27–49. <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0410-1>

Sanderman, J., Hengl, T., Fiske, G.J., 2017. Soil carbon debt of 12,000 years of human land use. *PNAS* 114, 9575–9580. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706103114>

Sanz, M.J., De Vente, J.L., Chotte, J.-L., Bernoux, M., Kust, G., Ruiz, I., Almagro, M., Alloza, J.A., Vallejo, R., Castillo, V., 2017. Sustainable land management contribution to successful land-based climate change adaptation and mitigation: A report of the science-policy interface.

Scharlemann, J.P., Tanner, E.V., Hiederer, R., Kapos, V., 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management* 5, 81–91. <https://doi.org/10.4155/cmt.13.77>

Schiedung, M., Tregurtha, C.S., Beare, M.H., Thomas, S.M., Don, A., 2019. Deep soil flipping increases carbon stocks of New Zealand grasslands. *Global Change Biology* 25, 2296–2309. <https://doi.org/10.1111/gcb.14588>

Schillaci, C., Lombardo, L., Saia, S., Fantappiè, M., Märker, M., Acutis, M., 2017. Modelling the topsoil carbon stock of agricultural lands with the Stochastic Gradient Treeboost in a semi-arid Mediterranean region. *Geoderma* 286, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.019>

Schuck, A., Päivinen, R., Hytönen, T., Pajari, B., 2002. Compilation of forestry terms and definitions. European Forest Institute.

Scopel, E., Triomphe, B., Kochhann, R.A., 2004. Direct seeding mulch-based cropping systems (DMC) in Latin America 17.

Shi, L., Feng, W., Xu, J., Kuzyakov, Y., 2018. Agroforestry systems: Meta-analysis of soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials. *Land Degradation & Development* 29, 3886–3897. <https://doi.org/10.1002/ldr.3136>

Six, J., Frey, S.D., Thiet, R.K., Batten, K.M., 2006. Bacterial and Fungal Contributions to Carbon Sequestration in Agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal* 70, 555–569. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0347>

Smith, P., 2014. Do grasslands act as a perpetual sink for carbon? *Global Change Biology* 20, 2708–2711. <https://doi.org/10.1111/gcb.12561>

Smith, P., Calvin, K., Nkem, J., Campbell, D., Cherubini, F., Grassi, G., Korotkov, V., Hoang, A.L., Lwasa, S., McElwee, P., Nkonya, E., Saigusa, N., Soussana, J.-F., Taboada, M.A., Manning, F.C., Nampanzira, D., Arias-Navarro, C.,

Vizzarri, M., House, J., Roe, S., Cowie, A., Rounsevell, M., Arneth, A., 2020. Which practices co-deliver food security, climate change mitigation and adaptation, and combat land degradation and desertification? *Global Change Biology* 26, 1532–1575. <https://doi.org/10.1111/gcb.14878>

Smith, P., Martino, Daniel, Cai, Zucong, O'Mara, Frank, Rice, Charles, Scholes, Bob, Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Rose, S., Schneider, U., Towprayoon, S., Wattenbach, M., Rydal, K., Martino, D, Cai, Z, Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., 2007. Agriculture, in: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (Eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 44.

Soudzilovskaia, N.A., van Bodegom, P.M., Terrer, C., Zelfde, M. van't, McCallum, I., Luke McCormack, M., Fisher, J.B., Brundrett, M.C., de Sá, N.C., Tedersoo, L., 2019. Global mycorrhizal plant distribution linked to terrestrial carbon stocks. *Nature Communications* 10, 5077. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13019-2>

Stahl, C., Fontaine, S., Klumpp, K., Picon-Cochard, C., Grise, M.M., Dezécache, C., Ponchant, L., Freycon, V., Blanc, L., Bonal, D., Burban, B., Soussana, J.-F., Blanfort, V., 2017. Continuous soil carbon storage of old permanent pastures in Amazonia. *Global Change Biology* 23, 3382–3392. <https://doi.org/10.1111/gcb.13573>

Stahl, C., Freycon, V., Fontaine, S., Dezécache, C., Ponchant, L., Picon-Cochard, C., Klumpp, K., Soussana, J.-F., Blanfort, V., 2016. Soil carbon stocks after conversion of Amazonian tropical forest to grazed pasture: importance of deep soil layers. *Reg Environ Change* 16, 2059–2069. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0936-0>

Torn, M.S., Trumbore, S.E., Chadwick, O.A., Vitousek, P.M., Hendricks, D.M., 1997. Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. *Nature* 389, 170–173. <https://doi.org/10.1038/38260>

Trost, B., Prochnow, A., Drastig, K., Meyer-Aurich, A., Ellmer, F., Baumecker, M., 2013. Irrigation, soil organic carbon and N₂O emissions. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33, 733–749. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0134-0>

van Groenigen, J.W., van Kessel, C., Hungate, B.A., Oenema, O., Powelson, D.S., van Groenigen, K.J., 2017. Sequestering Soil Organic Carbon: A Nitrogen Dilemma. *Environ. Sci. Technol.* 51, 4738–4739. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01427>

van Noordwijk, M., Cerri, C., Woomer, P.L., Nugroho, K., Bernoux, M., 1997. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. *Geoderma* 79, 187–225. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00042-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00042-6)

Virto, I., Barré, P., Burlot, A., Chenu, C., 2012. Carbon input differences as the main factor explaining the variability in soil organic C storage in no-tilled compared to inversion tilled agrosystems. *Biogeochemistry* 108, 17–26. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9600-4>

Vreken, P.V.D., Gobin, A., Baken, S., Holm, L.V., Verhasselt, A., Smolders, E., Merckx, R., 2016. Crop residue management and oxalate-extractable iron and aluminium explain long-term soil organic carbon sequestration and dynamics. *European Journal of Soil Science* 67, 332–340. <https://doi.org/10.1111/ejss.12343>

Wäldchen, J., Schulze, E.-D., Schöning, I., Schrumpf, M., Sierra, C., 2013. The influence of changes in forest management over the past 200years on present soil organic carbon stocks. *Forest Ecology and Management* 289, 243–254. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.014>

Wen, Y., Xiao, J., Goodman, B.A., He, X., 2019. Effects of Organic Amendments on the Transformation of Fe (Oxyhydr)Oxides and Soil Organic Carbon Storage. *Front. Earth Sci.* 7. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00257>

Wiesmeier, M., Lützow, M. von, Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Reischl, A., Schilling, B., Kögel-Knabner, I., 2015. Land use effects on organic carbon storage in soils of Bavaria: The importance of soil types. *Soil and Tillage Research* 146, 296–302. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.10.003>

Wiesmeier, M., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Haug, S., Reischl, A., Schilling, B., Lützow, M. von, Kögel-Knabner, I., 2012. Soil organic carbon stocks in southeast Germany (Bavaria) as affected by land use, soil type and sampling depth. *Global Change Biology* 18, 2233–2245. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02699.x>

Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobley, E., Lang, B., von Lützow, M., Marin-Spiotta, E., van Wesemael, B., Rabot, E., Ließ, M., Garcia-Franco, N., Wollschläger, U., Vogel, H.-J., Kögel-Knabner, I., 2019. Soil organic carbon storage as a key function of soils - A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma* 333, 149–162. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026>

Wu, X., Wang, W., Xie, X., Yin, C., Hou, H., Yan, W., Wang, G., 2018. Net global warming potential and greenhouse gas intensity as affected by different water management strategies in Chinese double rice-cropping systems. *Scientific Reports* 8, 779. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-19110-2>

Yang, Y., Tilman, D., Furey, G., Lehman, C., 2019. Soil carbon sequestration accelerated by restoration of grassland biodiversity. *Nature Communications* 10, 718. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08636-w>

Zhang, X., Guan, D., Li, W., Sun, D., Jin, C., Yuan, F., Wang, A., Wu, J., 2018. The effects of forest thinning on soil carbon stocks and dynamics: A meta-analysis. *Forest Ecology and Management* 429, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.06.027>

Zhang, Y., Yu, G., Yang, J., Wimberly, M.C., Zhang, X., Tao, J., Jiang, Y., Zhu, J., 2014. Climate-driven global changes in carbon use efficiency. *Global Ecology and Biogeography* 23, 144–155. <https://doi.org/10.1111/geb.12086>

Zhou, X., Zhou, L., Nie, Y., Fu, Y., Du, Z., Shao, J., Zheng, Z., Wang, X., 2016. Similar responses of soil carbon storage to drought and irrigation in terrestrial ecosystems but with contrasting mechanisms: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 228, 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.030>

Zinn, Y.L., Andrade, A.B., Araujo, M.A., Lal, R., 2018. Soil organic carbon retention more affected by altitude than texture in a forested mountain range in Brazil. *Soil Res.* 56, 284–295. <https://doi.org/10.1071/SR17205>

Annexe 1 – Autres classifications évaluées

1) LUCAS

LUCAS (EU) : « Land cover is the physical cover of the Earth's surface »

Land cover	
A00	ARTIFICIAL LAND
	A10 Roofed built-up areas
	A20 Artificial non-built up areas
B00	A30 Other artificial areas
	B10 Cereals
	B20 Root crops
	B30 Non-permanent industrial crops
	B40 Dry pulses, vegetables and flowers
	B50 Fodder crops
	B70 Permanent crops: fruit trees
	B80 Other permanent crops
	C10 Broadleaved woodland
C00	C20 Coniferous woodland
	C30 Mixed woodland
	D10 Shrubland with sparse tree cover
D00	D20 Shrubland without tree cover
	E10 Grassland with sparse tree/shrub cover
	E20 Grassland without tree/shrub cover
E00	E30 Spontaneously re-vegetated surfaces
	F10 Rocks and stones
	F20 Sand
	F30 Lichens and moss
	F40 Other bare soil
G00	G10 Inland water bodies
	G20 Inland running water
	G30 Transitional water bodies
	G40 Sea and ocean
	G50 Glaciers, permanent snow
H00	H10 Inland wetlands
	H20 Coastal wetlands

LUCAS Land cover classification (source LUCAS, [eurostat](#))

Détail des classes Cropland, Woodland, Shrubland, Grassland, et Bare land issu du guide LUCAS (2015)

B00 Cropland

Areas where crops are planted and cultivated

B10 Cereals

B11 Common wheat

Areas where common wheat (*triticum aestivum*) is planted, whether as spring or as winter wheat

B12 Durum wheat

Areas where durum wheat (*Triticum durum*) is planted

B13 Barley

Areas where barley (*Hordeum vulgare*) is planted

B14 Rye

Areas where rye (*Secale cereale*) is planted

B15 Oats

Areas where oats (*Avena sativa*) is planted

B16 Maize

Areas where maize (*Zea mays*) is planted

B17 Rice

Areas where rice (*Oryza sativa*) is planted

B18 Triticale

Areas where triticale (x *Triticosecale*) is planted

B19 Other cereals

Areas where other cereals are planted. The surveyors must note the cereal species in the LC plant species field. This class includes

- B19a - Sorghum (*Sorghum bicolor*)
- B19b - Buckwheat (*Fagopyrum esculentum Mill.*)
- B19c - Common, golden or proso millet (*Panicum miliaceum L.*)
- B19d - Canary grass (*Phalaris canariensis L.*)
- B19f - Quinoa (*Chenopodium quinoa*)
- B19g - Fonio (*Digitaria spp.*)
- B19h - Other cereals not specified elsewhere
 - o Barnyard or Japanese millet (*Echinochloa frumentacea*);
 - o Ragi, finger or African millet (*Eleusine coracana*);
 - o Teff (*Eragrostis abyssinica*)
 - o Koda or ditch millet (*Paspalum scrobiculatum*);
 - o Pearl or cattail millet (*Pennisetum glaucum*);
 - o Foxtail millet (*Setaria italica*)

B20 Root crops

B21 Potatoes

Areas where potatoes (*Solanum tuberosum*) are planted

B22 Sugar beet

Areas where sugar beet (*Beta vulgaris* var. *altissima*) is planted

B23 Other root crops

Areas where other root crops are planted. The surveyor must note the root crop species in the LC plant species field. This class includes /

- B23a - Fodder beet (roots of *Beta vulgaris*)
- B23b - Fodder kale (*Brassica oleracea L.*)
- B23c - Swedes (*Brassica napus L. var. napobrassica (L.) Robb.*)
- B23d - Carrots (roots of *Daucus carota L.*)
- B23e - Turnips (roots of *Brassica rapa L.*)
- B23f - Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*)
- B23g - Sweet potatoes (*Ipomoea batatas (L.) Lam.*)
- B23h - Fodder parsnips (*Pastinaca sativa L.*)
- B23i - Yam (*Discorea spp.*)
- B23j - Manioc, Cassava (*Manihot esculenta Crantz, syn. M. utilissima*)
- B23k - Horseradish (*Cochlearia armoracia*)
- B23l - Tuberous chervil (*Chaerophyllum bulbosum*)
- B23m - Other tropical tubers
 - o Taros (*Colocasia esculenta*),
- B23n - Other root or tuber crops not specified elsewhere
 - o Garlic (*Allium sativum*),
 - o Onions (*Allium cepa*),

- Radishes (*Raphanus sativus*) ,
- Red beet (*Beta vulgaris var. conditiva*) ,
- Shallots (*Allium ascalonicum*) ,
- Mangolds and beet (*Beta vulgaris var. alba*)

B30 Non-permanent industrial crops

B31 Sunflower

Areas where sunflower (*Helianthus annus*) is planted

B32 Rape and turnip rape

Areas where rape (*Brassica napus*) and turnip rape (*Brassica rapa var. oleifera*) are planted. It excludes other species of turnips planted as a root crops.

B33 Soya

Areas where soya beans (*Glycine soja*) are planted

B34 Cotton

Areas where cotton (*Gossypium spp.*) is planted

B35

Areas where other fibre and oleaginous crops are planted. The surveyors must note the fibre and oleaginous crop species in the LC plant species field. This class includes :

- B35a - Flax (*Linum usitatissimum straw*)
- B35b - Hemp (*Cannabis sativa straw*)
- B35c - Poppy seeds (*Papaver somniferum L.*)
- B35d - Mustard seeds (*Sinapis alba L., Sinapis nigra*)
- B35e - Safflower (*Carthamus tinctorius L.*)
- B35f - Earth almond (*Cyperus esculentus L.*)
- B35g - Sesame (*Sesamum indicum*)
- B35h - Jute (*Corchorus spp.*)
- B35i - Ramie (*Boehmeria nivea*)
- B35j - Sisal (*Agave sisalana*)
- B35k - Kenaf (*Hibiscus cannabinus*)
- B35l - Bird rape (*Brassica rapa var. silvestris*)
- B35m - Castor beans (*Ricinus communis*)
- B35n - Other fibre and oleaginous crops not elsewhere specified

B36 Tobacco

Areas where tobacco (*Nicotinum tabacum*) is planted

B37 Other non-permanent industrial crops

Areas where other non-permanent industrial crops are planted. the surveyor must note the non-permanent industrial crops species in the LC plant species field. This class includes :

- B37a - Chicory roots (*Cichorium intybus var. sativum*)
- B37b - Hops (*Humulus lupulus*)
- B37c - Medicinal plants
 - Common balm (*Melissa officinalis*) ,
 - Common lungwort (*Pulmonaria officinalis*) ,
 - Common mallow (*Malva silvestris*) ,
 - Marshmallow (*Althaea officinalis*) ,
 - Poison hemlock (*Conium maculatum*) ,
 - Pot marigold (*Calendula officinalis*) ,
 - Purple foxglove (*Digitalis purpurea*) ,
 - Soapwort (*Saponaria officinalis*) ,
 - Sweet chamomile (*Chamaemelum nobile*) ,
 - Valerian (*Valeriana officinalis*) ,

- Vervain (*Verbena officinalis*)
- B37d - Spices and aromatic plants
 - Anise (*Pimpinella anisum*) ,
 - Badain, star anise (*Illicium verum*) ,
 - Basil (*Ocimum basilicum*) ,
 - Coriander (*Coriandrum sativum*) ,
 - Dill (*Anethum graveolens*) ,
 - Tarragon (*Artemisia dracunculus*),
 - Fennel (*Foeniculum vulgare*) ,
 - Garden chervil (*Anthriscus cerefolium*) ,
 - Cumin (*Cuminum cyminum*) ,
 - Marjoram (*Origanum spp.*) ,
 - Parsley (*Petroselinum crispum*),
 - Rosemary (*Rosmarinus officinalis*) ,
 - Spearmint (*Mentha spp.*) ,
 - Sorrel (*Rumex acetosa*) ,
 - Sage (*Salvia officinalis*),
 - Thyme (*Thymus vulgaris*) ;
- B37e - Sugar cane (*Saccharum officinarum*)
- B37f - Other non-permanent industrial crops not specified elsewhere

B40 Dry pulses, vegetables and flowers

B41 Dry pulses

Areas where dry pulses are planted. This class includes :

- Dry peas, garden pea (*Pisum sativum*) ,
- Chickpea, garbanzo bean (*Cicer arietinum*) ,
- Cowpea (*Vigna sinensis; Dolichos sinensis*) ,
- Pigeon pea (*Cajanus cajan*)
- Field peas (*Pisum arvense*) ,
- Field beans (*Vicia faba spp.*) ,
- Lentils (*Lens culinaris*) ,
- Lentil vetches (*Vicia ervilia*)
- Vetches, spring or common vetch (*Vicia sativa, Vicia villosa*)
- Lupins (*Lupinus spp.*)
- Peanuts (*Arachis hypogaea*)

B42 Tomatoes

Areas where tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) are planted

B43 Other fresh vegetables

Areas where other fresh vegetables are planted. The surveyor must note the fresh vegetable species in the LC plant specied field. This class includes :

- B43a – Brassicas
 - Cabbages (*Brassica oleracea spp.*) ,
 - Cauliflowers (*Brassica oleracea var. botrytis*)
- B43b - Leaf and stalked vegetables other than brassicas
 - Artichokes (*Cynara scolymus*) ,
 - Asparagus (*Asparagus officinalis*) ,
 - Cardoons (*Cynara cardunculus*) ,
 - Celery (*Apium graveolens*) ,
 - Chicory (*Cichorium intybus var. foliosum*) ,

- Cress (*Lepidium sativum*) ,
- Endives (*Cichorium endivia var. crispa*) ,
- Garden orache (*Atriplex hortensis*) ,
- Leeks (*Allium porrum*) ,
- Lettuce (*Lactuca sativa*) ,
- Rhubarb (*Rheum spp.*) ,
- Purslane (*Portulaca oleracea*) ,
- Spinach (*Spinacia oleracea*) ,
- Rocket (*Eruca sativa*) ,
- Watercress (*Nasturtium officinale*)
- B43c - Leguminous vegetables, including production for tins
 - Green beans (*Phaseolus spp.*, *Vigna spp.*)
 - Green peas (*Pisum sativum*)
- B43e - Vegetables cultivated for fruit other than tomatoes
 - Melons (*Cucumis melo*)
 - Cucumbers (*Cucumis sativus*)
 - Egg-plants (*Solanum melongena*)
 - Okras (*Abelmoschus esculentus*, *Hibiscus esculentus*) ,
 - Peppers (*Capsicum annuum*, *Capsicum frutescens*, *Pimenta officinalis*)
 - Pumpkins (*Cucurbita spp.*)
 - Watermelons (*Citrullus vulgaris*)
- B43f - Cultivated mushrooms
 - *Boletus edulis*
 - *Agaricus campestris*
 - *Marchella spp.*
 - Truffle (e.g. *Tuber magnatum*) when cultivated
- B43g - Wild products
 - Truffle
 - Water chestnut
- B43h - Other fresh vegetables not specified elsewhere

B44 Floriculture and ornamental plants

Areas where flowers and ornamental plants are planted. This class includes

- Bulbs and tubers, cut-flowers
Alstroemeria, Amaranthus, Anemone, Anthurium, Campanula, Celosia, Centaurea, Cymbidium, Dendranthema, Dianthus, Echinops, Eryngium, Euphorbia, Forsythia, Gerbera, Gladiolus, Helianthus, Hydrangea, Hyacinthus, Iris, Liatris, Lilium, Lysimachia, Muscari, Narcissus, Papaver, Paphiopedilum, Protea, Ranunculus, Rosa, Strelitzia, Tulipa, Veronica, Zantedeschia, Zinnia
- Cut-leafage
Acacia, Achillea, Alchemilla, Arbutus, Asparagus, Aspidistra, Aster, Camellia, Cedrus, Cornus, Cyperus, Erica, Gypsophila, Hibiscus, Hosta, Ilex, Limonium, Melaleuca, Molluccela, Panicum, Pennisetum, Philodendrum, Physalis, Rhododendron, Ruscus, Salix, Sedum, Solidago, Solidaster, Syringa, Thuya, Trachelium, Viburnum, Weigela
- Ornamental plants
Abelia, Agapanthus, Araucaria, Azalea, Begonia, Berberis, Betula, Bougainvillea, Callistemon, Chamaecyparis, Chamaerops, Croton, Cupressus, Cycas, Cyclamen, Cymbidium, Deutzia, Dimorphotheca, Dracaena, Euonymous, Euphorbia, Euryops, Ficus, Forsythia, Grevillea, Hydrangea, Lavandula, Leptospermum, Lonicera, Morus, Myrtus, Olea, Paphiopedilum, Pelargonium, Petunia, Phoenix, Photinia, Pyracantha, Rosmarinus, Saintpaulia, Scindapsus, Spiraea, Syngonium, Viburnum, Washingtonia, Wisteria, Yucca

B45 Strawberries

Areas where strawberries (*Fragaria* spp.) are planted

B50 Fodder crops

B50 groups the agriculturally improved grassland and temporary pastures. These areas are typically used for fodder or for grazing, and refer to areas which are included in the agricultural rotation (which differentiates them from permanent grassland areas, not included in the rotation, that are to be classified either as E10 or E20).

B51 Clovers

The various species of clover (annual or perennial) cultivated alone or mixed with other clover species.

B52 Lucerne

The various types of lucerne cultivated alone

B53 Other leguminous and mixtures for fodder

Other leguminous or mixtures of predominantly leguminous (normally > 80 %) forage crops and grass plants, harvested green or as dried hay. It is accepted that legumes can be associated with graminaceous plants, i.e.

- at the time of the setting up when the germination of the legume is protected by an annual graminaceous plant
- at the time of the setting up with a view to an association between the two families of plants
Included here are: annual crops belonging to other families such as the cruciferous and that are not mentioned elsewhere, e.g. the California bluebell (*Phacelia tanacetifolia* Benth), if they are harvested green. The surveyor must note the dominant species in the LC plant species field. This class includes :
 - o B53a - Sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.)
 - o B53b - Sweet clover or Trefoil (*Lotus corniculatus* L.)
 - o B53c - Chickling vetch (*Lathyrus sativus*)
 - o B53d - Black medick (*Medicago lupulina* L.)
 - o B53e - Melilot (*Melilotus alba* Lam.)
 - o B53f - Serradella (*Ornithopus sativus*)
 - o B53g - Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*)
 - o B53h - Sulla (*Hedysarum coronarium*)
 - o B53i - Sweet lupins (*Lupinus albus*, *Lupinus angustifolius*, *Lupinus luteus*)
 - o B53j - California bluebell (*Phacelia tanacetifolia*)
 - o B53k - Other leguminous and mixtures for fodder not specified elsewhere

B54 Mixed cereals for fodder

Mix of more than two cereals used in most cases for fodder, often as winter crop and harvested green. This class includes:

- Common wheat (B11),
- Durum wheat (B12),
- Barley (B13),
- Rye (B14),
- Oats (B15),
- Maize (B16),

- Triticale (B18),
- Other cereals (B19) if mixed and harvested for fodder

B55 Temporary grasslands

Land occupied by temporary (and artificial) pastures, occupying the ground for at least one crop year and less than five years, the seeds being either pure or mixed grass, on cropland areas (ie, making part of the crop rotation). If the soil is ploughed and/if the grass is sown the same year, the grassland is very likely temporary and not permanent. This class includes

- Italian ryegrass
- Other ryegrasses
- Cock's foot
- Fescues
- Timothy
- Other temporary pastures on agricultural areas/cropland

B70 Permanent crops : fruit trees

B71 Apple fruit

Surfaces occupied by apple trees. This class includes

- *Malus pumila*
- *Pyrus malus*
- abandoned apple orchards

B72 Pear fruit

Surface occupied by pear trees. This class includes

Pyrus communis

Abandoned pear orchards

B73 Cherry fruit

Surfaces occupied by cherry fruits (for fruits). This class includes

- *Prunus cerasus*
- *Cerasus acida*
- Abandoned cherry orchards

B74 Nuts trees

Surfaces occupied by nuts trees (for fruit). This class includes

- Almonds (*Prunus amygdalus*)
- Chestnuts (*Castanea spp.*)
- Hazelnuts (*Corylus avellana*)
- Pistachios (*Pistacia vera*)
- Walnuts (*Juglans spp.*)
- Abandoned nuts trees orchards

B75 Other fruit trees and berries

Surfaces occupied by other fruit trees and berries. This class includes

- B75a - Apricot (*Prunus armeniaca*)
- B75b - Cornel (*Cornus mas*)
- B75c - Figs (*Ficus carica*)
- B75d - Juneberry (*Amelanchier vulgaris*)
- B75e - Kiwi (*Actinidia chinensis*)

- B75f - Loquat (*Eriobotrya japonica*)
- B75g - Medlar (*Mespilus germanica*)
- B75h - Mirabella (*Prunus insititia* var. *syriaca*)
- B75i - Peach, nectarine, platerine (*Prunus persica*; *Amygdalus persica*; *Persica laevis*)
- B75j - Persimons (*Diospyros kaki*)
- B75k - Plums (*Prunus domestica*)
- B75l - Pomegranates (*Punica granatum*)
- B75m - Oleaster (*Eleagnus spp.*)
- B75n - Quinces (*Cydonia oblonga*)
- B75o - Sloes (*Prunus spinosa*)
- B75p - Small fruits and berries
 - o Blackberries (*Morus nigra*)
 - o Black currants (*Ribes nigrum*)
 - o Blueberries (*Vaccinium myrtillus*)
 - o Cowberries (*Vaccinium vitis-idaea*)
 - o Cranberries (*Vaccinium macrocarpon*)
 - o Dangleberries (*Gaylussacia spp.*)
 - o Dewberries (*Rubus arcticus*)
 - o Gooseberries (*Ribes uva-crispa*)
 - o Mulberries (*Morus alba*; *Morus rubra*)
 - o Myrtle berries (*Myrtus communis*)
 - o Raspberries (*Rubus idaeus*)
- B75q - Tropical fruits
 - o Bananas (*Musa spp.*)
 - o Avocado (*Persea americana*)
- B75r - Other fruit trees and berries not specified elsewhere
- Abandoned orchards

B76 Oranges

Surfaces occupied by orange trees. This class includes

- Orange (*Citrus sinensis*)
- Bitter orange (*Citrus aurantium*)
- Abandoned orange orchards

B77 Other citrus fruit

Surfaces occupied by other citrus fruit trees. This class includes

- B77a - Bergamot (*Citrus bergamia*)
- B77b - Citron (*Citrus medica* var. *cedrata*)
- B77c - Grapefruit and pomelo (*Citrus maxima*, *Citrus grandis*, *Citrus paradisea*)
- B77d - Lemons (*Citrus limon*)
- B77e - Limes (*Citrus aurantifolia*, *Citrus limetta*)
- B77f - Satsumas (*Citrus unshiu*)
- B77g - Mandarines (*Citrus deliciosa*, *Citrus nobilis*)
- B77h - Clementines (*Citrus clementina*)
- B77i - Kumquats (*Fortunella spp.*)
- B77j - Citrus orchards
- B77k - Other citrus fruit not specified elsewhere
- Abandoned citrus orchards

B80 Other permanent crops

B81 Olive groves

Surfaces occupied by olive groves. This class includes

- Olive (*Olea europaea*)
- Abandoned olive groves

B82 Vineyards

Surfaces occupied by vineyards. This class includes

- Vine (*Vitis vinifera*)
- Abandoned vineyards

B83 Nurseries

Surfaces occupied by young plants for transplantation. The type of main plant/tree has to be noted in the species field. This class includes

- B83a – Horticultural nurseries
- B83b - Vine and root-stock nurseries
- B83c - Fruit trees nurseries
- B83d - Ornamental plants nurseries
- B83e - Trees and bushes nurseries (for planting in gardens, parks, embankments)
- B83f - Forest tree nurseries
- B83g – Other, non-specialized nurseries

B84 Permanent industrial crops

Surfaces occupied by permanent industrial crops. The surveyor must note the permanent industrial crop species in the LC plant species field. This class includes

- **B84a** - Reeds, canary grass (*Phalaris arundinacea*) when cultivated and not natural
- **B84b** - Other plants for plaiting
 - Osier
 - Rushes
 - Rattans
- **B84c** - Coffee
- **B84d** - Tea
- **B84e** - Other industrial plants for beverages
 - Cocoa
 - Mate
- **B84f** - Industrial plants for oil
 - Coconut
 - Palm
- **B84g** - Permanent aromatic plants
 - Black or red pepper
 - Cinnamon
 - Cloves
 - Ginger
 - Vanilla
 - Cardamom
- **B84h** - Permanent textile plants
 - Abaca
 - Agave

- Kapok
- **B84i** - Plants for rubber and tannin
- Hevea
- Red quebracho
- **B84j** - Rose trees cultivated for rose-oil production (not as ornamental plants)
- **B84k** - Other permanent industrial crops
- Lavender (*Lavandula spp.*)
- Citronella
- Sage
- Quinine
- Areca nuts
- Mulberries for silk production
- Carobs
- Stevia (*Stevia rebaudiana*)
- **B84l** - Miscanthus (*Miscanthus giganteus*)
- **B84m** – Willow

C00 Woodland

Areas covered by trees with a canopy of at least 10%. Also woody hedges and palm trees are included in this class.

NB: Height of trees at maturity and width of woody features have to be assessed

C10 Broadleaved woodland

Areas with a tree canopy cover of at least 10% and composed of more than 75% of broadleaved species. This class includes

Stands with the following species

- Acacia (*Acacia spp.*)
- Alder (*Alnus spp.*)
- Ash (*Fraxinus excelsior*)
- Aspens (*Populus tremula*)
- Beech trees (*Fagus sylvatica*)
- Birch (*Betula spp.*)
- Carob (*Ceratonia siliqua*)
- Elm (*Ulmus spp.*)
- Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*)
- Hedge (*Acer campestre*)
- Hornbeam (*Carpinus betulus*)
- Linden (*Tilia spp.*)
- Maple (*Acer spp.*)
- Palm trees of the Mediterranean and Macaronesian zones (*Phoenix theophrasti*, *Phoenix canariensis*)
- Poplars (*Populus spp.*)
- Oaks (*Quercus spp.*)
- Rowan (*Sorbus aucuparia*)
- Wild olive (*Olea europaea*, *L. ssp. europaea var. sylvestris*)
- Willows (*Salix spp.*)

C20 Coniferous woodland

Areas with a tree canopy cover of at least 10% and composed of more than 75% of coniferous species.

C21 Spruce dominated coniferous woodland

Coniferous stands where >75% of the part of coniferous trees are spruce. This class includes

Stands with the following species

- Spruce (*Picea spp.*)
- Christmas trees (if spruce dominated)

C22 Pine dominated coniferous woodland

Coniferous stands where >75% of the part of coniferous trees are pine species. **This class includes**

Stands with the following species

- Pines (*Pinus spp.*)
- Black pine (*Pinus nigra, Arnold*)
- Maritime pine (*Pinus pinaster*)
- Mediterranean stone pine, umbrella pine (*Pinus pinea*)
- Scots pine (*Pinus sylvestris, L.*)
- Siberian pine (*Pinus sibirica*)
- Weymouth pine (*Pinus strobus*)

C23 Other coniferous woodland

Coniferous stands where none of the previously mentioned coniferous species (pine or spruce) is represented >75%. **This class includes**

Stands with the following species:

- Aleppo pine (*Pinus halepensis*)
- Brutia pine (*Pinus brutia*)
- Cedars (*Cedrus spp.*)
- Corsican pine (*Pinus nigra var. maritima*)
- Cypresses (*Cupressus sempervirens*)
- Douglas firs (*Pseudotsuga menziesii*)
- Firs (*Abies spp.*)
- Larches (*Larix spp.*)
- Mediterranean stone pine, umbrella pine (*Pinus pinea*)
- Pines (*Pinus spp.*)
- Spruce (*Picea spp.*)
- Xerophyte conifers
- Christmas trees (if not belonging to the other CXX classes)

C30 Mixed woodland

Areas with a tree canopy cover of at least 10% and composed of broadleaved and coniferous trees comprising both >25% of the tree canopy.

C31 Spruce dominated mixed woodland

Mixed stands where >75% of the coniferous trees are spruce

C32 Pine dominated mixed woodland

Mixed stands where >75% of the coniferous trees are pine

C33 Other mixed woodland

Mixed stands where less than 75% of the coniferous trees are spruce or pine trees

FOREST TYPES (LUCAS SU FT)

If the forest is larger than 0.5 ha, the height of trees is above 5 m at maturity and the width of the wooded

feature is more than 20 m, the surveyor has to indicate the forest cover code in the respective "LC plant

species" field, according to the forest type classification of the European Environment Agency².

CXX1 Boreal forest

Coniferous and mixed broadleaved-coniferous forest of the Boreal (climate) zone of Europe, known also as taiga. Two conifer species, Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*) dominate the boreal forest zone; both of them have quite broad habitat amplitudes and may grow from very dry to wet habitats. Pine generally prevails on drier soils, in areas with a more continental climate and with a high fire frequency. Spruce, on the other hand, prevails on more nutrient-rich, mesic-moist soils, in areas with a more oceanic climate and on sites with a low fire frequency. Birch species (e.g. *Betula pubescens*, *Betula pendula*) as well as other deciduous trees, such as aspen, rowan and grey alder can be frequently found growing amongst the conifers. Admixtures of spruce or pine with birch species are also typical of the pioneer stages of the forest succession.

CXX2 Hemiboreal forest and nemoral coniferous forest and mixed broadleaved-coniferous forest

The hemi-boreal zone is a transitional zone between the boreal and temperate forest of nemoral Europe. It is characterized by the coexistence of boreal coniferous — on poor soils — and temperate broadleaved tree species (*Fraxinus excelsior*, *Ulmus glabra*, *Tilia cordata*, *Quercus robur*) on the most fertile soils. The structure and composition of hemiboreal forest is maintained by a complex admixture of natural and cultural disturbances. The type is characterized by mixtures of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*) with broadleaves deciduous trees such as Birch (*Betula spp.*), aspens (*Populus tremula*), alder (*Alnus spp.*) and rowan (*Sorbus aucuparia*). The broadleaved trees generally characterize early to mid-successional stages; with age the dominance of coniferous species increases.

CXX3 Alpine coniferous forest

Forests occurring in the alpine biogeographical region dominated by coniferous trees, mainly Norway spruce (*Picea abies*), Silver fir (*Abies alba*), Scots pine (*Pinus sylvestris*), Swiss stone pine (*Pinus cembra*), mountain pine (*Pinus mugo*, *Pinus uncinata*), Macedonian pine (*Pinus peuce*) and Bosnian pine (*Pinus heldreichii*). Included in this category is the forest vegetation of high altitudinal vegetation belts of the central European mountain ranges dominated by spruce (*Picea abies*), silver fir (*Abies alba*) and, under local microclimatic and edaphic conditions, termophilous pure Austrian pine (*Pinus nigra*) forests of the southern Alps.

CXX4 Acidophilous oak and oak-birch forest

Acidophilous oakwoods and mixed oak-birch forest characteristic of oligotrophic soils of the nemoral forest zone. The main areas of distribution of the class are the Atlantic and Continental biogeographical regions. Lowland to submountainous forests are dominated by acidophilous oaks (*Quercus petraea* and *Quercus robur*). In the wide natural range of distribution of beech trees (*Fagus*

sylvatica) oakwoods are pushed back to areas with poor acid soils, with variable soil moisture or thin soil layers. Pioneers such as birch (*Betula pendula*, *Betula pubescens*) are important during the regeneration phase in the western parts of the area of occurrence. In the eastern parts pine (*Pinus spp.*) and locally spruce (*Picea spp.*) can form together with oak the tree layer. In the south-western areas of occurrence some Mediterranean species can participate in the tree layer. Aspen (*Populus tremula*), rowan (*Sorbus aucuparia*), Norway maple (*Acer platanoides*), ash (*Fraxinus excelsior*), linden (*Tilia cordata*) and Wych elm (*Ulmus glabra*) can be found in the southern boreal region.

CXX5 Mesophytic deciduous forest

Forests, typically with mixed canopy composition, on rich and moderately rich soils. The category includes forests dominated by mixtures of Hornbeam (*Carpinus betulus*), Sessile oak (*Quercus petraea*), Pedunculate oak (*Quercus robur*), ash (*Fraxinus excelsior*, *Fraxinus angustifolia*), hedge (*Acer campestre*) maple (*Acer pseudoplatanus*) and linden (*Tilia cordata*).

CXX6 Beech forest

Beech forests are characterised by the dominance of beech (*Fagus sylvatica*, L.) or its transitional hybrids with oriental beech (*Fagus orientalis*, Lipsky) in the eastern and southern parts of the Balkan Peninsula, and along the eastern periphery of the Carpathians. These latter were described as Balkan beech (*Fagus moesiaca*, Csecz.), Podolian or Moldovian beech (*Fagus podolica*, Yap.) and Crimean beech (*Fagus taurica*, Popl.). Specific elevation range (from lowlands to submountainous, 0 to 600(–800) meters above sea level) and the lack of conifers define this type often referred to as lowland and submountainous beech forest. Important additional tree species include Norvay maple (*Acer platanoides*), Sycamore Maple (*Acer pseudoplatanus*), birch (*Betula pendula*), hornbeam (*Carpinus betulus*), Sweet chestnut (*Castanea sativa*), ash (*Fraxinus excelsior*), aspen (*Populus tremula*), wild cherry (*Prunus avium*), oak (*Quercus petraea*, *Quercus robur*), rowan (*Sorbus aucuparia*), linden (*Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos*), Wych elm (*Ulmus glabra*).

CXX7 Mountainous beech forest

Mountainous beech forests are defined by the altitudinal range of distribution, by the dominance of *Fagus* and, in most cases, by the presence of coniferous species (*Abies alba* and/or *Picea abies*) as important components. Locally important additional tree species include Norvay maple (*Acer platanoides*), Sycamore Maple (*Acer pseudoplatanus*), birch (*Betula pendula*), hornbeam (*Carpinus betulus*), Sweet chestnut (*Castanea sativa*), ash (*Fraxinus excelsior*), aspen (*Populus tremula*), wild cherry (*Prunus avium*), oak (*Quercus petraea*, *Quercus robur*), rowan (*Sorbus aucuparia*), linden (*Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos*), Wych elm (*Ulmus glabra*), oriental beech (*Fagus orientalis*, Lipsky) and Goat willow. (*Salix caprea*). depending on trophic status and/or successional phase.

CXX8 Thermophilous deciduous forest

Forest dominated by deciduous or semideciduous thermophilous species, mainly Downy Oak (*Quercus pubescens*); other oaks associate with or replace (*Q. pubescens* in submediterranean woods: *Quercus faginea*, *Q. pyrenaica* and *Q. canariensis* (Spain), *Q. cerris* (Italy), *Q. frainetto*, *Q. trojana* (Greece)). The species typically associated in these oak woods are maples (*Acer monspessulanus*, *Acer opalus*, *Acer obtusatum*) and, in eastern areas, Hop-hornbeam (*Ostrya carpinifolia*), Manna ash (*Fraxinus ornus*), Oriental hornbeam (*Carpinus orientalis*). Forest dominated by thermophilous deciduous oaks, under local microclimatic or edaphic conditions, are found also far north in the Atlantic region, Pannonic and Continental regions.

This class includes

- Other deciduous non-alluvial formations of meso- and supra-Mediterranean zone, dominated by *Fraxinus spp.*, *Ostrya carpinifolia*, *Carpinus orientalis*, *Acer spp.*, *Tilia spp.*,

Carpinus betulus, Aesculus hippocastanum and Juglans regia

- *Castanea sativa* dominated forests, represented, for the most part, by old established and naturalised plantations.

CXX9 Broadleaved evergreen forest

Forests characteristic of the Mediterranean and warm temperate humid zones of Macaronesia biogeographical regions, dominated by broadleaved sclerophyllous or lauriphylloous evergreen trees. Broadleaved evergreen forests can be dominated by the evergreen sclerophyllous oaks (*Quercus suber*, *Q. ilex*, *Q. rotundifolia*, *Q. coccifera*, *Q. alnifolia*).

Cork oak and holm oak form the most widespread evergreen woodland in the Mediterranean Region. Forest dominated by holm oak (*Quercus ilex*), are typical of the meso-Mediterranean level, but ingressions to the supra-mediterranean level is also common. Holm oak woodland is often, but not necessary, calcicolous.

Cork oak (*Quercus suber*) dominated woodland has a west-Mediterranean distribution and is associated to siliceous substrates. It is usually more thermophilous and hygrophilous than holm oak woodland. In some areas, holm-oak and cork-oak woodland are closely related and the two oaks occur in mixed stands.

Arborescent formations dominated by Kermes oak (*Quercus coccifera*, *Quercus calliprinos*, *Quercus pseudococcifera*) or Golden oak (*Quercus alnifolia*); occurring in the Iberian Peninsula, Greece and eastern Mediterranean (Cyprus, Anatolia).

Thermo-Mediterranean woodland dominated by arborescent tree layer, often open, of wild olive (*Olea europaea* ssp. *europaea* var. *sylvestris*), carob (*Ceratonia siliqua*) or a mixture of the two; found in southern Spain (Andalucia, Menorca, Majorca), southern Italy (Puglia, Calabria, Sardinia, Sicilia), Crete, Cyprus and Turkey.

Woods, often riparian, formed by palm trees of the Mediterranean and Macaronesian zones, *Phoenix theophrasti* of Crete and western Anatolia, and *Phoenix canariensis* of the Canary Islands.

CXXA Coniferous forest of the Mediterranean region

The category covers a wide range of xerophytic forests dominated by coniferous species (pines, firs, junipers, cypress, cedar) found in the Mediterranean, Anatolian and Macaronesian biogeographical Regions. Woodland dominated by thermophilous Pine species (*Pinus pinaster* ssp. *pinaster*, *Pinus pinea*, *Pinus halepensis*, *Pinus brutia*). These pinewoods constitute thermo-Mediterranean pioneer formations, largely widespread in the coasts and lowlands of the circummediterranean regions. Woods dominated by Black pine (*Pinus nigra*), characteristic of the mountainous level of the Mediterranean and Anatolia regions. Scots pine forest (*Pinus sylvestris*) in the Mediterranean region have a mountainous and oro-Mediterranean distribution. Local treeline formations of Bosnian pine (*Pinus heldreichii* and *Pinus leucodermis*) are restricted to the southern Balkans, northern Greece and southern Italy. Fir woods (*Abies spp.*) are distributed along the rim of the southern Mediterranean basin and western Anatolia. Woods dominated by junipers (*Juniperus spp.*) of the Mediterranean and Anatolian mountains. Pure or mixed forests of Lebanon cedar (*Cedrus libani*) of the southern Anatolia and locally north-eastern Anatolia (subpontic forests) and endemic endangered *Cedrus brevifolia* forest of Cyprus.

CXB Mire and swamp forests

Coniferous or broadleaved forested wetlands, located mainly in Fennoscandia with scattered occurrences on peaty soils throughout Europe. Forested wetlands consist of a heterogeneous complex of wet and moist forest types, and they are characterized by a high water table of variable duration. The terminology used to characterize them differs between countries. In Sweden, for example, swamp forests are classified as forests and not as mires if the annual forest productivity

exceeds 1 m³ per ha or if the tree layer has a crown projection exceeding 30 %. In Finland, however, the classification is based on botanical and hydrological criteria. As a consequence, wet and moist forests are assigned to the mire series regardless of forest productivity and tree cover. Therefore, many herb-rich vegetation types are included in this category.

The dominating trees are spruces (*Picea spp.*) and birches (*Betula spp.*) in swamps or pines (*Pinus spp.* in bogs. Swamp forests can be dominated by alder (*Alnus spp.*), birch (*Betula spp.*), pedunculate oaks (*Quercus robur*) or aspen (*Populus tremula*).

CXXC Floodplain forest

Alluvial and riparian woodlands and galleries close to main European river channels. These are species-rich often multi-layered communities characterised by different assemblages of forest dominant trees. Forest composition and structure largely depends on the frequency of flooding. Included are those forest communities typically associated with alluvial or riparian woodlands that may constitute locally important forest types e.g. in Bulgaria, the dense forests of field elm and ashes associated to alluvial and riparian mixed forests.

Riparian forests of the boreal, boreo-nemoral and nemoral zone growing on low-lying areas and organic soils frequently flooded and close to river channels. Characteristically dominated by species of alder (*Alnus spp.*), birch (*Betula spp.*), aspens (*Populus tremula*) and willows (*Salix spp.*).

In the Mediterranean and Macaronesian regions additions local species (e.g. *Fraxinus angustifolia*, *Platanus orientalis*, *Alnus orientalis*, *Nerium Oleander*, *Tamarix*, *Liquidambar* and *Flueggea tinctoria*) exist.

CXXD Non-riverine alder, birch or aspen forest

Non-riparian, non-marshy forest formations dominated by alder (*Alnus glutinosa*, *Alnus incana*, *Alnus cordata*), birch (*Betula pendula*, *Betula pubescens*, *Betula celtiberica*, *Betula aetnensis*) or aspen (*Populus tremula*).

CXXE Exotic forest

The class covers forest and self-sown stands of non-native, often invasive, tree species.

D00 Shrubland

Areas dominated (at least 10% of the surface) by shrubs and low woody plants normally not able to reach more than 5m of height. It may include sparsely occurring trees with a canopy below 10%.

D10 Shrubland with sparse tree cover

Areas dominated (at least 10% of the surface) by shrubs and low woody plants, including sparsely occurring trees with a canopy between 5 and 10 %.

This class includes

- Scrub land (pines, rhododendrons, maquis, matorral and deciduous thickets)
- Heathland with gorse, heather or broom

D20 Shrubland without tree cover

Areas dominated (at least 10% of the surface) by shrubs and low woody plants. Sparsely occurring trees do not cover more than 5% of the area.

This class includes

- Scrub land (pines, rhododendrons, maquis, matorral and deciduous thickets)
- Dwarf shrub tundra with dwarf birches and willows
- Heather and dwarf juniper vegetation
- Garrigues with strawberry trees, thyme, white rock rose, lavender and rosemary
- Heathland with gorse, heather or broom
- Spiny mediterranean heaths (*Phrygana spp.*)
- Xerophytic areas with succulents

E00 Grassland

Land predominantly covered by communities of grassland, grass-like plants and forbs.

This class includes permanent grassland and permanent pasture that is not part of a crop rotation (normally for 5 years or more), which can be used to grow grasses and other herbaceous forage naturally (selfseeded) or through cultivation (sown).

It may include sparsely occurring trees within a limit of a canopy below 10% and shrubs within a total limit of cover (including trees) of 20%. These can themselves be also grazed, provided that grasses and other herbaceous forage remain predominant as well.

E10 Grassland with sparse tree/shrub cover

Land predominantly covered by communities of grassland, grass-like plants and forbs including sparsely occurring trees (the tree canopy is between 5 and 10% and the total of the tree+shrub canopy is between 5 and 20% of the area).

This class includes

- Dry grasslands
- Dry edaphic meadows
- Steppes with gramineae and artemisia
- Plain and mountainous grassland
- Wet grasslands
- Alpine and subalpine grasslands
- Saline grasslands
- Arctic meadows

E20 grassland without tree/shrub cover

Land predominantly covered by communities of grassland, grass like plants and forbs without trees and

shrubland (density of tree+shrub canopy is less than 5%).

This class includes

- Dry grasslands
- Dry meadows and steppes
- Plain and mountainous grassland
- Wet grasslands
- Alpine and subalpine grasslands
- Saline grasslands
- Arctic meadows
- Temporarily unstocked areas within forests (clear cuts) covered by grassland without sparse tree/shrub cover

E30 Spontaneously re-vegetated surfaces

It consists of mostly agricultural land which has not been cultivated this year or the years before. It has not been prepared for sowing any crop this year. This class can also be found on clear-cut forest areas, industrial “brownfields”, storage land and of course on abandoned or unused land etc.

Main case is agricultural land not providing a crop during the entire year or abandoned earlier agricultural surfaces. It is occupied by spontaneous vegetation in case of set-aside arable land, with some tall herbs or weeds. This class applies as well for former grassland or hedge margins which are currently not used anymore but covered by tall herbs fringes. There might be some bare land pockets or crop residues and spontaneous re-grown crops of the before management period.

Only surfaces which have not been deliberately sown and do not have any fodder crops like mixed cereals or are temporary grasslands classify for this land cover class.

This class includes

- Set aside land within agricultural areas
- Unused artificial land where revegetation is occurring
- Spontaneous secondary land cover in areas dominated by trees or shrubs

F00 Bare land and lichens/moss

Areas with no dominant vegetation cover on at least 90% of the area or areas covered by lichens/moss.

F10 Rocks and stones

This class includes

- Inland rock cliffs
- Areas of rock outcrop and limestone parent
- Scree
- Block litter and mountain top debris
- Land covered with recent volcanic features

F20 Sand

This class includes

- Areas of sand, shingle and mud: beaches, dunes, sand hills
- Gravel or sand banks above water level

F30 Lichens and moss

Areas covered by lichens/moss even if these are covering more than 10% of the ground. No other vegetation is present with over 10% coverage.

This class includes

- Areas covered by lichens, even if more than 10% of coverage
- Areas covered by moss, even if more than 10% of coverage

F40 Other bare soil

This class includes

- Bare arable land
- Temporarily unstocked areas within forests (clear cuts) with bare soil
- Burnt areas
- Secondary land cover for tracks and parking areas/yards with bare land cover (if the soil is not sealed)

Discussion/remarques

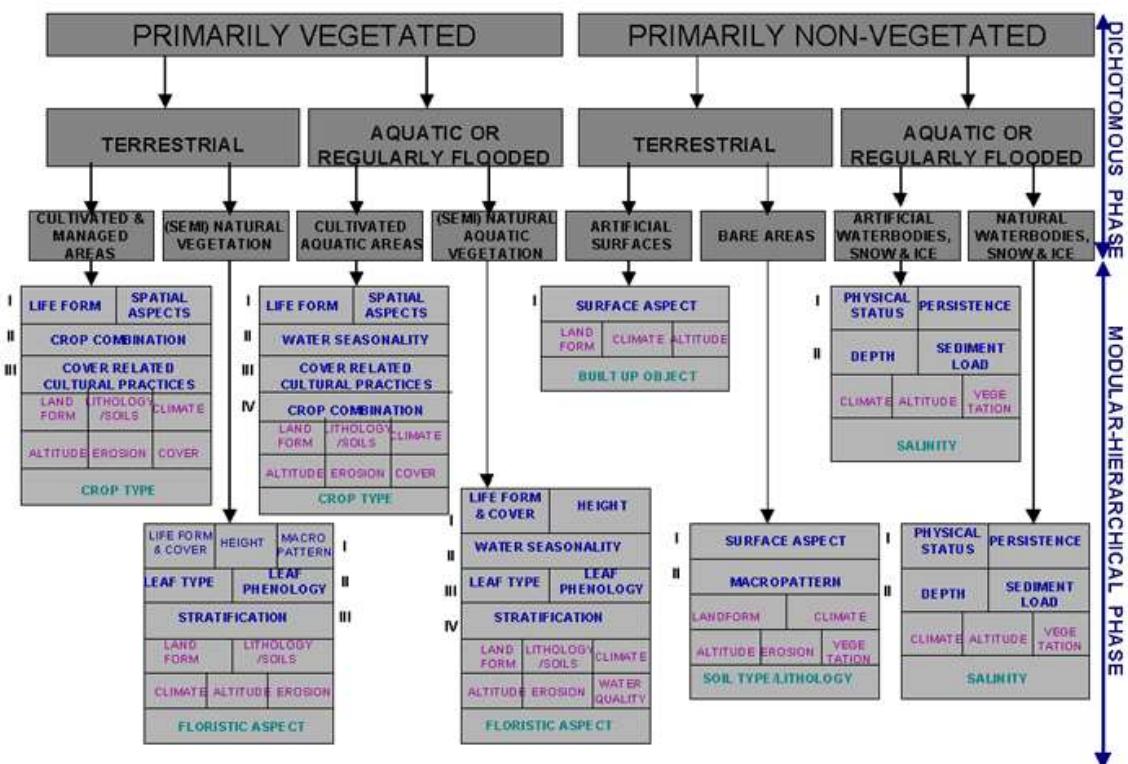
Il est possible d'utiliser avec le système LUCAS une double classification de l'occupation du sol, dans le cas d'occupations du sol incluant plusieurs couches (« layers ») de couverture végétale. Pour décrire les systèmes agroforestiers, on décrit comme 'primary land cover' (LC1) des terres boisées, et comme 'secondary land cover' (LC2) des terres où sont présents des arbustes, cultures, ou prairies (den Herder et al., 2016).

2) LCCS : Land Cover Classification system, FAO

Le système LCCS, créé par la FAO, est un système de classification permettant une grande souplesse dans la description de l'occupation du sol, grâce à un système hiérarchique pouvant capturer un nombre de détails croissant de la couverture du sol si cela est souhaité par l'utilisateur. Ce système est également conçu pour décrire l'occupation du sol quelle que soit l'échelle d'observation.

« LCCS instead opted for an approach based on two main phases. The first phase is an initial 'Dichotomous Phase', in which eight major land cover types are defined: (1) Cultivated and Managed Terrestrial Areas, (2) Natural and Semi-Natural Terrestrial Vegetation, (3) Cultivated Aquatic or Regularly Flooded Areas, (4) Natural and Semi-Natural Aquatic or Regularly Flooded Vegetation, (5) Artificial Surfaces and Associated Areas, (6) Bare Areas, (7) Artificial Waterbodies, Snow and Ice, and (8) Natural Waterbodies, Snow and Ice. The Dichotomous Phase is followed by a subsequent 'Modular-Hierarchical Phase', in which land cover classes are created by the combination of sets of pre-defined classifiers, which are different for each of the eight major land cover types. For example, common classifiers used for (semi-) natural terrestrial vegetation types are Life Form, Cover, Height, Macropattern. For aquatic or regularly flooded natural and semi-natural vegetation, water seasonality is an indispensable classifier. LCCS offers several advantages from a conceptual point of view. LCCS is a real a priori classification system in the sense that, for the classifiers considered, it covers all their possible combinations. The classification is also hierarchical and the more classifiers used, the greater the detail of the defined land cover class. The classes derived from the proposed classification system are all unique and unambiguous, due to the internal consistency and systematic description of the classes. LCCS is designed to map at a variety of scales, from small to large. From a practical viewpoint LCCS offers several advantages: (1) easy incorporation into GIS and databases, (2) allows flexible response to information available in a given area, project budget and time constraints, (3)unlinks the field data collection from the interpretation process . »

FIGURE 7. Overview of the Land Cover Classification System, its two phases and the classifiers.



Sont présentées ici les définitions des 8 catégories issues de la phase dichotomique :

A. Primarily vegetated areas :

This class applies to areas that have a vegetative cover of at least 4% for at least two months of the year. This cover may consist of the life forms Woody (Trees, Shrubs), Herbaceous (Forbs, Graminoids) or a combination of them, or consist of Lichens/Mosses (only when other life forms are absent). A separate cover condition exists for Lichens/Mosses that can be only applied if this life form contributes at least 25% to the total vegetative cover (see Appendix A).

A1. Terrestrial Primarily Vegetated Areas:

The vegetation is influenced by the edaphic substratum.

A11. Cultivated and Managed Terrestrial Areas:

This class refers to areas where the natural vegetation has been removed or modified and replaced by other types of vegetative cover of anthropogenic origin. This vegetation is artificial and requires human activities to maintain it in the long term. In between the human activities, or before starting crop cultivation, the surface can be temporarily without vegetative cover. Its seasonal phenological appearance can be regularly modified by humans (e.g., tillage, harvest, and irrigation). All vegetation that is planted or cultivated with an intent to harvest is included in this class (e.g., wheat fields, orchards, rubber and teak plantations).

A12. Natural and Semi-Natural Vegetation:

Natural vegetated areas are defined as areas where the vegetative cover is in balance with the abiotic and biotic forces of its biotope. Semi-natural vegetation is defined as vegetation not planted by humans but influenced by human actions. These may result from grazing, possibly overgrazing the

natural phytocenoses, or else from practices such as selective logging in a natural forest whereby the floristic composition has been changed. Previously cultivated areas which have been abandoned and where vegetation is regenerating are also included. The secondary vegetation developing during the fallow period of shifting cultivation is a further example. The human disturbance may be deliberate or inadvertent. Hence semi-natural vegetation includes vegetation due to human influences but which has recovered to such an extent that species composition and environmental and ecological processes are indistinguishable from, or in a process of achieving, its undisturbed state. The vegetative cover is not artificial, in contrast to classes A11 and A24, and it does not require human activities to be maintained in the long term.

A2. Aquatic or Regularly Flooded Primarily Vegetated Areas:

The environment is significantly influenced by the presence of water over extensive periods of time. The water is the dominant factor determining natural soil development and the type of plant communities living on its surface. Includes marshes, swamps, bogs and all areas where water is present for a substantial period regularly every year. This class includes floating vegetation.

A23. Cultivated Aquatic or Regularly Flooded Areas:

This class includes areas where an aquatic crop is purposely planted, cultivated and harvested, and which is standing in water over extensive periods during its cultivation period (e.g., paddy rice, tidal rice and deepwater rice). In general, it is the emerging part of the plant that is fully or partly harvested. Other plants (e.g., for purification of water) are free-floating. They are not harvested but they are maintained. This class excludes irrigated cultivated areas.

A24. Natural and Semi-Natural Aquatic or Regularly Flooded Vegetation:

This class describes areas which are transitional between pure terrestrial and aquatic systems and where the water table is usually at or near the surface, or the land is covered by shallow water. The predominant vegetation, at least periodically, comprises hydrophytes. Marshes, swamps, bogs or flats where drastic fluctuations in water level or high concentration of salts may prevent the growth of hydrophytes are all part of this class. The vegetative cover is significantly influenced by water and dependent on flooding (e.g., mangroves, marshes, swamps and aquatic beds). Occasionally-flooded vegetation within a terrestrial environment is not included in this class. *Natural Vegetated Aquatic* habitats are defined as biotopes where the vegetative cover is in balance with the influence of biotic and abiotic forces. *Semi-Natural Aquatic* vegetation is defined as vegetation that is not planted by humans but which is influenced directly by human activities that are undertaken for other, unrelated purposes. Human activities (e.g., urbanization, mining and agriculture) may influence abiotic factors (e.g., water quality), affecting species composition. Furthermore, this class includes vegetation that developed due to human activities but which has recovered to such an extent that it is indistinguishable from its former state, or which has built up a new biotope which is in balance with the present environmental conditions. A distinction between Natural and Semi-Natural Aquatic Vegetation is not always possible because human activities distant to the habitat may create chain reactions which ultimately disturb the aquatic vegetative cover. Human activities may also take place deliberately to compensate for effects as noted above with the aim of keeping a "natural" state.

B. Primarily Non-Vegetated Areas:

This class includes areas that have a total vegetative cover of less than 4% for more than 10 months of the year, or in the absence of Woody or Herbaceous life forms less than 25% cover of Lichens/Mosses

B1. Terrestrial Primarily Non-Vegetated Areas:

The cover is influenced by the edaphic substratum.

B15. Artificial Surfaces and Associated Areas:

This class describes areas that have an artificial cover as a result of human activities such as construction (cities, towns, transportation), extraction (open mines and quarries) or waste disposal.

B16. Bare Areas:

This class describes areas that do not have an artificial cover as a result of human activities. These areas include areas with less than 4% vegetative cover. Included are bare rock areas, sands and deserts.

B2. Aquatic or Regularly Flooded Primarily Non-Vegetated Areas:

The environment is significantly influenced by the presence of water over an extensive period of time each year.

B27. Artificial Waterbodies, Snow and Ice:

This class applies to areas that are covered by water due to the construction of artefacts such as reservoirs, canals, artificial lakes, etc. Without these the area would not be covered by water, snow or ice.

B28. Natural Waterbodies, Snow and Ice:

This class refers to areas that are naturally covered by water, such as lakes, rivers, snow or ice. In the case of rivers, the lack of vegetation cover is often due to high flow rates and/or steep banks. In the case of lakes, their geological origin affects the life conditions for aquatic vegetation. The following circumstances might cause water surfaces to be without vegetation cover: depth, rocky basins, rocky and/or steep shorelines, infertile washed-in material, hard and coarse substrates.

Pour chacune de ces grandes catégories, des modalités d'occupation du sol peuvent être créées et décrites à l'aide des attributs listés ci-dessous :

APPENDIX C - OVERVIEW OF ENVIRONMENTAL ATTRIBUTES OF EACH MAJOR LAND COVER TYPE OF THE CLASSIFICATION SYSTEM

PRIMARILY VEGETATED			PRIMARILY NON-VEGETATED		
A11. CULTIVATED AND MANAGED TERR. AREAS	A12. SEMI-NATURAL TERR. VEGETATION	A24. SEMI-NATURAL AQUATIC VEGETATION	B15. ARTIFICIAL SURFACES AND ASS. AREAS		
I. A. Life Form of the Main Crop	I. A. Life Form of the Main Strata	I. A. Life Form of the Main Strata	I. A. Surface Aspect	Code	
Trees	Woody	Woody	Built Up	A1	
Broadleaved	Trees	Trees	Linear	A3	
Needleleaved	Shrubs	Shrubs	Roads	A7	
Evergreen	Herbaceous	Herbaceous	Paved	A8	
Deciduous	Forbs	Forbs	Unpaved	A9	
Shrubs	Graminoids	Rooted	Railways	A10	
Broadleaved	Lichens/Mosses	Free Floating	Comm. Lines/Pipelines	A11	
Needleleaved	Lichens	Graminoids	Non-Linear	A4	
Evergreen	Mosses	Lichens	Industrial a/o Other	A12	
Deciduous	A. Cover	A. Cover	High Density	A14	
Herbaceous	Closed (> 70-80%)	Closed (> 70-80%)	Medium Density	A15	
Graminoids	Open (70-60 - 20-10%)	Open (70-60 - 20-10%)	Low density	A16	
Non-Graminoids	(70-60 - 40%)	(70-60 - 40%)	Urban Areas	A13	
Urban Vegetated Area(s)	(40 - 20-10%)	(40 - 20-10%)	High Density	A14	
Parks	Sparse (20-10 - 1%)	Sparse (20-10 - 1%)	Medium Density	A15	
Parkland	(<20-10 - 4%)	(<20-10 - 4%)	Low density	A16	
Lawns	Scattered (4 - 1%)	Scattered (4 - 1%)	Non Built Up	A2	
B. Spatial Aspect - Field Size	B. Height	B. Height	Waste Dump Deposits	A5	
Large To Medium Sized Field(s)	7 - 2m (for Woody)	7 - 2m (for Woody)	Extraction Sites	A6	
Large Sized Field(s)	>30 - 3m (for Trees)	>30 - 3m (for Trees)			
Medium Sized Field(s)	>14m	>14m			
Small Sized Field(s)	14-7m	14-7m			
B. Spatial Aspect - Field Distribution	7-3m	7-3m			
Continuous	5 - 0.3m	5 - 0.3m			
Scattered Clustered	5-0.5m	5-0.5m			
Scattered Isolated	5-3m	5-3m			
II. C. Crop Combination	3-0.5m	3-0.5m			
Single Crop	<0.5m	<0.5m			
Multiple Crop	3 - 0.03m	3 - 0.03m			
One Additional Crop	3-0.3m	3-0.3m			
Trees	0.8-0.8m	0.8-0.8m			
Shrubs	0.8-0.3m	0.8-0.3m			
Herbaceous Terrestrial	0.3-0.03m	0.3-0.03m			
Herbaceous Aquatic	C. Spatial Distribution/Macropattern	C. Spatial Distribution/Macropattern			
Simultaneously	Continuous	Continuous			
Overlapping	Fragmented	Fragmented			
Sequential	Striped	Striped			
Two Additional Crops	Cellular	Cellular			
Trees	Parikelike Patches	Parikelike Patches			
Shrubs	D. Leaf Type	D. Leaf Type			
Herbaceous Terrestrial	Broadleaved	Broadleaved			
Herbaceous Aquatic	Needleleaved	Needleleaved			
Simultaneously	Aphyllous	Aphyllous			
Overlapping	E. Leaf Phenology	E. Leaf Phenology			
Sequential	Evergreen	Evergreen			
Trees	Semi-Evergreen	Semi-Evergreen			
Shrubs	Deciduous	Deciduous			
Herbaceous Terrestrial	Semi-Deciduous	Semi-Deciduous			
Herbaceous Aquatic	Mixed	Mixed			
Simultaneously	Mixed (for Forbs/Graminoids)	Mixed (for Forbs/Graminoids)			
Overlapping	Annual	Annual			
Sequential	Perennial	Perennial			
III. D. Cultural Practices - Water Supply	III. F. Stratification - Second Layer	IV. F. Stratification - Second Layer			
Rainfed	Second Layer Absent	F1			
Postflooding	Second Layer Present	F2			

Lien vers les définitions des attributs : http://www.fao.org/3/x0596e/X0596e01n.htm#P9_32

3) LCML : Land Cover Meta Language (FAO)

Le système LCML est un méta langage permettant de décrire l'occupation du sol et de créer des nomenclatures d'occupation du sol. Ce système est standardisé et associé à une norme ISO (ISO 19144-2:2012). Ce système repose sur le LCSS, mais permet encore plus de flexibilité pour décrire l'occupation du sol.

Une classe d'occupation du sol est définie par des objets « biotic » et « abiotic », qui peuvent être organisés horizontalement ou verticalement dans l'espace, et peuvent également avoir une organisation temporelle. Ces objets peuvent être customisés à l'aide d'attributs décrivant le climat, la topographie, etc.

« LCML acts as a method to bring the LC community together to create a common understanding of LC nomenclatures with the aim to produce global, regional and national data sets able to be reconciled at different scales, level of detail and geographic location. The LCML provides a general framework of rules from which more exclusive conditions can be derived to create specific legends. It is a language based on physiognomy and stratification of both biotic and abiotic materials. The

system may be used to specify any LC feature anywhere in the world, using a set of independent diagnostic criteria that allow correlation with existing classifications and legends.

LCML Land cover classes are defined by a combination of a set of LC elements. These LC meta-elements are divided in two categories: “basic elements” the elements that constitutes the main physiognomic aspects of biotic and abiotic cover features, for instance for biotic features trees, shrubs, herbaceous vegetation etc.; and “element properties” that further define the physiognomic/structural aspect of the basic objects.

The fundamental idea of LCML is that a predefined set of LCML basic elements (BIOTIC and ABIOTIC) and their properties enriched in their semantic significance with “element” and “class” characteristics can be arranged in different types of vertical and horizontal patterns to describe a wide variety of distinctive and detailed land cover situations. »

THE OBJECT ORIENTED METHOD TO MAP LAND COVER ACCORDING TO FAO/GLCN

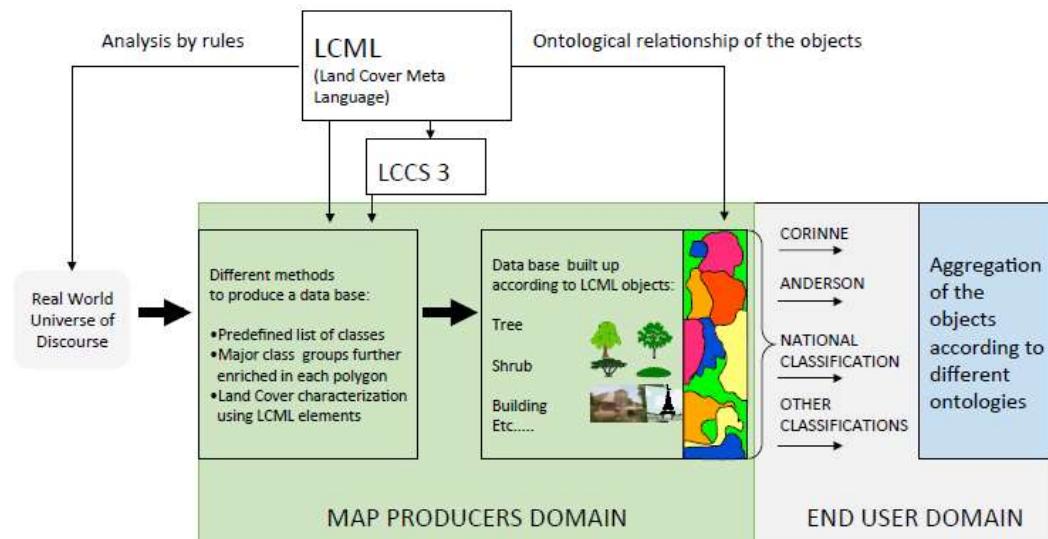


Fig.4 - The object oriented method to map LC, according to FAO/GLCN.

Exemple de description des savanes à l'aide du système LCML :



Fig.15A - This example describes the formation of a land cover class using different vegetation layers. Savannah vegetation is usually composed by a combination of sparse trees and shrubs over a grassland area. Three separate layers of Trees, Shrubs and Herbs with different cover of the woody component type.

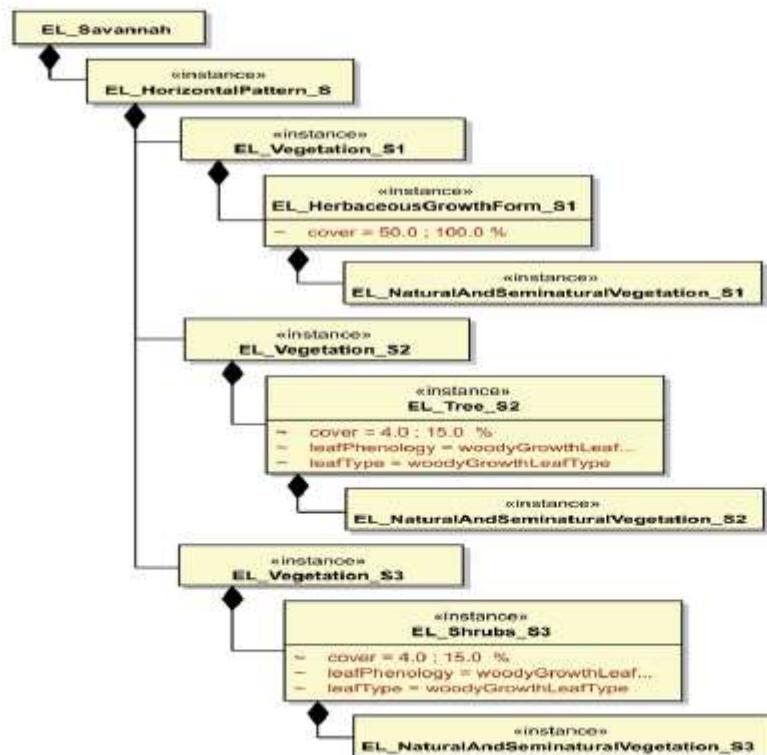


Fig.15B - The resulting LCML model for the class Savannah.

Correspondance entre une classe d'occupation Corine Land Cover et LCML : exemple avec les rizières, que l'on peut décomposer en deux couches : une couche correspondant à la végétation (plantes de type graminées) et une couche correspondant à une masse d'eau.

213 - RICE FIELDS

Original Description: Land prepared for rice cultivation. Flat surfaces with irrigation channels. Surfaces periodically flooded. Translation notes and LCCS graphical schema: one layer of "herbaceous growth forms" "cultivated" with specific floristic name "rice" and another of "natural water" "fresh" covering the field for the whole cultivation period have been considered.



Fig.20 – Translation of the Corine “rice field” class into the LCML schema using LCCS3.

4) IBGP land cover classes

Class	Class name	Description
1	Evergreen needleleaf forests	Lands dominated by needleleaf woody vegetation with a percent cover >60% and height exceeding 2 m. Almost all trees remain green all year. Canopy is never without green foliage.
2	Evergreen broadleaf forests	Lands dominated by broadleaf woody vegetation with a percent cover >60% and height exceeding 2 m. Almost all trees and shrubs remain green year round. Canopy is never without green foliage.
3	Deciduous needleleaf forests	Lands dominated by woody vegetation with a percent cover >60% and height exceeding 2 m. Consists of seasonal needleleaf tree communities with an annual cycle of leaf-on and leaf-off periods.
4	Deciduous broadleaf forests	Lands dominated by woody vegetation with a percent cover >60% and height exceeding 2 m. Consists of broadleaf tree communities with an annual cycle of leaf-on and leaf-off periods.
5	Mixed forests	Lands dominated by trees with a percent cover >60% and height exceeding 2 m. Consists of tree communities with interspersed mixtures or mosaics of the other four forest types. None of the forest types exceeds 60% of landscape.

6	Closed shrublands	Lands with woody vegetation less than 2 m tall and with shrub canopy cover >60%. The shrub foliage can be either evergreen or deciduous.
7	Open shrublands	Lands with woody vegetation less than 2 m tall and with shrub canopy cover between 10% and 60%. The shrub foliage can be either evergreen or deciduous.
8	Woody savannas	Lands with herbaceous and other understory systems, and with forest canopy cover between 30% and 60%. The forest cover height exceeds 2 m.
9	Savannas	Lands with herbaceous and other understory systems, and with forest canopy cover between 10% and 30%. The forest cover height exceeds 2 m.
10	Grasslands	Lands with herbaceous types of cover. Tree and shrub cover is less than 10%.
11	Permanent wetlands	Lands with a permanent mixture of water and herbaceous or woody vegetation. The vegetation can be present either in salt, brackish, or fresh water.
12	Croplands	Lands covered with temporary crops followed by harvest and a bare soil period (e.g., single and multiple cropping systems). Note that perennial woody crops will be classified as the appropriate forest or shrub land cover type.
13	Urban and built-up lands	Land covered by buildings and other man-made structures.
14	Cropland/natural vegetation mosaic	Lands with a mosaic of croplands, forests, shrubland, and grasslands in which no one component comprises more than 60% of the landscape.
15	Snow and ice	Lands under snow/ice cover throughout the year.
16	Barren	Lands with exposed soil, sand, rocks, or snow and never have more than 10% vegetated cover during any time of the year.
17	Water bodies	Oceans, seas, lakes, reservoirs, and rivers. Can be either fresh or salt-water bodies.

5) Corine Land Cover

« CORINE Land Cover (CLC) est un inventaire biophysique de l'occupation des sols et de son évolution selon une nomenclature en 44 postes. Cet inventaire est produit par interprétation visuelle d'images satellite. L'échelle de production est le 1/100 000. CLC permet de cartographier des unités homogènes d'occupation des sols d'une surface minimale de 25 ha. »

<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/corine-land-cover-0>

Définition des niveaux 2 :

Class 1: Artificial areas

Class 1.1 Urban fabric

Areas mainly occupied by dwellings and buildings used by administrative/public utilities, including their connected areas (associated lands, approach road network, parking lots).

Class 1.2 Industrial, commercial and transport units

Areas mainly occupied by industrial activities of manufacturing, trade, financial activities and services, transport infrastructures for road traffic and rail networks, airport installations, river and sea port installations, including their associated lands and access infrastructures. Includes industrial livestock rearing facilities.

Class 1.3 Mine, dump and construction sites

Artificial areas mainly occupied by extractive activities, construction sites, man-made waste dump sites and their associated lands.

Class 1.4 Artificial non-agricultural vegetated areas

Areas voluntarily created for recreational use. Includes green or recreational and leisure urban parks, sport and leisure facilities.

Class 2: Agricultural areas

Class 2.1 Arable land

Lands under a rotation system used for annually harvested plants and fallow lands, which are rainfed or irrigated. Includes flooded crops such as rice fields and other inundated croplands.

211 Non-irrigated arable land

Cultivated land parcels under rainfed agricultural use for annually harvested non-permanent crops, normally under a crop rotation system, including fallow lands within such crop rotation. Fields with sporadic sprinkler-irrigation with non-permanent devices to support dominant rainfed cultivation are included.

212 Permanently irrigated arable land

Cultivated land parcels under agricultural use for arable crops that are permanently or periodically irrigated, using a permanent infrastructure (irrigation channels, drainage network and additional irrigation facilities). Most of these crops cannot be cultivated without artificial water supply. Does not include sporadically irrigated land.

213 Rice fields

Cultivated land parcels prepared for rice production, consisting of periodically flooded flat surfaces with irrigation channels.

Class 2.2 Permanent crops

All surfaces occupied by permanent crops, not under a rotation system. Includes ligneous crops of standards cultures for fruit production such as extensive fruit orchards, olive groves, chestnut groves,

walnut groves shrub orchards such as vineyards and some specific low-system orchard plantation, espaliers and climbers.

221 Vineyards

Areas planted with vines, vineyard parcels covering >50% and determining the land use of the area.

222 Fruit tree and berry plantations

Cultivated parcels planted with fruit trees and shrubs, intended for fruit production, including nuts.
The planting pattern can be by single or mixed fruit species, both

Particularity of class 222: Hop plantations

Areas of arable land where hop is cultivated with tall supporting construction.in association with permanently grassy surfaces.

223 Olive groves

Cultivated areas planted with olive trees.

Class 2.3 Pastures

Lands that are permanently used (at least 5 years) for fodder production. Includes natural or sown herbaceous species, unimproved or lightly improved meadows and grazed or mechanically harvested meadows. Regular agriculture impact influences the natural development of natural herbaceous species composition.

231 Pastures, meadows and other permanent grasslands under agricultural use

Permanent grassland characterized by agricultural use or strong human disturbance. Floral composition dominated by graminacea and influenced by human activity. Typically used for grazing - pastures, or mechanical harvesting of grass – meadows.

Particularity of class 231: Grassland on abandoned arable land

Uncultivated parcels that turned into grassland by not using arable land for more than three years. Identification of the quoted grassland requires application of multi-temporal (multiannual) satellite imagery.

Particularity of class 231: Wooded meadows

Meadows where dispersed woody vegetation occupy up to 50% of surface. These meadows are characterised by rich floristic composition.

Particularity of class 231: non-used parcels between buildings and around settlements

Class 2.4 Heterogeneous agricultural areas

Areas of annual crops associated with permanent crops on the same parcel, annual crops cultivated under forest trees, areas of annual crops, meadows and/or permanent crops which are juxtaposed, landscapes in which crops and pastures are intimately mixed with natural vegetation or natural areas.

241 Annual crops associated with permanent crops

Cultivated land parcels with non-permanent crops (mostly arable land) associated with permanent crops (fruit trees or olive trees or vines) on the same parcel.

242 Complex cultivation patterns

Mosaic of small cultivated land parcels with different cultivation types - annual crops, pasture and/or permanent crops -, eventu-ally with scattered houses or gardens.

243 Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation

Areas principally occupied by agriculture, interspersed with significant natural or semi-natural areas (including forests, shrubs, wetlands, water bodies, mineral outcrops) in a mosaic pattern.

244 Agro-forestry areas

Annual crops or grazing land under the wooded cover of forestry species.

Class 3: Forest and semi-natural areas

Class 3.1 Forests

Areas occupied by forests and woodlands with a vegetation pattern composed of native or exotic coniferous and/or broad-leaved trees and which can be used for the production of timber or other forest products. The forest trees are under normal climatic conditions higher than 5 m with a canopy closure of 30 % at least. In case of young plantation, the minimum cut-off-point is 500 subjects by ha.

311 Broad-leaved forest

Vegetation formation composed principally of trees, including shrub and bush understorey, where broad-leaved species predominate.

312 Coniferous forest

Vegetation formation composed principally of trees, including shrub and bush understorey, where coniferous species predominate.

313 Mixed forest

Vegetation formation composed principally of trees, including shrub and bush understorey, where neither broad-leaved nor coniferous species pre-dominate.

Class 3.2 Shrubs and/or herbaceous vegetation associations

Temperate shrubby areas with Atlantic and Alpine heaths, sub-Alpine bush and tall herb communities, deciduous forest re-colonisation, hedgerows, dwarf conifers. All transitional forest development stages (regenerative and degenerative: natural development of forest – bushy formations on abandoned meadows, pastures or forest clear cut and also forest after calamities of various origin) should be classified as 324.

- Shrubby formation with sparse trees (< 15 % canopy closure in climax stage and the height of trees can be > 5-7 m) composed of dwarf forms of *Betula* spp. and *Salix* spp., plus *Vaccinium* spp. *Empetrum* *migrum*, *Ledum* *palustre*, *Carex* spp., *Cladonia* spp., etc. (cover > 50 % of surface) frequently interrupted by rock outcrops (typical of Scandinavia and the Northern Atlantic) should be classified as moors and heathland – tundra (322).
- Mediterranean and sub-Mediterranean evergreen sclerophyllous bush and scrub (maquis, garigue, matorral, phrygana sensu lato), re-colonisation and degradation stages of broad-leaved evergreen forests.
- Dry thermophilous grasslands of the lowlands, hills and mountain zone. Poor Atlantic a sub-Atlantic mat-grasslands of acid soils; grasslands of decalcified sands; Alpine and sub Alpine grasslands. Humid grasslands and tall herb communities; lowland and mountain mesophile pastures and hay meadows.

321 Natural grassland

Grasslands under no or moderate human influence. Low productivity grasslands. Often situated in areas of rough, uneven ground, steep slopes; frequently including rocky areas or patches of other (semi-)natural vegetation.

Particularity of class 321: Alpine meadows

Grass formations which occur in high mountains above the timberline as natural climax-state herbaceous plant communities, where growing conditions do not allow development and survival of woody vegetation.

Particularity of class 321: Grass formations of alluvial and coastal plains with high soil humidity and seasonal inundation, with low human influence.

322 Moors and heathland

Vegetation with low and closed cover, dominated by bushes, shrubs, dwarf shrubs (heather, briars, broom, gorse, laburnum etc.) and herbaceous plants, forming a climax stage of development.

Particularity of class 322: Dwarf mountain pine scrub

Climax stage dwarf pine stands formations of 2-2.5 m height with a compact canopy occurring in high altitudes, where growing conditions do not allow development higher woody vegetation.

323 Sclerophyllous vegetation

Bushy sclerophyllous vegetation in a climax stage of development, including maquis, matorral and garrigue

324 Transitional woodland/shrub

Transitional bushy and herbaceous vegetation with occasional scattered trees. Can represent woodland degradation, forest regeneration / recolonization or natural succession.

Particularity of class 324: Wooded fen, bog and transitional bog

Shrubby-herbaceous vegetation with scattered trees forming marginal zones of peat bogs.

Class 3.3 Open spaces with little or no vegetation

Natural areas covered with little or no vegetation, including open thermophile formations of sandy or rocky grounds distributed on calcareous or siliceous soils frequently disturbed by erosion, steppic grasslands, perennial steppe-like grasslands, meso- and thermo-Mediterranean xerophile, mostly open, short-grass perennial grasslands, alpha steppes, vegetated or sparsely vegetated areas of stones on steep slopes, screes, cliffs, rock fares, limestone pavements with plant communities colonising their tracks, perpetual snow and ice, inland sand-dune, coastal sand-dunes and burnt natural woody vegetation areas.

331 Beaches, dunes, and sand plains

Natural non-vegetated expanses of sand or pebble/gravel, in coastal or continental locations, like beaches, dunes, gravel pads; including beds of stream channels with torrential regime. Vegetation covers maximum 10%.

332 Bare rock

Scree, cliffs, rock outcrops, including areas of active erosion, rocks and reef flats situated above the high-water mark, inland salt planes.

333 Sparsely vegetated areas

Areas with sparse vegetation, covering 10-50% of surface. Includes steppes, tundra, lichen heath, badlands, karstic areas and scattered high-altitude vegetation.

334 Burnt areas

Natural woody vegetation affected by recent fires.

335 Glaciers and perpetual snow

Land covered by glaciers or permanent snowfields.

Class 4: Wetlands

Class 4.1 Inland wetlands

Areas flooded or liable to flooding during the great part of the year by fresh, brackish or standing water with specific vegetation coverage made of low shrub, semi-ligneous or herbaceous species. Includes wa-ter-fringe vegetation of lakes, rivers, and brooks and of fens and eutrophic marshes, vegetation of transi-tion mires and quaking bogs and springs, highly oligotrophic and strongly acidic communities composed mainly of sphagnum growing on peat and deriving moistures of raised bogs and blanket bogs.

411 Inland marshes

Low-lying land usually flooded in winter, and with ground more or less satu-rated by fresh water all year round.

Particularity of class 411: Treeless fens and transitional bogs sometimes with > a 30 cm-thick peat layer

412 Peatbogs

Wetlands with accumulation of considerable amount of decomposed moss (mostly Sphagnum) and vegetation matter. Both natural and exploited peat bogs.

Particularity of class 412: Exploited peat bogs

Class 4.2 Coastal wetland

Areas which are submerged by high tides at some stage of the annual tidal cycle. Includes salt meadows, facies of saltmarsh grass meadows, transitional or not to other communities, vegetation occupying zones of varying salinity and humidity, sands and muds submerged for part of every tide devoid of vascular plants, active or recently abandoned salt-extraction evaporation basins.

421 Coastal salt marshes

Vegetated low-lying areas in the coastal zone, above the high-tide line, sus-ceptible to flooding by seawater. Often in the process of being filled in by coastal mud and sand sediments, gradually being colonized by halophilic plants.

422 Salines

Salt-pans for extraction of salt from salt water by evaporation, active or in process of abandonment. Sections of salt marsh exploited for the production of salt, clearly distinguishable from the rest of the marsh by their parcellation and embankment systems.

423 Intertidal flats

Coastal zone under tidal influence between open sea and land, which is flooded by sea water regularly twice a day in a ca. 12 hours cycle.

Area between the average lowest und highest sea water level at low tide and high tide. Generally non-vegetated expanses of mud, sand or rock lying be-tween high and low water marks.

Class 5: Water bodies

Class 5.1 Inland waters (non détaillé ici)

Lakes, ponds and pools of natural origin containing fresh (i.e non-saline) water and running waters made of all rivers and streams. Man-made fresh water bodies including reservoirs and canals.

Class 5.2 Marine waters (non détaillé ici)

Oceanic and continental shelf waters, bays and narrow channels including sea lochs or loughs, fiords or fjords, rya straits and estuaries. Saline or brackish coastal waters often formed from sea inlets by sitting and cut-off from the sea by sand or mud banks.

Traductions existantes entre différents systèmes de classification

Corine Land Cover → LCCS & IBGP → LCCS

(Herold et al., 2009) ont traduit les classes des systèmes Corine Land Cover (CLC) et IBGP en classes LCCS (système de la FAO).

Les auteurs de l'étude notent que certaines classes CLC sont subjectives, et posent des problèmes d'interprétation pour les traduire avec le système LCCS. Il s'agit de classes mixtes, telles que « *Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation* », « *Transitionnal woodland-shrub* », « *Complex cultivation patterns* », et « *Mixed forests* ».

Exemple de traductions pour certaines classes CLC :

CLC class	LCCLabel	LCCCCode	LCCLevel	CORINE description	Translation Notes
212 Permanently irrigated land	Surface Irrigated Herbaceous Crop(s) // Surface Irrigated Shrub Crop(s) // Surface Irrigated Tree Crop(s)	11500-13227 // 11495-13227 // 11491-13227	A3XXXXXXD 3-D4 // A1XXXXXXD 3-D4 // A2XXXXXXD 3-D4	Crops irrigated permanently or periodically, using a permanent infrastructure (irrigation channels, drainage network). Most of these crops cannot be cultivated without an artificial water supply. Does not include sporadically irrigated land.	CORINE does not consider sprinkler irrigation here, but only flood or flush irrigation techniques which is similar to the LCCS definition of 'Surface Irrigated'. inconsistent class separation criteria (may include life forms as defined in other agricultural classes, e.g. 22x)
213 Rice fields	Graminoid Crops Dominant Crop: Cereals - Rice (<i>Oryza</i> spp.)	10037-S0308	A4-S0308	Land prepared for rice cultivation. Flat surfaces with irrigation channels. Surfaces periodically flooded.	LCCS mode function used (Mode 1): Rice can be cultivated in paddies (wetland cultivation) as well as on dry land (with appropriate irrigation). possible overlap to CLC class 212
2.2 Permanent crops					
221 Vineyards	Broadleaved Deciduous Shrub Crop(s) Dominant Crop: Fruits & Nuts - Grapes (<i>Vitis vinifera</i>)	10013-1891-S0610	A2-A7A10-S0610	Areas planted with vines.	Note: CORINE extension - unclear class boundary due to the guideline to interpret an area as vineyards if "they determine the land use of the area"
222 Fruit trees and berry plantations	Broadleaved Tree Crop(s) Crop Type: Fruits & Nuts // Broad-leaved Shrub Crop(s) Crop Type: Fruits & Nuts // Broadleaved Shrub Crop(s) Crop Type: Beverage	10001-3781-S6 // 10013-3781-S6 // 10013-3781-S8	A1-A7-S6 // A2-A7-S6 // A2-A7-S8	Parcels planted with fruit trees or shrubs: single or mixed fruit species, fruit trees associated with permanently grassed surfaces. Includes chestnut and walnut groves.	Not class specific: One is forced to specify a type of 'Water Supply' in order to be able to choose an option from 'Cultivation Time Factor' although both characteristics are totally independent. 'Permanent' is not defined. Note: land cover inconsistencies to classes 221, 223, (211)

Références liées à l'annexe 1 :

Belward, A., Ed. The IGBP-DIS Global 1Km Land Cover Data Set “DISCover”: Proposal and Implementation Plans. 1996. IGBP-DIS Working Paper 13. International Geosphere Biosphere Programme. European Commission Joint Research Center, Ispra, Varese, Italy.

den Herder, M., Moreno, G., Mosquera-Losada, R., Palma, J., Sidiropoulou, A., Santiago Freijanes, J.J., Crous-Duran, J., Paulo, J., Tomé, M., Pantera, A., Papanastasis, V., Mantzanas, K., Pachana, P., Burgess, P.J., 2016. Current extent and trends of agroforestry in the EU27. Deliverable Report 1.2 for EU FP7 Research Project: AGFORWARD 613520 (No. 2nd Edition).

Herold, M., Hubald, R., Di Gregorio, A., 2009. Translating and evaluating land cover legends using the UN Land Cover Classification System (LCCS). GOGC-GOLD Rep. 43.

Annexe 2 – Autres classifications pour l’usage des sols

1) LUCAS survey classification, 2015

Définition : «land use is the socioeconomic function of the land »

LUCAS survey classification (2015): land-use

Land use			
U100	PRIMARY SECTOR	U110	Agriculture
		U120	Forestry
		U130	Aquaculture and fishing
		U140	Mining and quarrying
		U150	Other primary production
U 200	SECONDARY SECTOR	U210	Energy production
		U220	Industry and manufacturing
U300	TERTIARY SECTOR, TRANSPORT, UTILITIES & RESIDENTIAL	U310	Transport, communication networks, storage, protection works
		U320	Water and waste treatment
		U330	Construction
		U340	Commerce, financial, professional and information services
		U350	Community services
		U360	Recreation, leisure, sport
U400	UNUSED AND ABANDONED AREAS	U410	Abandoned areas
		U420	Semi-natural and natural areas not in use

Détail des classes U110 et U120, Agriculture et Forestry :

U110 Agriculture

U111 Agriculture (excluding fallow land and kitchen gardens)

Areas used for agricultural purposes (NACE Section A01) and field construction (e.g. agricultural land terracing, drainage, preparing rice paddies etc. - NACE 43.12 as far as related to agricultural activities). This class includes the production of crop products and production of animal products. This class includes growing of crops in open fields as well as in greenhouses. The preparation of products for the primary markets is included here. These areas are normally harvested with use of agricultural machinery (exc. delicate crops).

This class includes :

A01.1 Growing of non-perennial crops

- Growing of cereals (except rice), leguminous crops and oil seeds
- Growing of rice
- Growing of vegetables and melons, roots and tubers
- Growing of sugar cane
- Growing of tobacco
- Growing of fiber crops
- Growing of fodder crops (including temporary grassland)
- Growing of other non-perennial crops (including industrial reed beds)

A01.2 Growing of perennial crops (except A01.29 which is U120 forestry)

- Growing of grapes
- Growing of tropical and subtropical fruits
- Growing of citrus fruits
- Growing of pome fruits and stone fruits
- Growing of other tree and bush fruits and nuts
- Growing of oleaginous fruits
- Growing of beverage crops
- Growing of spices, aromatic, drug and pharmaceutical crops

A01.3 Plant propagation

- Growing of plants for planting
- Growing of plants for ornamental purposes, including turf for transplanting
- Growing of live plants for bulbs, tubers and roots; cuttings and slips; mushroom spawn

A01.4 Animal production (includes raising (farming) and breeding of all animals, except aquatic animals)

- Raising of dairy cattle (including the grazing areas)
- Raising of other cattle and buffaloes (including the grazing areas)
- Raising of horses and other equines (including the grazing areas)
- Raising of sheep and goats (including the grazing areas)
- Raising of swine/pigs
- Raising of poultry
- Raising of other animals (including the grazing areas)

A01.5 Growing of crops combined with farming of animals (mixed farming)

- Crop growing in combination with farming of livestock at mixed activity units with a specialization ratio in either one of less than 66%

- A01.6 Support activities to agriculture and post-harvest crop activities

- Support activities for crop production
- Support activities for animal production
- Post-harvest crop activities
- Seed processing for propagation

U112 Fallow land

Agricultural land (cropland) not used for the entire year for crop production, as part of the field rotation. Also, all agricultural land which is set aside long-term is included. If the land is grazed, it falls under agricultural production and must be classified as U111. This class includes

- Set aside within agricultural areas
- Bare land for agricultural use (used in other years)

- Land with spontaneous natural growth (may be used as feed or ploughed in)
- Green fallow (land sown exclusively for production of green manure, possible species including clover (eg. annual sweet clover) (B51), vetches (vicia) (B41), buckwheat (B19b), winter green manure crops as oats (B15) and rye (B14), alfalfa=lucerne (B52), lupin (B41), millet (B19c), mustard (B35), sorghum (B19a) or soybean (B33))

U113 Kitchen garden

Gardens, where the crops are planted heterogeneously and mainly for own consumption. These areas are mostly fenced (by metal fences or hedges) and mostly situated in residential areas or as allotment gardens.

This class includes :

- Allotment gardens
- Kitchen gardens and fruit/nut trees (around the house)

U120 Forestry

U120 Forestry

Areas used for forestry purpose (NACE A02 and A01.29). This class includes the production of round wood, coppices and forest services. The extraction and gathering of wild growing non-wood forest products (for commercial purposes) is now classified under U150.

Besides the production of timber, forestry activities result in products that undergo little processing, such as firewood, charcoal (made by traditional processes) and round wood used in an unprocessed form (e.g. pit-props, pulpwood etc.). These activities can be carried out in natural or planted forests. This class can also include temporarily un-stocked areas (clear cuts) and firebreaks.

This class includes

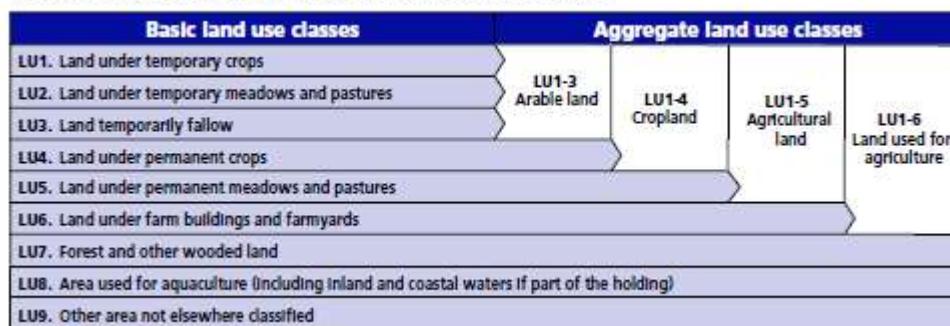
- Growing of standing timber: planting, replanting, transplanting, thinning and conserving of forests and timber tracts
- Growing of coppice, pulpwood and fire wood
- Logging: felling of timber and production of wood in the rough such as pit-props, split poles, pickets or fuel wood (NACE A02.2)
- Support services to forestry (NACE A02.4)
- Growing of christmas trees (NACE A01.29)
- Growing of cork oak trees and extraction of cork
- Growing of rubber trees for latex, or growing of trees for sap
- Growing of trees for plaiting
- Operation of forest tree nurseries (NACE A02.10)
- Forest services (forest inventory, fire fighting, pest protection, transport of logs in the forest)

2) World Census of Agriculture 2020 (FAO 2016)

« In 2012, at its forty-third session, the UNSC adopted the System of Environmental-Economic Accounting (SEEA)-Central Framework as an international statistical standard. Classification of land use is part of this SEEA-Central Framework standard. Therefore, the land use classes recommended by WCA 2020 are harmonized with the SEEA Land Use Classification.

In its basic form, the SEEA Land Use Classification covers land in the sense of terrestrial areas and inland waters, but in extended form it may also cover coastal waters and Exclusive Economic Zones (EEZ) of a country. **According to SEEA, land use reflects both: (i) the activities undertaken; and (ii) the institutional arrangements put in place for a given area for the purposes of economic production or the maintenance and restoration of environmental functions.** Use of an area implies the existence of some human intervention or management. Land in use therefore includes, for example, protected areas that are under the active management of institutional units of a country for the purpose of excluding economic or human activity from that area. The SEEA Land Use Classification also covers areas not in use in order to provide a complete accounting of the land within a country. »

Figure 1 - Classification of land use (LU) for the agricultural census



Classification et agrégation des classes d'utilisation des sols (WCA 2020, FAO 2016)

Correspondence between basic land use classes recommended by WCA 2020 and basic SEEA land use classes

Classes of the SEEA land use classification		Basic land use classes recommended by WCA 2020
1.1 Agriculture	1.1.1 Land under temporary crops	LU1. Land under temporary crops*
	1.1.2 Land under temporary meadows and pastures	LU2. Land under temporary meadows and pastures
	1.1.3 Land with temporary fallow	LU3. Land temporarily fallow
1.1.4 Land under permanent crops		LU4. Land under permanent crops**
1.1.5 Land under permanent meadows and pastures	1.1.5.1 Cultivated	LU5. Land under permanent meadows and pastures
	1.1.5.2 Naturally grown	
1.1.6 Land under protective cover		LU6. Land under farm buildings and farmyards***
1.2 Forestry	1.2.1 Forest land	LU7. Forest and other wooded land
	1.2.2 Other wooded land	
1.3 Land used for aquaculture		
2.1 Inland waters used for aquaculture or holding facilities		LUB. Area used for aquaculture (including inland and coastal waters if part of the holding)
3.1 Coastal waters used for aquaculture or holding facilities		
1.4 Use of built-up and related areas		
1.5 Land used for maintenance and restoration of environmental functions		
2.2 Inland waters used for maintenance and restoration of environmental functions		
3.2 Coastal waters used for maintenance and restoration of environmental functions		
1.6 Other uses of land, n.e.c.		
2.3 Other uses of inland waters, n.e.c.		LU9. Other area not elsewhere classified
3.3 Other uses of coastal waters, n.e.c.		
1.7 Land not in use		
2.4 Inland waters not in use		
3.4 Coastal waters not in use		

Correspondance entre les classes du SEEA (2012) et les classes retenues pour le WCA 2020 (FAO, 2016)

LU1 Land under temporary crops

Land under temporary crops includes all land used for crops with a less than one-year growing cycle; that is, they must be newly sown or planted for further production after the harvest. Some crops that remain in the field for more than one year may also be considered temporary crops. For example, strawberries, pineapples and bananas are considered to be annual crops in some areas. Such crops could be classified as temporary or permanent according to the custom in the country. Land under temporary crops includes also land used for growing temporary crops under protective cover.

LU2 Land under temporary meadows and pastures

Land under temporary meadows and pastures includes land temporarily cultivated with herbaceous forage crops for mowing or pasture. A period of less than five years is used to differentiate between temporary and permanent meadows and pastures. If country practice differs from this, the country definition should be clearly indicated in census reports.

LU3 Land temporarily fallow

Land temporarily fallow refers to arable land at prolonged rest before re-cultivation. This may be part of the holding's crop rotation system or because the normal crop cannot be planted because of flood damage, lack of water, unavailability of inputs or other reasons.

Land is not considered temporarily fallow unless it has been, or is expected to be, kept at rest for at least one agricultural year. If the census is conducted before sowing or planting has been completed, the area lying fallow at that time that will be put under crops soon afterwards should be classified as land under temporary crops, not as fallow land. Fallow land temporarily used for grazing should be classified as fallow if the land is normally used for growing temporary crops.

LU4 Land under permanent crops

Land under permanent crops refers to: land cultivated with long-term crops which do not have to be replanted for several years; land under trees and shrubs producing flowers, such as roses and jasmine; and nurseries (except those for forest trees, which should be classified under “forest and other wooded land”). Land under permanent crops also includes land used for growing permanent crops under protective cover. Land under permanent meadows and pastures is excluded from land under permanent crops. The ICC is provided in Annex 4, with the specification of permanent crops (see also paragraphs 8.2.18 – 8.2.19).

LU5 Land under permanent meadows and pastures

Land under permanent meadows and pastures includes land used permanently (for five years or more) to grow herbaceous forage crops, through cultivation or naturally (as wild prairie or grazing land). Whether land under permanent meadows and pastures is cultivated or naturally grown has important environmental implications; therefore countries are encouraged to further subdivide it according to this characteristic.

LU6 Land under farm buildings and farmyards

Land under farm buildings and farmyards refers to surfaces occupied by operating farm buildings (hangars, barns, cellars, silos), buildings for animal production (stables, cow sheds, sheep pens, poultry yards) and farmyards. Area under the holder’s house (including the yard around it) is also classified here if it makes up part of the agricultural holding (see paragraph 8.2.5).

LU7 Forest and other wooded land

Forest and other wooded land is land not classified as mainly “agricultural land” that satisfies either of the following definitions:

- Forest land is land spanning more than 0.5 ha with trees higher than 5 metres (m) and a canopy cover of more than 10 percent, or trees that are able to reach these thresholds in situ. It covers both natural and plantation forests. It includes forest roads, firebreaks and other small open areas, as well as areas that are temporarily not under trees (due to clear-cutting as part of forest management practice, abandoned shifting cultivation or natural disasters) but are expected to revert to forest within five years (in exceptional cases, local conditions may justify the use of a longer time frame). Windbreaks, shelterbelts and corridors of trees with an area of more than 0.5 ha and width of more than 20 m are included. Forest tree nurseries that form an integral part of the forest should be included.
- Other wooded land is land spanning more than 0.5 ha with: (i) trees higher than 5 m and a canopy cover of 5-10 percent, or trees able to reach these thresholds in situ; or (ii) trees not able to reach a height of 5 m in situ but with a canopy cover of more than 10 percent (e.g. some alpine tree

vegetation types, arid zone mangroves, etc.); or (iii) combined cover of shrubs, bushes and trees of more than 10 percent.

Forest or other wooded land spanning less than 0.5 ha should be classified into “other area not elsewhere classified”. Some countries, especially those with very small territory, such as small island countries, may wish to use a lower area threshold or no threshold at all in classifying the area as “forest land” or

“other wooded land”. When doing so, the country should clearly indicate this in the census report and provide separate tabulations for holdings with forest or wooded land above 0.5 ha to ensure international comparability.

A clear distinction must be made between “forest and other wooded land” and “land under permanent crops”. Plantations of rubber or Christmas trees, as well as palm and other cultivated food tree crops are generally considered to be permanent crops, whereas plantations of bamboo, cork oak, eucalyptus

for oil, or any other cultivated non-food tree crops are considered to be “forest and other wooded land”. However, there may be some special cases, which should be handled according to national conditions and practices. The treatment of borderline cases should be clearly stated in the presentation of census results.

In agroforestry systems, land that is predominantly used for agricultural purposes (e.g. grazing in wooded areas and shrubby zones) is excluded from “forest and other wooded land” even if it satisfies the height and canopy cover criteria described above. However, some agroforestry systems, such as the “Taungya” system, where crops are grown only during the first years of forest rotation, should be classified as forest.

[LU8 Area used for aquaculture \(including inland and coastal waters if part of the holding\)](#)

Area used for aquaculture includes area (land, inland waters or coastal waters) for aquaculture facilities, including supporting facilities. Aquaculture refers to farming of aquatic organisms such as fish, molluscs, crustaceans, plants, crocodiles, alligators and amphibians. Farming implies some form of intervention in the rearing process to enhance production, such as regular stocking, feeding, protection from predators, etc.

[LU9 Other area not elsewhere classified](#)

Other area not elsewhere classified includes all other areas on the holding that are not elsewhere classified. It includes uncultivated land producing some kind of utilizable vegetable product, such as reeds or rushes for matting and bedding for livestock, wild berries, or plants and fruit. It also includes land which could be brought into crop production with a little more effort than that required for common cultivation practices. Also included under this category: land occupied by non-farm buildings; parks and ornamental gardens; roads or lanes (except forest roads, which are included in forest, see paragraph 8.2.28); open spaces needed for storing equipment and products; wasteland; land under water not used for aquaculture; and any other area not reported under previous classes (such as marshlands, wetlands, etc.).

Agrégation des classes d'utilisation des sols :

Arable land is land that is used in most years for growing temporary crops. It includes land used for growing temporary crops during a twelve-month reference period, as well as land that would normally be so used but is lying fallow or has not been sown due to unforeseen circumstances. Arable land does not include land under permanent crops or land that is potentially cultivable but is not normally cultivated. Such land should be classified as “permanent meadows and pastures” if used for grazing or haying, “forest and other wooded land” if overgrown with trees and not used for grazing or haying, or “other area not elsewhere classified” if it becomes wasteland.

Cropland is the total of arable land and land under permanent crops.

Agricultural land is the total of cropland and permanent meadows and pastures.

Land used for agriculture is the total of “agricultural land” and “land under farm buildings and farmyards”.

3) IPCC, 2006

Chapitre 3 :

« The six broad land-use categories described below form the basis of estimating and reporting greenhouse gas emissions and removals from land use and land-use conversions. The land uses may be considered as top-level categories for representing all land-use areas, with sub-categories describing special circumstances significant to emissions estimation, and where data are available. The categories are broad enough to classify all land areas in most countries and to accommodate differences in national land-use classification systems, and may be readily stratified (e.g., by climate or ecological zones). The categories (and sub-categories) are intended to be identified through use of Approaches for representing land-use area data described in subsequent sections.

The definitions of land-use categories may incorporate land cover type, land use based, or a combination of the two. Care needs to be taken in inferring land use from the land cover characteristics and vice versa. For example, in some countries, significant areas of the Forest Land category may be grazed, and firewood may be collected from scattered trees in the Grassland category. These areas with different use may be significant enough for countries to consider them separately as additional sub-categories. Countries should ensure that land is not accounted for in more than one category or sub-category, in order to avoid double-counting of land areas. For convenience, the categories are referred to as land-use categories. These particular categories have been selected because they are:

- robust as a basis for emissions and removals estimation;
- implementable; and
- complete, in that all land areas in a country may be classified by these categories without duplication.

Countries will use their own definitions of these categories, which may or may not refer to internationally accepted definitions, such as those by FAO, Ramsar1, etc. Only broad and non-prescriptive definitions are provided for the land-use categories and of managed and unmanaged lands. Countries should describe and apply definitions consistently for the national land area over time.

Countries should describe the methods and definitions used to determine areas of managed and unmanaged lands. Managed land is land where human interventions and practices have been applied to perform production, ecological or social functions. All land definitions and classifications should be specified at the national level, described in a transparent manner, and be applied consistently over time. Emissions/removals of greenhouse gases do not need to be reported for unmanaged land. However, it is good practice for countries to quantify, and track over time, the area of unmanaged land so that consistency in area accounting is maintained as land-use change occurs.

As the resolution of the national land use, mapping may be more coarse than the definitions used to describe the land-use categories (e.g., if the forest definition applied by a country includes a minimum area, of say one hectare for example, yet the available land-use mapping minimum unit size is five hectares) it is possible that there will be small (unidentified) areas of one land-use category reported under another. These small areas may be reported under the mapped land use when they remain in the same category. If they are converted to another land-use category (e.g., a small area of Forest Land converted to another use is identified within an area previously mapped as Cropland) and this is identified (e.g., by a permit application for the activity) then they should be reported under the appropriate land-use conversion (i.e., Forest Land converted to another specified land use) and subtracted from the original (previously misclassified) land-use (remaining) area. »

(i) Forest Land

This category includes all land with woody vegetation consistent with thresholds used to define Forest Land in the national greenhouse gas inventory. It also includes systems with a vegetation

structure that currently fall below, but in situ could potentially reach the threshold values used by a country to define the Forest Land category.

(ii) Cropland

This category includes cropped land, including rice fields, and agro-forestry systems where the vegetation structure falls below the thresholds used for the Forest Land category.

(iii) Grassland

This category includes rangelands and pasture land that are not considered Cropland. It also includes systems with woody vegetation and other non-grass vegetation such as herbs and brushes that fall below the threshold values used in the Forest Land category. The category also includes all grassland from wild lands to recreational areas as well as agricultural and silvi-pastural systems, consistent with national definitions.

(iv) Wetlands

This category includes areas of peat extraction and land that is covered or saturated by water for all or part of the year (e.g., peatlands) and that does not fall into the Forest Land, Cropland, Grassland or Settlements categories. It includes reservoirs as a managed sub-division and natural rivers and lakes as unmanaged sub-divisions.

(v) Settlements

This category includes all developed land, including transportation infrastructure and human settlements of any size, unless they are already included under other categories. This should be consistent with national definitions.

(vi) Other Land

This category includes bare soil, rock, ice, and all land areas that do not fall into any of the other five categories. It allows the total of identified land areas to match the national area, where data are available. If data are available, countries are encouraged to classify unmanaged lands by the above land-use categories (e.g., into Unmanaged Forest Land, Unmanaged Grassland, and Unmanaged Wetlands). This will improve transparency and enhance the ability to track land-use conversions from specific types of unmanaged lands into the categories above.

4) Correspondances entre les systèmes FAO, WCA, SEEA, et IPCC pour la classification de l'utilisation des sols

Fichier excel complet : <https://collaboratif.cirad.fr/share/page/site/ANRDATA4C/document-details?nodeRef=workspace://SpacesStore/ee631bc4-29b9-4220-acd9-40712d692824>

Definitions of categories in this questionnaire and their FAO coding system are provided below, together with their correspondence to SEEA, WCA and IPCC classifications					
CATEGORY	DEFINITION	FAO	SEEA	WCA	IPCC
LAND USE					
COUNTRY AREA					
Country area	Area under national sovereignty. It is the sum of land area, inland waters and coastal waters. It excludes the exclusive economic zone.	6600			
LAND					
Land area	Country area excluding area under inland waters and coastal waters.	6601	1		
Agriculture	The total of areas under "Land under temporary crops", "Land under temporary meadows and pastures", "Land with temporary fallow", "Land under permanent crops", "Land under permanent meadows and pastures", and "Land under protective cover". This category includes tilled and fallow land, and naturally grown permanent meadows and pastures used for grazing, animal feeding or agricultural purpose. Scattered land under farm buildings, yards and their annexes, and permanently uncultivated land, such as uncultivated patches, banks, footpaths, ditches, headlands and shoulders are traditionally included.	6602	1.1 (1.1.1 - 1.1.6)	LU 1 - 6	Cropland Grassland
Agricultural land	Land used for cultivation of crops and animal husbandry. The total of areas under "Cropland" and "Permanent meadows and pastures."	6610	1.1.1 - 1.1.5	LU 1 - 5	Cropland Grassland
Cropland	Land used for cultivation of crops. The total of areas under "Arable land" and "Permanent crops".	6620	1.1.1 - 1.1.4	LU 1 - 4	Cropland
Arable land	The total of areas under temporary crops, temporary meadows and pastures, and land with temporary fallow. Arable land does not include land that is potentially cultivable but is not normally cultivated.	6621	1.1.1 - 1.1.3	LU 1 - 3	Cropland
Land under temporary crops	Land used for crops with a less-than-one-year growing cycle, which must be newly sown or planted for further production after the harvest. Some crops that remain in the field for more than one year may also be considered as temporary crops e.g., asparagus, strawberries, pineapples, bananas and sugar cane. Multiple-cropped areas are counted only once.	6630	1.1.1	LU 1	Cropland
Land under temporary meadows and pastures	Land temporarily cultivated with herbaceous forage crops for mowing or pasture. A period of less than five years is used to differentiate between temporary and permanent meadows and pastures.	6633	1.1.2	LU 2	Cropland

Land with temporary fallow	Land that is not seeded for one or more growing seasons. The maximum idle period is usually less than five years. This land may be in the form sown for the exclusive production of green manure. Land remaining fallow for too long may acquire characteristics requiring it to be reclassified, as for instance "Permanent meadows and pastures" if used for grazing or haying.	6640	1.1.3	LU 3	Cropland
Land under permanent crops	Land cultivated with long-term crops which do not have to be replanted for several years (such as cocoa and coffee), land under trees and shrubs producing flowers (such as roses and jasmine), and nurseries (except those for forest trees, which should be classified under "Forestry"). Permanent meadows and pastures are excluded from land under permanent crops.	6650	1.1.4	LU 4	Cropland
Land under permanent meadows and pastures	Land used permanently (five years or more) to grow herbaceous forage crops through cultivation or naturally (wild prairie or grazing land). Permanent meadows and pastures on which trees and shrubs are grown should be recorded under this heading only if the growing of forage crops is the most important use of the area. Measures may be taken to keep or increase productivity of the land (i.e., use of fertilizers, mowing or systematic grazing by domestic animals.) This class includes: <ul style="list-style-type: none"> • Grazing in wooded areas (agroforestry areas, for example) • Grazing in shrubby zones (heath, maquis, garigue) • Grassland in the plain or low mountain areas used for grazing: land crossed during transhumance where the animals spend a part of the year (approximately 100 days) without returning to the holding in the evening: mountain and subalpine meadows and similar; and steppes and dry meadows used for pasture. 	6655	1.1.5	LU 5	Grassland
Permanent meadows and pastures - Cultivated	Land under "Permanent meadows and pastures" that is managed and cultivated.	6656	1.1.5.1	LU 5	Grassland
Permanent meadows and pastures - Naturally growing	Land under "Permanent meadows and pastures" that is naturally growing.	6659	1.1.5.2	LU 5	Grassland
Land under protective cover	Land used for agriculture occupied by dwellings on farms, etc.: dwellings, operating buildings (hangars, barns, cellars, greenhouses, silos), buildings for animal production (stables, cowsheds, pig sheds, sheep pens, poultry yards), family gardens, farmyards. Excludes buildings for agro-food manufacture and buildings in rural areas for exclusive residential purpose.	6775	1.1.6	LU 6	Cropland Settlements
Forestry	Land used for forestry. Excludes land that is predominantly under agricultural or urban use.	6663	1,2	LU 7	Forest Land

Forest land	<p>Land spanning more than 0.5 hectares with trees higher than 5 metres and a canopy cover of more than 10 per cent, or trees able to reach these thresholds in situ.</p> <p>Excludes land that is predominantly under agricultural or urban land use, and land that is predominantly used for maintenance and restoration of environmental function.</p> <p>Explanatory notes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forest land is determined both by the presence of trees and by the absence of other predominant land uses. The trees should be able to reach a minimum height of 5 metres in situ • Includes areas with young trees that have not yet reached but that are expected to reach a canopy cover of 10 per cent and tree height of 5 metres. It also includes areas that are temporarily unstocked owing to clear-cutting as part of a forest management practice or natural disasters, and that are expected to be regenerated within five years. Local conditions may, in exceptional cases, justify the use of a longer time frame • Includes forest roads, firebreaks and other small open areas • May include forest land in national parks, nature reserves and other protected areas, such as those of specific environmental, scientific, historical, cultural or spiritual interest • Includes windbreaks, shelter belts and corridors of trees with an area of more than 0.5 hectares and width of more than 20 metres • Includes abandoned shifting cultivation land with a regeneration of trees that have, or is expected to reach, a canopy cover of 10 per cent and tree height of 5 metres • Includes areas with mangroves in tidal zones, regardless of whether this area is classified as land area or not • Includes areas with bamboo and palms provided that land use, height and canopy cover criteria are met • Some agroforestry systems such as the taungya system, where crops are grown only during the first years of the forest rotation should be classified as forest • Excludes: tree stands in agricultural production systems, such as fruit-tree plantations (→Permanent crops), oil palm plantations, rubber and Christmas trees (→Permanent crops) and agroforestry systems when crops are grown under tree cover 	6661	1.2.1	LU 7	Forest Land
Other wooded land	<p>Land not classified as "Forest land", spanning more than 0.5 hectares; with trees higher than 5 metres and a canopy cover of 5-10 per cent, or trees able to reach these thresholds in situ; or with a combined cover of shrubs, bushes and trees above 10 per cent. The definition above encompasses two options:(a) The canopy cover of trees is between 5 and 10 per cent; and trees should be higher than 5 metres or able to reach 5 metres in situ, or(b) The canopy cover of trees is less than 5 per cent but the combined cover of shrubs, bushes and trees is more than 10 per cent. Includes areas of shrubs and bushes where no trees are present. Includes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Areas with trees that will not reach a height of 5 metres in situ and with a canopy cover of 10 per cent or more, e.g., some alpine tree vegetation types, arid zone mangroves. • Areas with bamboo and palms provided that land use, height and canopy-cover criteria are met. • Excludes land that is predominantly under agricultural or urban land use, and land that is predominantly used for maintenance and restoration of environmental function. 	6662	1.2.2	LU 7	Grassland Other Land
Other land	<p>Land area not classified as "Agriculture and" "Forestry". It includes SEEA categories "Land used for aquaculture," "Built-up and related areas, "Land Use for maintenance and restoration of environmental functions," "Other uses of land not elsewhere classified," and "Land not in use."</p>	6670	1.3 - 1.7	LU 8 LU 9	Settlements Wetlands Other Land

Annexe 3

Détail de la classification et définition des pratiques de gestion

Table des matières

Cultures annuelles et pérennes.....	110
Gestion des plantes	110
Gestion des résidus végétaux.....	112
Variables quantitatives permettant d'estimer les apports de carbone au sol.....	113
Gestion du travail du sol.....	115
Gestion des fertilisants et amendements	117
Gestion de l'érosion (à l'échelle de la parcelle)	122
Gestion de l'eau.....	123
Modes de défriche.....	125
Pratiques de gestion intégrées : combinaisons de différentes pratiques de gestion	125
Prairies.....	128
Gestion des plantes	128
Gestion des flux de biomasse et du pâturage	128
Variables quantitatives permettant d'estimer les apports de carbone au sol.....	129
Gestion des feux.....	131
Gestion des fertilisants et amendements	133
Modes de défriche.....	138
Forêts et plantations	140
Gestion des plantes (conduite de peuplement, rotations, espèces)	140
Gestion des flux de biomasse	142
Variables quantitatives liées aux flux de carbone des plantes dans les forêts	143
Gestion des fertilisants et amendements	144
Gestion de la faune.....	149
Gestion du travail du sol.....	149
Gestion des feux.....	150
Modes de défriche.....	152
Pratiques de gestion intégrées dans les forêts et plantations	152

Cultures annuelles et pérennes

Gestion des plantes

Rotation des cultures

WCA 2020, FAO 2016 : « La rotation des cultures est la culture en alternance d'espèces ou familles de plantes agricoles dans un champ spécifique selon un mode ou une séquence planifiée de manière à entraver les mauvaises herbes, les ravageurs et les cycles des maladies et à maintenir ou améliorer la fertilité du sol et sa teneur en matière organique. »

Crop rotation (WCA, FAO 2020): Crop rotation is the growing of alternating species or families of crops in a specific field in a planned pattern or sequence so as to break weed, pest and disease cycles and to maintain or improve soil fertility and organic matter content.

Monoculture

Culture d'une unique plante sur une parcelle sur une durée supérieure à 10 ans (traduction KF du glossaire Landmark :

<http://landmark2020.eu/glossary/monoculture/>)

Cultures intermédiaires

« Les cultures intermédiaires (CI) sont des cultures présentes entre deux cultures principales et dont toute la biomasse est restituée au sol (Cultures Intermédiaires Pièges A Nitrate ou CIPAN, CI courts ou longs). »

« Cultures d'engrais vert/de couverture (CEVC) sont des plantes cultivées dans le but de fournir une couverture du sol et d'améliorer les caractéristiques biologiques, physiques et chimiques du sol. Les CEVC peuvent être semées indépendamment ou en association avec les cultures (FAO 2011). » (FAO, 2016)

Insertion de prairies temporaires dans les successions de grandes cultures (ley)

Temporary pastureland/grassland that is integrated in a crop rotation (Allen et al., 2011)

Jachère (Fallow)

Land temporarily fallow refers to arable land at prolonged rest before re-cultivation. This may be part of the holding's crop rotation system or because the normal crop cannot be planted because of flood damage, lack of water, unavailability of inputs or other reasons.

Land is not considered temporarily fallow unless it has been, or is expected to be, kept at rest for at least one agricultural year. If the census is conducted before sowing or planting has been completed, the area lying fallow at that time that will be put under crops soon afterwards should be classified as land under temporary crops, not as fallow land. Fallow land temporarily used for grazing should be classified as fallow if the land is normally used for growing temporary crops. (FAO, 2017)

Couvert végétal permanent (permanent soil cover)

« Couvert végétal présent sur la parcelle au moins pendant toute la durée de croissance d'une culture de vente, l'interculture suivante et le début du cycle d'une deuxième culture commerciale. » (Sablé, 2015)

Ou

Maintenance of continuous soil cover; alternating crops and cover crops as a practice to improve soil quality and reduce diffuse agricultural water pollution.

Source WOCAT :

https://qcat.wocat.net/en/wocat/technologies/view/technologies_1217/

Cultures associées (intercropping)

Intercropping is the growing of two or more crop species simultaneously in the same field during a growing season (Ofori and Stern, 1987)

Plant breeding

Plant breeding could be considered to be changing the genetic make-up of plants for the benefit of humankind. More specifically, it is developing new varieties through the creation of new genetic diversity, by reassembling existing genetic diversity all with the aid of special techniques and technologies. (Bruins, 2009)

Agroforesterie

Définition générique, (FAO, 2016):

« L'agroforesterie est un système de gestion agricole durable consistant à cultiver à dessein des espèces forestières d'arbres et d'autres végétaux ligneux sur des terres utilisées pour l'agriculture ou l'élevage, simultanément ou en alternance. L'agroforesterie se caractérise par l'existence d'interactions écologiques et économiques entre les différentes composantes. L'agroforesterie inclut les systèmes agro-sylvicoles (arbres et cultures), sylvo-pastoraux (arbres et bétail) et agro-sylvo-pastoraux (arbres, cultures et bétail).

L'agroforesterie désigne certaines pratiques sylvicoles qui complètent les activités agricoles, notamment en améliorant la fertilité des sols, en réduisant l'érosion, en améliorant la gestion des bassins versants ou en fournissant de l'ombre ou de la nourriture pour le bétail. Les pays doivent concevoir eux-mêmes les procédures qu'ils adopteront pour collecter les données sur les systèmes agroforestiers. Certains souhaiteront peut-être recueillir des données sur des activités agroforestières spécifiques. La période de référence pour ce type de données est l'année de référence du recensement. »

« Agroforestry is a sustainable land management system in which forest species of trees and other wooded plants are purposely grown on the same land as agricultural crops or livestock, either concurrently or in rotation. Agroforestry is characterized by the existence of both ecological and economic interactions between the different components. Agroforestry includes agrosilvicultural (trees and crops), silvopastoral (trees and livestock), and agrosilvipastoral (trees, crops and livestock) systems.

Agroforestry refers to specific forestry practices that complement agricultural activities, such as by improving soil fertility, reducing soil erosion, improving watershed management, or

providing shade and food for livestock. Countries need to develop their own procedures to collect data on agroforestry systems. Some may wish to collect data on specific agroforestry activities. The reference period for agroforestry data is the census reference year." (FAO, 2017)

Classification des systèmes agroforestiers incluant des cultures annuelles ou pérennes :

(Cardinael et al., 2018b), adapté de (Nair et al., 2009) :

Alley cropping

Fast-growing, usually leguminous, woody species (mainly shrubs) grown in crop fields, usually at high densities. The woody species are regularly pruned and the prunings are applied as mulch into the alleys as a source of organic matter and nutrients. Usually found in tropical regions. Sometimes referred as 'intercropping systems'.

Hedgerows

They consist of linear plantation around the fields. They include also shelterbelts, windbreaks and live fences.

Multistrata systems

Multistorey combinations of a large number of various trees at high density, and perennial and annual

Parklands

Intercropping of agricultural crops or grazing land under low density mature scattered trees.
Typical of dry areas like Sahel (e.g. Faidherbia albida).

Shaded perenniel-crop systems

Growing shade-tolerant species such as cacao and coffee under, or in between, overstorey shade trees that can be used for timber or other commercial tree products

Silvo-arable systems

Woody species planted in parallel tree rows to allow mechanization and intercropped with an annual crop; usually used for timber (e.g. Juglans spp), but also for fuel (e.g. Populus spp). Usually low tree density per hectare. Usually found in temperate regions, but not exclusively.

Enherbement inter-rang dans les cultures pérennes

A cover crop is any plant species usually grown in a mixture between vine rows (alleys). (McGourty and Reganold, 2005)

Gestion des résidus végétaux

Gestion des résidus de culture

Définition issues du dictionnaire de données Donesol pour les enquêtes (Boulonne, 2011)

Remarque : Les résidus de culture laissés au sol ou broyés sont équivalent à la pratique du mulching, définies comme tel :

« Mulching involves spreading waste crop after harvesting. Covering the soil with mulch protects it against wind and water erosion and provides nutrients which has a positive effect on yields and food security. »

Source WOCAT :

https://qcat.wocat.net/en/wocat/technologies/view/technologies_1222/

Résidus de culture laissés au sol

Résidus de récolte laissés sur place, sans traitement particulier

Résidus de culture broyés

Résidus de récolte broyés et laissés en couverture de surface

Résidus de culture enfouis

Résidus de récolte enfouis ou incorporés dans le sol (généralement broyés avant incorporation)

Résidus de culture brûlés

Résidus de récolte brûlés, ni laissés sur place, ni enfouis

Résidus de culture exportés

Résidus de récolte exportés, cela concerne notamment les pailles des céréales, produits secondaires récoltés.

Gestion des recrus forestiers (Courte et al., 2020)

Recrus forestiers broyés

Recrus forestiers brûlés

Variables quantitatives permettant d'estimer les apports de carbone au sol

La gestion des plantes cultivées influence la production primaire nette de carbone, dont une partie retourne au sol via les résidus de culture, les racines et la rhizodéposition. Ces apports de carbone au sol déterminent en grande partie la dynamique des stocks de carbone (Chenu et al., 2019; Fujisaki et al., 2018b; Virto et al., 2012). L'effet des pratiques de gestion en lien avec la gestion des plantes et des résidus retournant au sol devrait idéalement être évaluée par le flux annuel de carbone apporté par les plantes au sol. Le flux net de carbone produit par les plantes correspond à la productivité primaire nette (NPP), qui correspond au carbone fixé par la photosynthèse (productivité primaire brute, gross primary production (GPP)) moins la respiration des plantes. Le carbone produit par les racines (biomasse racinaire et rhizodéposition) est cependant difficile à mesurer, c'est pourquoi on ne dispose rarement dans la littérature de la mesure de la NPP. Le flux annuel de carbone arrivant au sol est la NPP auquel on soustrait le carbone exporté sous forme de récolte ou de résidus de culture.

Les variables classiquement mesurées dans les études évaluant l'effet de la gestion des plantes sur la dynamique des stocks de carbone du sol sont le rendement, la production de biomasse aérienne, et la production de biomasse aérienne exportée sous forme de résidus de culture, qui sont exprimés en

tonne de matière sèche par ha. Il est possible d'estimer la NPP et le flux de carbone arrivant au sol à partir de ces variables, à l'aide de ratios fixant les proportions de carbone produit par les organes aériens et souterrains des plantes, et de la teneur en carbone des plantes (Bolinder et al., 2007). Nous listons ci-dessous les variables correspondantes ainsi que leur mode de calcul, permettant d'aboutir à une estimation de la NPP et du flux de carbone arrivant au sol.

Rendement

Parties aériennes ou souterraines de la plante récoltées, ayant une valeur économique et ne retournant pas au sol. Exprimé en t ha⁻¹ an⁻¹ de matière sèche.

Indice de récolte (Harvest Index)

Indice de récolte (sans unité) = Rendement / (Rendement + Biomasse aérienne non récoltée)
L'indice de récolte dépend du type de plante cultivée et du cultivar.

Shoot/root ratio (S :R)

Ratio entre la biomasse aérienne et la biomasse souterraine produite en un an (sans unité). Des valeurs de ce ratio sont disponibles dans la littérature (e.g. Bolinder et al. (2007)).

Production de biomasse aérienne non récoltée

Pailles, cannes, et autres résidus de culture aériens, pouvant être exportés de la parcelle ou restitués au sol. Exprimé en t ha⁻¹ an⁻¹ de matière sèche.

Biomasse aérienne non récoltée = Rendement × (1 – Indice de récolte) / Indice de récolte

Taux de restitution au sol de la biomasse aérienne non récoltée (R)

R exprime la part de la biomasse aérienne non récoltée qui est restituée au sol sous forme de résidus de culture.

Compris entre 0 et 1, sans unité.

Production de biomasse racinaire

Flux de biomasse produit dans les tissus racinaires récupérables physiquement. Exprimé en t ha⁻¹ an⁻¹ de matière sèche.

Production de biomasse racinaire = (Rendement + biomasse non récoltée) / (S :R)

Taux de rhizodéposition

Ratio entre le flux de carbone apporté par la rhizodéposition et le flux de carbone de la production racinaire nette.

Ce taux est estimé à 0.65 par Bolinder et al. (2007) pour les céréales, le maïs et le soja, et 0.45 ± 0.15 par (Balesdent et al., 2011) pour des céréales et graminées.

Teneur en carbone des parties récoltées

Exprimé en g kg⁻¹. Mesuré en laboratoire ou estimé à partir de valeurs de la littérature (e.g. 450 g kg⁻¹ pour les céréales dans Bolinder et al., 2007)

Teneur en carbone des résidus de culture

Exprimé en g kg⁻¹. Mesuré en laboratoire ou estimé à partir de valeurs de la littérature (e.g. 450 g kg⁻¹ pour les céréales dans Bolinder et al., 2007)

Teneur en carbone des racines

Exprimé en g kg⁻¹. Mesuré en laboratoire ou estimé à partir de valeurs de la littérature (e.g. 450 g kg⁻¹ pour les céréales dans Bolinder et al., 2007)

A partir de ces variables, les flux de carbone peuvent être calculés à partir des flux de matière sèche arrivant au sol, en les multipliant par la teneur en carbone des parties végétales.

Flux de carbone exporté par la récolte

$$C_r (\text{t C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}) = \text{Rendement} \times \text{Teneur en carbone des parties récoltées} / 1000$$

Flux de carbone restitué par les résidus de culture

$$C_{res} (\text{t C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}) = \text{Biomasse aérienne non récoltée} \times R \times \text{Teneur en carbone des résidus de culture} / 1000$$

Flux de carbone apporté par les racines

$$C_{rac} (\text{t C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}) = \text{Production de biomasse racinaire} \times \text{Teneur en carbone des racines} / 1000$$

Flux de carbone apporté par la rhizodéposition

$$C_{rhiz} = C_{rac} \times \text{Taux de rhizodéposition}$$

Productivité primaire nette (Net Primary Productivity – NPP)

$$\text{NPP (exprimé en t C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}) = \text{GPP} - \text{respiration autotrophe}$$

$$\text{NPP (exprimé en t C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}) = C_r + C_{rac} + C_{rhiz} + C_{res} + (\text{Biomasse aérienne non récoltée} \times (1-R) \times \text{Teneur en carbone des résidus de culture})$$

Flux entrant annuel total de carbone provenant des plantes

$$C_{tot} (\text{exprimé en t C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}) = C_{res} + C_{rac} + C_{rhiz}$$

Gestion du travail du sol

Travail du sol conventionnel

- Glossaire Landmark (traduction KF) : travail du sol perturbant l'ensemble de la surface du sol, généralement réalisé avant le semis. Implique généralement un labour ou le passage d'un cultivateur à dents jusqu'à une profondeur de 20-30 cm, suivi d'une seconde opération effectuée au rotavator ou à la herse pour pulvériser les mottes et aplani la surface du sol. (<http://landmark2020.eu/glossary/conventional-tillage/>)
- WCA 2020, FAO 2016 : « Le travail du sol conventionnel implique l'inversion (retournement) du sol sur toute la superficie avec des opérations de travail du sol, incluant le labour par inversion utilisant les outils ou le matériel de labour, comme un soc ou une charrue à disque ou le matériel de labour motorisé, comme un motoculteur. Dans d'autres cas, les charrues traditionnelles, en bois ou en fer, tirées par la traction animale peuvent être utilisées. »
- WCA 2020 (FAO, 2016): **Conventional tillage** involves inversion (turning over) of the soil over the whole area with tillage operations including inversion tillage/ploughing using tillage tools or equipment, such as a mouldboard or disc plough or powered tillage equipment, such as a rotovator. In other cases, traditional ploughs, of either wood or iron, drawn by animal power may be used.

Travail du sol de conservation

WCA 2020, FAO 2016 : « Le travail du sol de conservation implique une ou des pratiques qui laissent des résidus de plantes (au moins 30-35%) sur la surface du sol pour en contrôler l'érosion et en conserver l'humidité. Le sol ne doit normalement pas être retourné, mais seulement déchiré. »

Le travail du sol de conservation peut inclure les systèmes suivants et la définition de la rubrique doit se référer à celles présentes dans le pays :

Le travail du sol réduit/minimum - Les terres arables sont préparées avec du matériel qui ne retourne pas le sol, qui provoque peu de compactage, mais qui laisse quelques lignes de déchirure. Pour cette raison, le sol reste normalement avec une bonne couverture de résidus à sa surface. Le travail simplifié du sol est généralement réalisé par l'utilisation de dents spéciales, comme un ripper.

Le travail du sol en bandes - Dans ce cas, des bandes de terres sont labourées pour recevoir les semences, tandis que le sol des bandes intermédiaires n'est pas perturbé et reste couvert de résidus tels que du paillis.

Le travail du sol en billons - C'est un système de crêtes (billons) et de sillons. Les billons peuvent être étroits ou larges et les sillons peuvent suivre les courbes de niveau ou être établis sur une légère pente selon l'objectif qui est de conserver l'humidité ou de drainer l'excès d'humidité. La surface est préparée en grattant le sommet d'un billon, avec les cultures plantées au sommet des billons formés par les cultures précédentes. Le sol est recouvert de résidus entre les rangées jusqu'à la plantation. Les billons peuvent être semi-permanents ou construits chaque année, ce qui régit la quantité de résidus qui reste à la surface.

Conservation (low) tillage involves tillage practice or practices that leave plant residues (at least 30-35 percent) on the soil surface for erosion control and moisture conservation. Soil should normally not be inverted but only ripped.

Conservation tillage can include the following systems and the item definition should refer to those which are present in the country:

Reduced tillage / minimum tillage – The arable land is prepared with equipment which does not invert the soil and which causes little compaction but which leaves some ripping lines. For this reason, the soil normally remains with a good cover of residues on the surface. Reduced tillage is usually carried out with specialized tined implement, such as a ripper.

Strip tillage – In this case strips are tilled to receive the seed, while the soil along the intervening bands is not disturbed and remains covered with residues such as mulch.

Ridge tillage – This is a system of ridges and furrows. The ridges may be narrow or wide and the furrows can be parallel to the contour lines or constructed with a slight slope, depending on whether the objective is to conserve moisture or to drain excess moisture. The surface is prepared by scraping off the top of a ridge, with the crops planted into the tops of the ridges formed during cultivation of the previous crop. The soil is covered with residue between the rows until planting. The ridges can be semi-permanent or be constructed each year, which will govern the amount of residue material that remains on the surface.

Aucun travail du sol ou absence de labour

Indique qu'aucun travail du sol sur les terres arables n'a été effectué. Dans ce cas, cela indique qu'après l'opération de semis, pas plus de 25% de la surface du sol ne doit être dérangée. Les sols sont toujours couverts, y compris durant la période entre la récolte et l'ensemencement. Le chaume est maintenu et la surface du sol est couverte de paillis de résidus ou de chaumes pour contrôler l'érosion.

Zero tillage or no tillage does not involve any tillage operations on arable land. After the seeding operation, not more than 25 percent of the soil surface is allowed to be disturbed. The soils are always covered, including for the period between harvest and sowing. The stubble is retained and the soil surface is covered by residue mulch or stubble for erosion control.

Source WCA 2020, FAO 2016

Variables quantitatives

Profondeur du travail du sol

Exprimé en cm

Fréquence du travail du sol

« tous les n années » : pour un travail annuel, fréquence = 1. Pour un travail réalisé deux fois par an, fréquence = 0.5

Gestion des fertilisants et amendements

Fertilisation minérale

Définition :

« Fertilisers manufactured by a chemical/industrial process or mined as opposed to organic material that contains carbon. They are also called chemical fertilisers, artificial fertilisers or inorganic fertiliser » [Eurostat](#)

La nature des fertilisants minéraux diffère selon leur composition. Dans la littérature, la caractérisation des apports de fertilisants minéraux peut être renseignée par le flux entrant annuel d'azote total, ainsi que le rapport N :P :K du fertilisant apporté, ce qui permet d'en déduire les flux entrant de phosphore et de potassium.

Variables quantitatives associées à la fertilisation minérale

Flux entrant annuel d'azote total

Exprimé en kg N ha⁻¹ an⁻¹

Flux entrant annuel de phosphore

Exprimé en kg P ha⁻¹ an⁻¹

Flux entrant annuel de potassium

Exprimé en kg K ha⁻¹ an⁻¹

Rapport N :P :K

Rapport entre les teneurs en N, P, et K du fertilisant minéral

Fertilisation organique

Définition :

« Fertilisers derived from organic origin such as animal products (e.g. livestock manure, dried blood, hoof and bone meal), plant residues or human origin (e.g. sewage sludge). Organic fertilisers contain carbon (C) and nutrients of solely biological origin and exclude material which is fossilized or embedded in geological formations. » [Eurostat](#)

PRO (Produits résiduaires d'origine organique) ou EOM (Exogenous organic matter)

Définitions :

Produit résiduaire organique (PRO) : « Toutes les matières résiduaires organiques pouvant être épandues en agriculture à l'état brut ou traitées » [Lexique ValOr PRO](#)

Exogenous organic matter (EOM) : « Exogenous organic matter (EOM) is all organic material of biological origin applied to the soil in order to fertilize, amend or restore it and improve the environment » (Marmo et al., 2004)

Remarque : Il apparaît une légère différence de concept entre les termes PRO et EOM : les PRO désigne des matières organiques résiduaires, tandis que les EOM désignent des matières organiques produites en dehors de la parcelle, et incluent donc des matières organiques non résiduaires comme les engrains biologiques. Nous décrivons ici l'ensemble des matières organiques exogènes, classées selon leur origine.

Origine agricole

Fumier solide

Engrais composé de déjections solides d'animaux domestiques avec ou sans litière utilisée pour leur couchage, incluant éventuellement une petite quantité d'urine. (FAO, 2016)

Solid/farmyard manure is a mixture of solid excreta of domestic animals with or without litter used for their bedding, possibly including a small amount of urine. (FAO, 2017)

Fumier liquide

Le fumier liquide est composé de l'urine d'animaux domestiques, incluant éventuellement une petite quantité d'excréments et/ou d'eau. (FAO, 2016)

Liquid manure is urine from domestic animals, possibly including a small amount of excrement and/or water. (FAO, 2017)

Lisier

Le lisier est un mélange de déjections liquides et solides d'animaux domestiques, additionné éventuellement d'eau et/ou d'une petite quantité de litière. (FAO, 2016)

Slurry is manure in liquid form, a mixture of liquid and solid animal excreta, with or without dilution with water and/or small amount of litter. (FAO, 2017)

Compost

« Le compost est un mélange de substrats organiques en décomposition, comme des feuilles et du fumier, utilisé pour améliorer la structure du sol et fournir des éléments nutritifs. Alternativement, il se réfère à des substrats organiques soumis à une décomposition biologique et une stabilisation, convertis en un produit final stable, libre d'agents pathogènes et de graines de plantes, et qui peuvent être appliqués sur les terres de façon avantageuse (Haug, 1993). »

« Compost is a mixture of decaying organic substrates, such as from leaves and manure, used to improve soil structure and provide nutrients. Alternatively, it refers to organic substrates subjected to biological decomposition and stabilization and converted into a final product that is

stable, free of pathogens and plant seeds, and can be beneficially applied to land (Haug, 1993). »
(FAO, 2017)

Digestat

Liquid or solid residues produced by fermentation of biomass (anaerobic digestion) in a biogas plant (glossaire Landmark
<http://landmark2020.eu/glossary/digestate/>)

Résidus solide ou liquide produit par fermentation de la biomasse (digestion anaérobique) dans une usine de biogaz (traduction KF)

Origine urbaine ou industrielle

Boues de station

Boues de station d'épuration d'eaux résiduaires d'origine urbaine ou industrielle, sous forme non précisée. (Boulonne, 2011)

Boues de station compostées

Boues de station d'épuration d'eaux résiduaires d'origine urbaine ou industrielle, ayant été compostées (Boulonne, 2011)

Boues de station chaulées

Boues de station d'épuration d'eaux résiduaires d'origine urbaine ou industrielle, ayant été chaulées (Boulonne, 2011)

Composts urbains

Déchets organiques d'origine urbaine ou industriels ayant subi un processus de compostage (Boulonne, 2011)

Déchets ménagers

Déchets provenant de la collecte des ordures ménagères (Boulonne, 2011)

Boues industrielles

Boues issues de stations de traitement, collectant de façon séparée (hors stations d'épuration urbaine) les eaux résiduaires produites par des industries. (Boulonne, 2011)

Origine non précisée

Engrais organiques

Les engrains organiques sont issus de matières végétales ou animales transformées et/ou de matières minérales non transformées (chaux, roche ou phosphate, par exemple) contenant au moins 5% d'éléments nutritifs végétaux combinés. Les engrains organiques comprennent des matières organiques d'origine animale, telles que guano, farine d'os, farine de poisson, farine de cuir et sang. (FAO, 2016)

Engrais biologiques

Les engrais biologiques, ou bio engrais, sont des produits qui contiennent des micro-organismes vivants ou dormants tels que bactéries et champignons, qui servent d'éléments nutritifs pour renforcer la croissance des végétaux. Les bio engrais ou inoculants microbiens peuvent être généralement définis comme des préparations contenant des cases vivantes ou latentes de souches efficaces de fixation d'azote, de solubilisation du phosphate ou de micro-organismes cellulolytiques (FAO, 2008).

Apports de matières organiques liées aux parcages

Remarque : les parcages de bétail sont souvent pratiqués au Sahel (Harris, 2002).

Parcage de nuit au piquet

« Ce système souvent décrit sous le nom de « parcage » consiste à immobiliser les animaux pour la nuit sur les parcelles après la récolte, ou en saison des pluies sur des jachères, en les attachant par les cornes à un piquet, ou parfois à un arbre ou à un tronc d'arbre. Les positions relatives des animaux dans le dispositif sont en général respectées lors des déplacements de celui-ci, l'ensemble du « parc » étant transféré d'une parcelle à l'autre ou sur la même parcelle, à un rythme variable (de quelques jours à une quinzaine de jours au maximum), de manière à répartir les déjections. » (Landais and Lhoste, 1993)

Parcage de nuit mobile

Les animaux sont parqués dans de petits enclos d'épineux sur leurs propres parcelles de culture, durant l'intersaison agricole, ou sur les zones défrichées et destinées à être cultivées. (Landais and Lhoste, 1993)

Variables quantitatives associées à la fertilisation organique

L'apport de carbone organique au sol par la fertilisation organique est un déterminant important de l'évolution des stocks de carbone du sol (Maillard and Angers, 2014). La variable quantitative associée aux apports de fertilisants organique idéalement renseignée est le flux entrant de carbone organique arrivant au sol, généralement exprimé en tonne de carbone par hectare et par an ($t \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$). Celui-ci est calculé à partir du flux annuel de matière brut, de la teneur en matière sèche du fertilisant, et de la teneur en carbone organique du fertilisant. En l'absence de mesure du taux de matière sèche et/ou du taux de carbone du fertilisant, il est possible d'utiliser des valeurs de la littérature pour estimer le flux entrant de carbone. Pour le contexte française métropolitain, des valeurs moyennes des caractéristiques des effluents d'élevage ont été compilées par le RMT Elevage et Environnement (Levasseur et al., n.d.).

Les variables listées ci-dessous avec leur unité d'expression peuvent donc être utilisées pour caractériser les apports de fertilisants organiques et estimer les flux annuels de carbone et de nutriment

Flux entrant annuel de matière brute

Exprimé en $t \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$

Teneur en matière sèche du fertilisant

Exprimé en g kg^{-1}

Teneur en carbone organique du fertilisant

Exprimé en g kg⁻¹

Teneur en azote total du fertilisant

Exprimé en g kg⁻¹

Teneur en phosphore du fertilisant

Exprimé en g kg⁻¹

Teneur en potassium du fertilisant

Exprimé en g kg⁻¹

Flux entrant annuel de matière sèche

Flux entrant annuel de matière sèche (t ha⁻¹ an⁻¹) = Flux entrant annuel de matière brute × teneur en matière sèche / 1000

Flux entrant annuel de carbone

Flux entrant annuel de carbone (t ha⁻¹ an⁻¹) = Flux entrant annuel de matière brute × teneur en matière sèche / 1000 × teneur en carbone organique / 1000

Flux entrant annuel d'azote total

Flux entrant annuel d'azote total (kg ha⁻¹ an⁻¹) = Flux entrant annuel de matière brute × teneur en matière sèche / 1000 × teneur en azote total

Flux entrant annuel de phosphore

Flux entrant annuel de phosphore (kg ha⁻¹ an⁻¹ de P) = Flux entrant annuel de matière brute × teneur en matière sèche / 1000 × teneur en P

Flux entrant annuel de potassium

Flux entrant annuel de potassium (kg ha⁻¹ an⁻¹ de K) = Flux entrant annuel de matière brute × teneur en matière sèche × teneur en K

Fertilisation organo-minérale

Définition des engrains organo-minéraux : « Les engrains organo-minéraux sont obtenus par mélange ou transformation de matières organiques et d'engrais minéraux pour renforcer leur teneur en éléments nutritifs et leur pouvoir fertilisant. Dans ce type d'engrais, les nutriments minéraux sont protégés par la liaison et l'absorption du composant organique, conduisant à une libération progressive des éléments nutritifs dans le sol et à une réduction des pertes d'éléments nutritifs. » (FAO, 2016)

La fertilisation organo-minérale peut également consister en des apports d'engrais minéraux combinés à des apports organiques, on se référera dans ce cas aux catégories et définitions présentées précédemment, ainsi qu'aux variables quantitatives associées.

Apport de biochar

Matériau riche en carbone, stable, produit en chauffant de la biomasse dans un environnement pauvre en oxygène. Le biochar se distingue du charbon par son

utilisation : le biochar est utilisé comme amendement pour les sols, avec un objectif d'améliorer les fonctions du sol et de réduire les émissions de gaz à effet de serre de la biomasse qui se serait décomposé rapidement si elle n'avait pas été transformée en biochar (IBI, 2018). (traduction de la définition présente dans le glossaire du rapport spécial de l'IPCC, 2019).

Relatively stable, carbon-rich material produced by heating biomass in an oxygen-limited environment. Biochar is distinguished from charcoal by its application: biochar is used as a soil amendment with the intention to improve soil functions and to reduce greenhouse gas (GHG) emissions from biomass that would otherwise decompose rapidly (IBI, 2018) (glossaire du rapport spécial de l'IPCC, 2019).

Variable quantitatives associées aux apports de Biochar

Flux entrant annuel de biochar

Exprimé en t ha⁻¹ de matière sèche

Teneur en carbone du biochar

Exprimé en g kg⁻¹

Flux entrant annuel de carbone

Flux entrant annuel de carbone = Flux entrant annuel de biochar × teneur en carbone du biochar / 1000

Amendements de minéraux (mineral amendments)

Apports de minéraux argileux ou allophanes au sol

Chaulage

Apport d'amendements calciques ou calco-magnésiens au sol

Variable quantitatives associées au chaulage

Flux entrant annuel de CaO

Exprimé en kg ha⁻¹ an⁻¹ de CaO

Flux entrant annuel de MgO

Exprimé en kg ha⁻¹ an⁻¹ de MgO

Gestion de l'érosion (à l'échelle de la parcelle)

Remarque : certaines pratiques de gestion, bien qu'ayant un rôle bénéfique dans la gestion de l'érosion (e.g. couverture permanente du sol, implantation de haies, réduction du travail du sol), n'apparaissent pas dans cette catégorie mais sont traitées et définies dans ce document.

Progressive bench terrace

Bench terraces are progressively expanded to form a fully developed terrace system in order to reduce runoff and soil erosion on medium- to high- angled loess slopes.

Source WOCAT :

https://qcat.wocat.net/fr/wocat/technologies/view/technologies_1522/

Rockwall Terracing

Rockwall terracing refers to the piling of stones or rocks along contour lines to reduce soil erosion in hilly areas.

Source WOCAT :
https://qcat.wocat.net/en/wocat/technologies/view/technologies_1700/

Zai

Zai involves digging pits at 20-40 cm diameter and 10-15 cm depth to accumulate water before subsequent planting with or without the application of organic resources such as compost, plant residues and animal manure (Partey et al., 2018).

Semi-circular bunds (= Half moon, demie lune)

Semi-circular bunds are used to rehabilitate degraded, denuded and hardened land for crop growing, grazing or forestry. This technique involves building low embankments with compacted earth or stones in the form of a semi-circle with the opening perpendicular to the flow of water and arranged in staggered rows. They are constructed on gently to moderately sloping pediments and plateau areas in order to rehabilitate areas that are degraded, denuded and/or affected by soil crusting.

Source WOCAT :
https://qcat.wocat.net/en/wocat/technologies/view/technologies_1614/

Soil Bund with contour cultivation

It is a structural measure with an embankment of soil or stones or soil and stones, constructed along the contour and stabilized with vegetative measures (grass and fodder trees).

Source WOCAT :
https://qcat.wocat.net/en/wocat/technologies/view/technologies_1073/

Traditional cut-off drain

Graded ditch out of soil and stones to protect the fields below from water runoff. It can be done across several land uses types.

Source WOCAT :
https://qcat.wocat.net/en/wocat/technologies/view/technologies_1467/

Vegetative strips

Within individual cropland plots, strips of land are marked out on the contour and left un-ploughed in order to form permanent, cross-slope barriers of naturally established grasses and herbs.

Source WOCAT :
https://qcat.wocat.net/fr/wocat/technologies/view/technologies_1133/

Gestion de l'eau

Irrigation

WCA 2020, FAO 2016 : L'irrigation fait référence à un apport délibéré d'eau, autre que la pluie, sur les terres, dans le but d'améliorer la production des pâturages ou des cultures. L'irrigation implique généralement l'existence d'infrastructures et d'équipements servant à appliquer l'eau au niveau des cultures, comme les canaux d'irrigation, les pompes, les asperseurs ou les systèmes d'arrosage localisé. Cependant, l'irrigation comprend également l'arrosage manuel des plantes à l'aide

de seaux, d'arrosoirs ou d'autres dispositifs. En revanche, les inondations incontrôlées des terres par débordement des rivières ou des ruisseaux ne sont pas considérées comme faisant partie du thème de l'irrigation.

WCA 2020, FAO 2016 : Irrigation refers to purposely providing land with water, other than rain, for improving pastures or crop production. Irrigation usually implies the existence of infrastructure and equipment for applying water to crops, such as irrigation canals, pumps, sprinklers or localized watering systems. However, it also includes manual watering of plants using buckets, watering cans or other devices. Uncontrolled land flooding by overflowing of rivers or streams is not considered irrigation.

Variables quantitatives associées à l'irrigation

Quantité annuelle d'eau apportée par irrigation

Exprimée en $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ d'eau

Drainage

WCA 2020, FAO 2016 : Dans le but du recensement de l'agriculture, le drainage consiste en la suppression artificielle de l'eau de surface ou souterraine en excès - avec les substances dissoutes - de la surface des terres au moyen de canalisations de surface ou souterraines, pour améliorer la production agricole. Le drainage naturel de l'excès d'eau dans les lacs, les marécages et les cours d'eau n'est pas inclus.

WCA 2020, FAO 2016 : For the purpose of the agricultural census, drainage means the artificial removal of excess surface water or groundwater – together with dissolved substances – from the land surface by means of surface or subsurface conduits, to enhance agricultural production. It does not include natural drainage of excess water into lakes, swamps and rivers.

Gestion de l'eau dans les rizières

Rizières inondées en permanence

Signifie qu'un champ a de l'eau stagnante pendant toute la période de croissance du riz et qu'il peut sécher seulement pour la récolte (drainage de fin de saison). (FAO, 2017)

Rizières non inondées

Rizières non inondées, pouvant être irriguées modérément lorsque la teneur en eau du sol est inférieure à 80% de la capacité au champ (Mi et al., 2019)

Alternance humidification et dessèchement (=Alternate wetting drying)

Irrigation water is applied a few days after the disappearance of the ponded water. Hence, the field gets alternately flooded and non-flooded. The number of days of non-flooded soil between irrigations can vary from 1 to more than 10 days depending on the number of factors such as soil type, weather, and crop growth stage.

<http://www.knowledgebank.irri.org/training/fact-sheets/water-management/saving-water-alternate-wetting-drying-awd>

Modes de défriche

Brûlis

Bois entièrement brûlés sur la parcelle (Courte et al., 2020).

Bulldozer

Bois couchés et débardés de manière mécanique (Courte et al., 2020).

Brûlis + Bulldozer

Utilisation combinée des deux modes de défriche. Le feu permet un éclaircissement du sous-bois avant le passage du bulldozer pour coucher les bois restants et procéder au débardage (Courte et al., 2020).

Slash and burn

« *Slashing the forest with chainsaws, axes, and machetes and burning the felled vegetation after it has dried.* » (Palm et al., 2005)

La végétation forestière est coupée à la main ou à l'aide de tronçonneuses, est laissée au sol, puis est brûlée généralement durant la saison sèche (d'après Palm et al. 2005)

Remarque : ne désigne pas ici le système de culture consistant à alterner des périodes de jachère et des périodes de mise en culture, avec des rotations (culture itinérante sur brûlis ou shifting cultivation)

Défriche sans brûlis, chop and mulch ou slash and mulch

Le sous-bois et les houppiers sont broyés et constituent un mulch avant le passage d'engins légers pour l'exploitation des troncs >20 cm de diamètre (Courte et al., 2020; Kato et al., 1999).

Pratiques de gestion intégrées : combinaisons de différentes pratiques de gestion

Remarque : Ces pratiques ne sont pas incluses dans l'arbre hiérarchique des pratiques

Agriculture de conservation

Définition : (site web FAO, <http://www.fao.org/conservation-agriculture/overview/principles-of-ca/fr/>)

« L'agriculture de conservation repose sur trois grands principes qui doivent être adaptés aux réalités et aux besoins locaux:

- Une perturbation mécanique des sols minimale (pas de travail du sol) puisque l'ensemencement et/ou l'épandage d'engrais sont effectués directement, ce qui a pour effet de freiner l'érosion des sols et de conserver leur matière organique.
- Une couverture organique des sols permanente (d'au moins 30 pour cent) composée de résidus végétaux et/ou de cultures de couverture. Le maintien d'une couche végétale protectrice bloque

la croissance des adventices, protège le sol des intempéries, permet de préserver l'humidité édaphique et d'éviter le tassement du sol.

- La diversification des espèces cultivées, obtenue en cultivant successivement plusieurs espèces (au moins trois) et en les associant. Lorsqu'elle est bien conçue, la rotation des cultures favorise une bonne structure du sol, entretient dans le sol une gamme diversifiée d'espèces floristiques et fauniques qui aident à l'accomplissement du cycle des éléments nutritifs et à une meilleure nutrition des végétaux, et protège contre les ravageurs et l'apparition de phytopathologies. » L'application stricte de ces trois principes équivaut aux systèmes appelés « semis direct sous couvert végétal » ou « direct seeding mulch-based cropping systems » (Scopel et al., 2004). Les performances de l'agriculture de conservation reposeraient sur les synergies offertes par l'application conjointe des trois principes (Reicosky, 2015).

Conservation Agriculture is based on three main principles adapted to reflect local conditions and needs:

- Minimum mechanical soil disturbance: Minimum soil disturbance refers to low disturbance no-tillage and direct seeding. The disturbed area must be less than 15 cm wide or less than 25% of the cropped area (whichever is lower). There should be no periodic tillage that disturbs a greater area than the aforementioned limits. Strip tillage is allowed if the disturbed area is less than the set limits.
- Permanent soil organic cover: Three categories are distinguished: 30-60%, >60-90% and >90% ground cover, measured immediately after the direct seeding operation. Area with less than 30% cover is not considered as CA.
- Species diversification: Rotation/association should involve at least 3 different crops. However, repetitive wheat, maize, or rice cropping is not an exclusion factor for the purpose of this data collection, but rotation/association is recorded where practiced.

<http://www.fao.org/conservation-agriculture/overview/principles-of-ca/en/>

Agriculture biologique (organic agriculture)

WCA 2020, FAO 2016 :

“L’agriculture biologique est un système de gestion globale de la production qui favorise et renforce la santé de l’agroécosystème, y compris la biodiversité, les cycles biologiques et l’activité biologique des sols. L’agriculture biologique met l’accent sur l’utilisation de pratiques de gestion, préférable à l’utilisation de facteurs de production non agricoles, en tenant compte du fait que les conditions régionales nécessitent des systèmes adaptés aux conditions locales. Ceci s’accomplit en utilisant, quand c’est possible, les méthodes agronomiques, biologiques et mécaniques, par opposition à l’utilisation de matériaux synthétiques, afin de remplir toutes les fonctions spécifiques du système.” (FAO/OMS, 1999, Commission du Codex Alimentarius).

WCA 2020, FAO 2016 : “Organic agriculture is a holistic production management system which promotes and enhances agro-ecosystem health, including biodiversity, biological cycles and soil biological activity. It emphasizes the use of management practices in preference to the use of off-farm inputs, taking into account that regional conditions require locally adapted systems. This is accomplished by using, where possible, agronomic, biological and mechanical methods, as opposed to using synthetic materials, to fulfil any specific function within the system.” (FAO/WHO Codex Alimentarius Commission, 1999). »

Conservation des sols

(WCA 2020, FAO 2016) : « La conservation des sols est une pratique durable permettant de prévenir et d'enrayer la dégradation des sols par des pratiques appropriées d'utilisation et de

gestion des terres. Elle se définit par toutes les activités qui maintiennent ou améliorent la capacité productive des terres dans les zones touchées ou sujettes à la dégradation, y compris en prévenant et en réduisant l'érosion des sols, le compactage et la salinité, en conservant ou en drainant l'eau des sols, et en entretenant ou améliorant la fertilité des sols. Lorsque cela est possible, des informations sur le pourcentage de la superficie des terres traitées par chaque type de pratiques de conservation des sols doivent être demandées. D'autres activités liées à la culture de couverture s'appliquent à la conservation des sols, mais il n'est pas recommandé de recueillir ces données durant le recensement.

WCA 2020, FAO 2016 : Soil conservation is a sustainable practice to prevent and reverse the degradation of soil through appropriate land use and management practices. It is defined as activities to maintain or enhance the productive capacity of the land in areas affected by or prone to degradation, including prevention and reduction of soil erosion, compaction and salinity, conservation or drainage of soil water, and maintenance or improvement of soil fertility. Where feasible, information on the percentage of land area under each type of soil conservation practice should be asked. Other activities related to crop cover apply to soil conservation but are not recommended for collection during the census.

Système de riziculture intensive

Sustainable Rice Intensification (SRI) : The main components include careful transplanting of young seedlings at wide spacings on a precise grid with only one seedling per hill, water management that keeps the soil moist but not continuously flooded, frequent (i.e. three to four times) manual or mechanical weeding before canopy closure, and reliance on high rates of organic compost for fertilizer. (McDonald et al., 2006)

Prairies

Gestion des plantes

Choix des espèces, amélioration variétale : (Improved Plant Varieties) :

Refers to the development of new plant varieties that offer benefits such as improved production, resistance to pests and diseases, or drought tolerance, in response to changing environmental conditions and land users' needs. (définition WOCAT :
https://wocatpedia.net/wiki/Category:Improved_Plant_Varieties_and_Animal_Breeds)

Présence de légumineuses (legumes)

Legumes are plant species of the *Fabaceae* family with a wide range of physical characteristics from herbaceous forbs to shrubby and tree forms (Allen et al., 2011)

Présence d'herbacées à enracinement profond

Absence de définition précise, en dépit de la littérature abondante sur le sujet

Agroforesterie

Silvopastures

Woody species planted on permanent grasslands, often grazed (Cardinael et al., 2018b)

Parklands

Intercropping of agricultural crops or grazing land under low density mature scattered trees. Typical of dry areas like Sahel (e.g. *Faidherbia albida*). (Cardinael et al., 2018b)

Gestion des flux de biomasse et du pâturage

Grazing Livestock Density (Taux de chargement)

The grazing livestock density index measures the stock of grazing animals (cattle, sheep, goats and equidae) expressed in livestock units (LSU) per hectare of fodder area. (glossaire Eurostat, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Grazing_livestock_density_index)

The livestock unit, abbreviated as LSU (or sometimes as LU), is a reference unit which facilitates the aggregation of livestock from various species and age as per convention, via the use of specific coefficients established initially on the basis of the nutritional or feed requirement of each type of animal (see table below for an overview of the most commonly used coefficients).

The reference unit used for the calculation of livestock units (=1 LSU) is the grazing equivalent of one adult dairy cow producing 3 000 kg of milk annually, without additional concentrated foodstuffs.

(glossaire Eurostat, [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Livestock_unit_\(LSU\)](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Livestock_unit_(LSU)))

Grazing management

Extensive grazing management

Grazing management that uses relatively large land areas per animal and a relatively low level of labour, resources or capital (Allen et al., 2011)

Intensive grazing management

Grazing management that uses relatively high levels of labour, resources or capital to increase production per unit area or per animal, through a relative increase in stocking rates, grazing pressure and forage utilization (Allen et al., 2011)

Type d'animaux

Mode d'exploitation de l'herbe

Définitions issues du dictionnaire Donesol (Boulonne, 2011).

Broyage

Mode de gestion minimal, d'entretien de la surface toujours en herbe, par élimination des ligneux ou broussailles, sans récolte, ni pâturage

Fauche

Fauche uniquement pour production fourragère

Pâturage

Pâturage uniquement

Fauche et pâturage

Les deux modes d'exploitation, fauche et pâturage, sont menées sur la parcelle

Variables quantitatives permettant d'estimer les apports de carbone au sol

Les quantités d'apports de carbone issu des plantes arrivant au sol dans les prairies sont un déterminant majeur des stocks de carbone et de leur évolution, et découlent de la gestion des plantes et des exports de biomasse.

Ces apports totaux de carbone sont la somme du carbone des parties aériennes restituées au sol par coupe ou par senescence naturelle, du carbone issu de la rhizodéposition, du carbone produit dans la biomasse racinaire chaque année, et du carbone excrété par les animaux pâturant sur les prairies.

Cependant, contrairement aux études sur les cultures annuelles, les études portant sur l'effet des pratiques de gestion sur la dynamique des stocks de carbone en prairie présentent rarement une estimation chiffrée des apports de carbone annuels arrivant au sol, en raison des difficultés à mesurer précisément ces flux de carbone. Par conséquent les méta-analyses disponibles en prairie n'analysent pas l'effet de cette variable sur la dynamique à long terme des stocks de carbone (e.g. Batjes, 2019; Conant et al., 2017b).

(Jacobs et al., 2020) proposent une méthodologie pour estimer la NPP et les apports de carbone arrivant au sol dans les prairies, mais cette méthode s'applique dans un contexte géographique donné (l'Allemagne) et utilise de nombreuses estimations. Nous reprenons une partie des variables et leur

mode de calcul de ces travaux, tout en avertissant sur les coefficients utilisés, qui varient probablement selon le contexte agropédoclimatique.

Export de biomasse aérienne par la fauche

Exprimé en t ha⁻¹ an⁻¹ de matière sèche

Export de biomasse aérienne par le pâturage

Exprimé en t ha⁻¹ an⁻¹ de matière sèche

Biomasse aérienne fauchée et restituée au sol (mulch)

Exprimé en t ha⁻¹ an⁻¹ de matière sèche

Teneur en carbone de la biomasse aérienne

Exprimé en g kg⁻¹. Estimé à 450 g kg⁻¹ par Bolinder et al (2007).

Flux de carbone exporté par la fauche et/ou le pâturage

$C_{exp} = (\text{Export de biomasse aérienne par la fauche} + \text{Export de biomasse aérienne par le pâturage}) \times \text{Teneur en carbone de la biomasse aérienne} / 1000$

Flux de carbone restitué au sol par la fauche (mulch)

$C_{mulch} = \text{Biomasse aérienne fauchée et restituée au sol} \times \text{Teneur en carbone de la biomasse aérienne} / 1000$

Production de carbone aérien total

Exprimé en t ha⁻¹ an⁻¹

Correspond à la somme totale du carbone de la biomasse aérienne ayant poussé durant un an ; équivalent à la NPP aérienne.

Le coefficient de 1.215 correspond à la biomasse ayant poussée qui n'est pas comptabilisé par les mesures de fauches et de pâturages (Jacobs et al., 2020).

$C_{aérien} = (\text{Export de biomasse aérienne par la fauche} + \text{Export de biomasse aérienne par le pâturage} + \text{Biomasse aérienne fauchée et restituée au sol}) \times 1.215 \times \text{Teneur en carbone de la biomasse aérienne}$

Shoot/root ratio (S :R)

Ratio entre la biomasse aérienne et la biomasse souterraine produite en un an (sans unité).

Des valeurs de ce ratio sont disponibles dans la littérature (e.g. Bolinder et al., 2007).

Ce ratio a une variabilité importante, pouvant mener à de larges erreurs de l'estimation du flux de carbone racinaire en l'absence de mesures (Bolinder et al., 2007)

Production de biomasse racinaire

Flux de biomasse produit dans les tissus racinaires récupérables physiquement. Exprimé en t ha⁻¹ an⁻¹ de matière sèche.

Production de biomasse racinaire = (Rendement + biomasse non récoltée) / (S :R)

Taux de rhizodéposition

Ratio entre le flux de carbone apporté par la rhizodéposition et le flux de carbone de la production racinaire nette.

Ce taux est estimé à 0.65 par Bolinder et al. (2007) pour les graminées.

Teneur en carbone des racines

Exprimé en g kg⁻¹. Mesuré en laboratoire ou estimé à partir de valeurs de la littérature (e.g. 450 g kg⁻¹ dans Bolinder et al., 2007)

Flux de carbone apporté par les racines

C_{rac} (t C ha⁻¹ an⁻¹) = Production de biomasse racinaire × Teneur en carbone des racines / 1000

Flux de carbone apporté par la rhizodéposition

C_{rhiz} = C_{rac} × Taux de rhizodéposition

Flux de carbone apporté par les déjections animales

Ce flux de carbone correspond au carbone apporté dans les prairies par les déjections des animaux pâturent sur la prairie. Pour cette raison ce carbone n'est pas considéré comme exogène à la parcelle et n'est pas considéré séparément comme l'est la fertilisation organique par le fumier dans les cultures annuelles. Le flux de matière fraîche apporté par les déjections peut être estimé à l'aide du taux de chargement et des taux journalier d'apports de déjections par les animaux (Jacobs et al., 2020).

C_{ani} = Flux de MO fraîche apportée par les déjections (t ha⁻¹ an⁻¹) × Taux de matière sèche des déjections (g kg⁻¹) / 1000 × Teneur en carbone des déjections (g kg⁻¹) / 1000

Flux entrant annuel total de carbone

Le flux entrant annuel total de carbone est la somme du carbone aérien non exporté, du carbone racinaire, et du carbone apporté par les déjections animales.

C_{tot} (exprimé en t C ha⁻¹ an⁻¹) = $C_{aérien}$ - C_{exp} + C_{rac} + C_{rhiz} + C_{ani}

(Jacobs et al., 2020) proposent un mode de calcul utilisant des valeurs moyennes estimées en Allemagne. Nous avons ajouté à leur calcul le carbone apporté par les déjections animales des animaux pâturent sur les prairies, non pris en compte dans leur estimation. Ils considèrent qu'les apports de carbone proviennent du mulch, des résidus non pâturez ou récoltés qui représentent 50% du carbone non récolté ou pâturé, et estiment les apports racinaires (racines et rhizodéposition) à 2.22 t C ha⁻¹ an⁻¹.

$C_{tot-Jacobs}$ = C_{mulch} + ($C_{aérien}$ - C_{exp} - C_{mulch}) × 0.5 + 2.22

Gestion des feux

IPCC, 2019 : « Fire management is a land management option aimed at safeguarding life, property and resources through the prevention, detection, control, restriction and suppression of fire in forest and other vegetation. It includes the improved use of fire for sustainable forestry management, including wildfire prevention and prescribed burning. Prescribed burning is used to reduce the risk of large, uncontrollable fires in forest areas, and controlled burning is among the most effective and economic methods of reducing fire danger and stimulating natural reforestation under the forest canopy and after clear felling. »

All activities required for the protection of burnable forest and other vegetation values from fire and the use of fire to meet land management goals and objectives. It involves the strategic integration of such factors as a knowledge of fire regimes, probable fire effects,

values-at-risk, level of forest protection required, cost of fire-related activities, and prescribed fire technology into multiple-use planning, decision making, and day-to-day activities to accomplish stated resource management objectives. Successful fire management depends on effective fire prevention, detection, and presuppression, having an adequate fire suppression capability, and consideration of fire ecology relationships (FAO/GFMC, 1999)

Fire exclusion

Planned (systematic) protection of an ecosystem from any wildfire, including any prescribed fire, by all means of fire prevention and suppression in order to obtain management objectives (cf. Fire Control) (FAO/GFMC, 1999)

Uncontrolled fire

Any fire which threatens to destroy life, property, or natural resources, and (a) is not burning within the confines of firebreaks, or (b) is burning with such intensity that it could not be readily extinguished with ordinary tools commonly available.
(FAO/GFMC, 1999)

Prescribed burning (brûlage contrôlé ou brûlage dirigé)

Controlled application of fire to vegetation in either their natural or modified state, under specified environmental conditions which allow the fire to be confined to a predetermined area and at the same time to produce the intensity of heat and rate of spread required to attain planned resource management objectives (cf. Prescribed Fire). Note: This term has replaced the earlier term "Controlled Burning".
(FAO/GFMC, 1999)

Improved prescribed burning :

« Setting fire to pasture/ rangeland to burn off unpalatable dry grass, and to control bush invasion in some circumstances. Also to clear the land for planting, and to control crop pests, diseases, and weeds »
(source WOCAT <https://www.wocat.net/en/glossary>)

Broadcast Burning (brûlage extensif)

Définition du National Wildfire Coordination Group : « Prescribed burning activity where fire is applied generally to most or all of an area within well defined boundaries for reduction of fuel hazard, as a resource management treatment, or both. »

Source <https://www.nwcg.gov/term/glossary/broadcast-burning>
(FAO/GFMC, 1999): Allowing a prescribed fire to burn over a designated area within well-defined boundaries for reduction of fuel hazard, as a silvicultural treatment, or both (term mainly used for slash burning)

Early burning

Prescribed burning early in the dry season before the leaves and undergrowth are completely dry or before the leaves are shed, as an insurance against more severe fire damage later on. (FAO/GFMC, 1999)

Late burning

Prescribed burning activities towards the end of the dry season

Variables quantitatives associées à la gestion des feux

Fire frequency (fréquence des feux)

The average number of fires or regularly occurring fire events per ha and per year.

Gestion des fertilisants et amendements

Les fertilisants et amendements peuvent être apportés dans les sols des prairies de la même façon que pour les cultures annuelles et pérennes, nous utilisons donc ici les mêmes variables. La matière organique apportée par les animaux pâtrant sur les parcelles étudiées est traitée dans une section différente (voir [plus haut](#)), car la matière organique ingérée par les animaux et partiellement restituée par leurs déjections est produite sur la même parcelle.

Fertilisation minérale

Définition :

« Fertilisers manufactured by a chemical/industrial process or mined as opposed to organic material that contains carbon. They are also called chemical fertilisers, artificial fertilisers or inorganic fertiliser » [Eurostat](#)

La nature des fertilisants minéraux diffère selon leur composition. Dans la littérature, la caractérisation des apports de fertilisants minéraux peut être renseignée par le flux entrant annuel d'azote total, ainsi que le rapport N :P :K du fertilisant apporté, ce qui permet d'en déduire les flux entrant de phosphore et de potassium.

Variables quantitatives associées à la fertilisation minérale

Flux entrant annuel d'azote total

Exprimé en kg N ha⁻¹ an⁻¹

Flux entrant annuel de phosphore

Exprimé en kg P ha⁻¹ an⁻¹

Flux entrant annuel de potassium

Exprimé en kg K ha⁻¹ an⁻¹

Rapport N :P :K

Rapport entre les teneurs en N, P, et K du fertilisant minéral

Fertilisation organique

Définition :

« Fertilisers derived from organic origin such as animal products (e.g. livestock manure, dried blood, hoof and bone meal), plant residues or human origin (e.g. sewage sludge). Organic fertilisers contain carbon (C) and nutrients of solely biological origin and exclude material which is fossilized or embedded in geological formations. » [Eurostat](#)

PRO (Produits résiduaires d'origine organique) ou EOM (Exogenous organic matter)

Définitions :

Produit résiduaire organique (PRO) : « Toutes les matières résiduaires organiques pouvant être épandues en agriculture à l'état brut ou traitées » [Lexique ValOr PRO](#)

Exogenous organic matter (EOM) : « Exogenous organic matter (EOM) is all organic material of biological origin applied to the soil in order to fertilize, amend or restore it and improve the environment » (Marmo et al., 2004)

Remarque : Il apparaît une légère différence de concept entre les termes PRO et EOM : les PRO désigne des matières organiques résiduaires, tandis que les EOM désignent des matières organiques produites en dehors de la parcelle, et incluent donc des matières organiques non résiduaires comme les engrains biologiques. Nous décrivons ici l'ensemble des matières organiques exogènes, classées selon leur origine.

Origine agricole

Fumier solide

Engrais composé de déjections solides d'animaux domestiques avec ou sans litière utilisée pour leur couchage, incluant éventuellement une petite quantité d'urine. (FAO, 2016)

Solid/farmyard manure is a mixture of solid excreta of domestic animals with or without litter used for their bedding, possibly including a small amount of urine. (FAO, 2017)

Fumier liquide

Le fumier liquide est composé de l'urine d'animaux domestiques, incluant éventuellement une petite quantité d'excréments et/ou d'eau. (FAO, 2016)

Liquid manure is urine from domestic animals, possibly including a small amount of excrement and/or water. (FAO, 2017)

Lisier

Le lisier est un mélange de déjections liquides et solides d'animaux domestiques, additionné éventuellement d'eau et/ou d'une petite quantité de litière. (FAO, 2016)

Slurry is manure in liquid form, a mixture of liquid and solid animal excreta, with or without dilution with water and/or small amount of litter. (FAO, 2017)

Compost

« Le compost est un mélange de substrats organiques en décomposition, comme des feuilles et du fumier, utilisé pour améliorer la structure du sol et fournir des éléments nutritifs. Alternativement, il se réfère à des substrats organiques soumis à une décomposition biologique et une stabilisation, convertis en un produit final stable, libre d'agents pathogènes et de graines de plantes, et qui peuvent être appliqués sur les terres de façon avantageuse (Haug, 1993). »

« Compost is a mixture of decaying organic substrates, such as from leaves and manure, used to improve soil structure and provide nutrients. Alternatively, it refers to organic substrates subjected to biological decomposition and stabilization and converted into a final product that is stable, free of pathogens and plant seeds, and can be beneficially applied to land (Haug, 1993). »
(FAO, 2017)

Digestat

Liquid or solid residues produced by fermentation of biomass (anaerobic digestion) in a biogas plant (glossaire Landmark

<http://landmark2020.eu/glossary/digestate/>

Résidus solide ou liquide produit par fermentation de la biomasse (digestion anaérobique) dans une usine de biogaz (traduction KF)

Origine urbaine ou industrielle

Boues de station

Boues de station d'épuration d'eaux résiduaires d'origine urbaine ou industrielle, sous forme non précisée. (Boulonne, 2011)

Boues de station compostées

Boues de station d'épuration d'eaux résiduaires d'origine urbaine ou industrielle, ayant été compostées (Boulonne, 2011)

Boues de station chaulées

Boues de station d'épuration d'eaux résiduaires d'origine urbaine ou industrielle, ayant été chaulées (Boulonne, 2011)

Composts urbains

Déchets organiques d'origine urbaine ou industriels ayant subi un processus de compostage (Boulonne, 2011)

Déchets ménagers

Déchets provenant de la collecte des ordures ménagères (Boulonne, 2011)

Boues industrielles

Boues issues de stations de traitement, collectant de façon séparée (hors stations d'épuration urbaine) les eaux résiduaires produites par des industries. (Boulonne, 2011)

Origine non précisée

Engrais organiques

Les engrains organiques sont issus de matières végétales ou animales transformées et/ou de matières minérales non transformées (chaux, roche ou phosphate, par exemple) contenant au moins 5% d'éléments nutritifs végétaux combinés. Les engrains organiques comprennent des matières organiques d'origine animale, telles que guano, farine d'os, farine de poisson, farine de cuir et sang. (FAO, 2016)

Engrais biologiques

Les engrais biologiques, ou bio engrais, sont des produits qui contiennent des micro-organismes vivants ou dormants tels que bactéries et champignons, qui servent d'éléments nutritifs pour renforcer la croissance des végétaux. Les bio engrais ou inoculants microbiens peuvent être généralement définis comme des préparations contenant des cases vivantes ou latentes de souches efficaces de fixation d'azote, de solubilisation du phosphate ou de micro-organismes cellulolytiques (FAO, 2008).

Apports de matières organiques liées aux parcages

Remarque : les parcages de bétail sont souvent pratiqués au Sahel (Harris, 2002).

Parcage de nuit au piquet

« Ce système souvent décrit sous le nom de « parcage » consiste à immobiliser les animaux pour la nuit sur les parcelles après la récolte, ou en saison des pluies sur des jachères, en les attachant par les cornes à un piquet, ou parfois à un arbre ou à un tronc d'arbre. Les positions relatives des animaux dans le dispositif sont en général respectées lors des déplacements de celui-ci, l'ensemble du « parc » étant transféré d'une parcelle à l'autre ou sur la même parcelle, à un rythme variable (de quelques jours à une quinzaine de jours au maximum), de manière à répartir les déjections. » (Landais and Lhoste, 1993)

Parcage de nuit mobile

Les animaux sont parqués dans de petits enclos d'épineux sur leurs propres parcelles de culture, durant l'intersaison agricole, ou sur les zones défrichées et destinées à être cultivées. (Landais and Lhoste, 1993)

Variables quantitatives associées à la fertilisation organique

L'apport de carbone organique au sol par la fertilisation organique est un déterminant important de l'évolution des stocks de carbone du sol (Maillard and Angers, 2014). La variable quantitative associée aux apports de fertilisants organique idéalement renseignée est le flux entrant de carbone organique arrivant au sol, généralement exprimé en tonne de carbone par hectare et par an ($t \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$). Celui-ci est calculé à partir du flux annuel de matière brute, de la teneur en matière sèche du fertilisant, et de la teneur en carbone organique du fertilisant. En l'absence de mesure du taux de matière sèche et/ou du taux de carbone du fertilisant, il est possible d'utiliser des valeurs de la littérature pour estimer le flux entrant de carbone. Pour le contexte français métropolitain, des valeurs moyennes des caractéristiques des effluents d'élevage ont été compilées par le RMT Elevage et Environnement (Levasseur et al., n.d.).

Les variables listées ci-dessous avec leur unité d'expression peuvent donc être utilisées pour caractériser les apports de fertilisants organiques et estimer les flux annuels de carbone et de nutriment

Flux entrant annuel de matière brute

Exprimé en $t \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$

Teneur en matière sèche du fertilisant

Exprimé en $g \text{ kg}^{-1}$

Teneur en carbone organique du fertilisant

Exprimé en g kg⁻¹

Teneur en azote total du fertilisant

Exprimé en g kg⁻¹

Teneur en phosphore du fertilisant

Exprimé en g P kg⁻¹

Teneur en potassium du fertilisant

Exprimé en g K kg⁻¹

Flux entrant annuel de matière sèche

Flux entrant annuel de matière sèche (t ha⁻¹ an⁻¹) = Flux entrant annuel de matière brute × teneur en matière sèche / 1000

Flux entrant annuel de carbone

Flux entrant annuel de carbone (t ha⁻¹ an⁻¹) = Flux entrant annuel de matière brute × teneur en matière sèche / 1000 × teneur en carbone organique / 1000

Flux entrant annuel d'azote total

Flux entrant annuel d'azote total (kg ha⁻¹ an⁻¹) = Flux entrant annuel de matière brute × teneur en matière sèche / 1000 × teneur en azote total

Flux entrant annuel de phosphore

Flux entrant annuel de phosphore (kg ha⁻¹ an⁻¹ de P) = Flux entrant annuel de matière brute × teneur en matière sèche / 1000 × teneur en P

Flux entrant annuel de potassium

Flux entrant annuel de potassium (kg ha⁻¹ an⁻¹ de K) = Flux entrant annuel de matière brute × teneur en matière sèche × teneur en K

Fertilisation organo-minérale

Définition des engrains organo-minéraux : « Les engrains organo-minéraux sont obtenus par mélange ou transformation de matières organiques et d'engrais minéraux pour renforcer leur teneur en éléments nutritifs et leur pouvoir fertilisant. Dans ce type d'engrais, les nutriments minéraux sont protégés par la liaison et l'absorption du composant organique, conduisant à une libération progressive des éléments nutritifs dans le sol et à une réduction des pertes d'éléments nutritifs. » (FAO, 2016)

La fertilisation organo-minérale peut également consister en des apports d'engrais minéraux combinés à des apports organiques, on se référera dans ce cas aux catégories et définitions présentées précédemment, ainsi qu'aux variables quantitatives associées.

Apport de biochar

Matériau riche en carbone, stable, produit en chauffant de la biomasse dans un environnement pauvre en oxygène. Le biochar se distingue du charbon par son

utilisation : le biochar est utilisé comme amendement pour les sols, avec un objectif d'améliorer les fonctions du sol et de réduire les émissions de gaz à effet de serre de la biomasse qui se serait décomposé rapidement si elle n'avait pas été transformée en biochar (IBI, 2018). (traduction de la définition présente dans le glossaire du rapport spécial de l'IPCC, 2019).

Relatively stable, carbon-rich material produced by heating biomass in an oxygen-limited environment. Biochar is distinguished from charcoal by its application: biochar is used as a soil amendment with the intention to improve soil functions and to reduce greenhouse gas (GHG) emissions from biomass that would otherwise decompose rapidly (IBI, 2018) (glossaire du rapport spécial de l'IPCC, 2019).

Variable quantitatives associées aux apports de Biochar

Flux entrant annuel de biochar

Exprimé en t ha⁻¹ de matière sèche

Teneur en carbone du biochar

Exprimé en g kg⁻¹

Flux entrant annuel de carbone

Flux entrant annuel de carbone = Flux entrant annuel de biochar × teneur en carbone du biochar / 1000

Amendements de minéraux (mineral amendments)

Apports de minéraux argileux ou allophanes au sol

Chaulage

Apport d'amendements calciques ou calco-magnésiens au sol

Variable quantitatives associées au chaulage

Flux entrant annuel de CaO

Exprimé en kg ha⁻¹ an⁻¹ de CaO

Flux entrant annuel de MgO

Exprimé en kg ha⁻¹ an⁻¹ de MgO

Modes de défriche

Brûlis

Bois entièrement brûlés sur la parcelle (Courte et al., 2020).

Bulldozer

Bois couchés et débardés de manière mécanique (Courte et al., 2020).

Brûlis + Bulldozer

Utilisation combinée des deux modes de défriche. Le feu permet un éclaircissement du sous-bois avant le passage du bulldozer pour coucher les bois restants et procéder au débardage (Courte et al., 2020).

Slash and burn

« Slashing the forest with chainsaws, axes, and machetes and burning the felled vegetation after it has dried. » (Palm et al., 2005)

La végétation forestière est coupée à la main ou à l'aide de tronçonneuses, est laissée au sol, puis est brûlée généralement durant la saison sèche (d'après Palm et al. 2005)

Remarque : ne désigne pas ici le système de culture consistant à alterner des périodes de jachère et des périodes de mise en culture, avec des rotations (culture itinérante sur brulis ou shifting cultivation)

Défriche sans brulis, chop and mulch ou slash and mulch

Le sous-bois et les houppiers sont broyés et constituent un mulch avant le passage d'engins légers pour l'exploitation des troncs >20 cm de diamètre (Courte et al., 2020; Kato et al., 1999).

Forêts et plantations

Gestion des plantes (conduite de peuplement, rotations, espèces)

Conduite du peuplement

Gaulis

Jeune peuplement constitué de gaules de moins de 5 cm de diamètre et de 3 à 6 m de hauteur. Le gaulis est un stade dans le développement d'une futaie équienne régulière, après le fourré et avant le perchis (entre 10 et 20 ans). Une forêt équienne est une forêt où les peuplements sont composés d'arbres ayant moins de vingt ans d'écart entre eux. Ces forêts sont le plus souvent monospécifiques, c'est-à-dire composées d'une espèce très dominante. (Boulonne, 2011)

Perchis

Un perchis est le stade de développement d'un peuplement équienne, consécutif à celui du gaulis ; tiges rigides, d'un diamètre de 5 à 20 cm. (Boulonne, 2011)

Taillis (Coppice)

Woodland which has been regenerated from shoots formed at the stumps of the previous crop trees, root suckers, or both, i.e., by vegetative means. Normally grown on a short rotation for small material, but sometimes, e.g. some eucalyptus species, to a substantial size ([European Environment Agency glossary](#))

Le taillis est un peuplement d'arbres issu de la reproduction asexuée ou reproduction végétative d'une souche, où plusieurs bourgeons latents ont pu se développer après avoir reçu un apport massif de sève brute, donnant ainsi plusieurs tiges nouvelles, strictement semblables à l'arbre de départ. (Boulonne, 2011).

Futaie (High forest)

Peuplement forestier composé d'arbres issus de graines (semis ou plants) (CRPF Pays-de-la-Loire – CRPF Bretagne, n.d.)

A stand of trees, generally of seedling origin, that normally develop a high, closed canopy. (Ford-Robertson, 1971; Lazdina et al., 2017)

On distingue :

Futaie régulière

Arbres d'une même classe d'âge, éventuellement monospécifique (une seule essence d'arbre), généralement gérée par cycles de coupes rases. (Boulonne, 2011)

Futaie irrégulière

Plusieurs classes d'âge. (Boulonne, 2011)

Futaie irrégulière, hétérogène et mélangée

Contenant des espèces différentes à toutes les classes d'âge, le mélange futaie-taillis (taillis sous futaie). (Boulonne, 2011)

Futaie jardinée

Toutes les classes d'âge d'arbres sont représentées, car l'abattage sélectif des arbres porte sur quelques sujets mûrs seulement. (Boulonne, 2011)

Taillis sous futaie

Traitement comportant simultanément des arbres issus de drageons ou de rejets soumis au régime du taillis simple et des arbres de franc-pied, les réserves, soumis au régime de la futaie irrégulière et destinés à la production de bois d'œuvre. (CRPF Pays-de-la-Loire – CRPF Bretagne, n.d.)

Trees species selection (espèce dominante du peuplement) (Boulonne, 2011)

Feuillus (broadleaved species)

Vegetation formation composed principally of trees, including shrub and bush understorey, where broad-leaved species predominate.

Résineux (coniferous species)

Vegetation formation composed principally of trees, including shrub and bush understorey, where coniferous species predominate.

Mixte (Mixed species)

Vegetation formation composed principally of trees, including shrub and bush understorey, where neither broad-leaved nor coniferous species predominate.

Management of tree species diversity

Pure stand

- 1) A stand in which a certain percentage, for instance at least 80%, of the trees in the main crown canopy consist of a single species (Schuck et al., 2002)
- 2) A stand which consists at least of 90% of a single species (Schuck et al., 2002)

Mixed forest/stand

A stand or forest consisting of two or more tree species which influence significantly the stand ecology (Schuck et al., 2002)

Selection of species with N-fixing associates

« Trees with N-fixing root associates » (Mayer et al., 2020)

Variable quantitatives

Length of the rotation period

“The planned number of years between the formation or regeneration of a crop of trees and the time when the same crop is felled for final harvest. The age at the time of harvest is referred to as the rotation age when it coincides with the rotation and as the removal age when it does not. In selection harvesting systems, the terms mean exploitable age or mean harvesting age are sometimes used in place of rotation age.” (Dykstra and Heinrich, 1996)

Age du peuplement (années)

Densité du peuplement (nombre d'arbres ha⁻¹)

Gestion des flux de biomasse

Harvesting

The aggregation of all operations, including pre-harvest planning and postharvest assessment, related to the felling of trees and the extraction of their stems or other usable parts from the forest for subsequent processing into industrial products. Also called timber harvesting. (Dykstra and Heinrich, 1996)

Harvest type

Clearcut (coupe rase)

“the harvest of all the trees in an area. Clearcutting is used to aid species whose seedlings require full sunlight to grow well”

<https://dnr.maryland.gov/forests/Pages/gloss.aspx#c>

Selection cut (coupe sélective)

« A tree removal method that involves periodic cutting of selected trees from all merchantable diameter classes. The method is mostly used in an uneven-aged forest » (Schuck et al., 2002)

Seed tree method

« A tree removal method whereby the entire stand is removed in a final cutting except for selected single trees or seed trees in small groups to provide the seed for reproduction » (Schuck et al., 2002)

Thinning

« a partial cut in an immature, overstocked stand of trees used to increase the stand's value growth by concentrating on individuals with the best potential. »

<https://dnr.maryland.gov/forests/Pages/gloss.aspx#t>

Salvage logging

« Any harvesting activity consisting of recovering timber that can still be used, at least in part, from lands affected by natural disturbances » https://ec.europa.eu/knowledge4policy/glossary/salvage-logging_en

Shelterwood method

“A tree removal method in which mature trees are removed in a series of cuttings, enabling a new crop to establish under the partial shelter of the old trees from which the seed for regeneration is obtained. The regeneration may also be done artificially” (Schuck et al., 2002)

Harvest intensity

Whole-tree harvest

The tops, limbs, and foliage are removed in addition to the bole

(James and Harrison, 2016)

Bole-only harvest

Only the merchantable bole (stem) are removed from the site (James and Harrison, 2016)

Removal of forest residues

« Forest harvest residues are a mixture of tree components with a low merchantable value that are left on-site after harvesting. Harvest residues consist of leaves/needles, branches, twigs, low-quality or small diameter stems, bark, dead wood and roots. The current demand for renewable energy sources (e.g. fuelwood) has increased interest in utilization of forest harvest residues » (Mayer et al., 2020)

Removal of litter and biomass for fodder, fuel, or animal bedding

« Forest harvest residues are a mixture of tree components with a low merchantable value that are left on-site after harvesting. Harvest residues consist of leaves/needles, branches, twigs, low-quality or small diameter stems, bark, dead wood and roots. The current demand for renewable energy sources (e.g. fuelwood) has increased interest in utilization of forest harvest residues » (Mayer et al., 2020)

Variables quantitatives liées aux flux de carbone des plantes dans les forêts

Les apports de carbone arrivant au sol dans les forêts sont constitués des apports de litière aérienne, et des apports racinaires (production de racines grossières et fines, et rhizodeposition). Le flux de litière est plus souvent mesuré que le flux de racines, ce dernier étant très difficile à mesurer, bien que le flux de carbone des racines fines (diameter < 2 mm) représente entre 22 et 26% de la NPP (production primaire nette) (Neumann et al., 2020). Le flux de rhizodeposition (également appelé “root exudates” dans la literature) est assez souvent négligé dans les études estimant la partition des flux de carbone dans les écosystèmes forestiers, et représenterait moins de 4 % de la NPP (Campioli et al., 2016) ou moins de 7 % de la GPP (Malhi et al., 2017).

Flux de litière arrivant au sol

Exprimé en t ha⁻¹ an⁻¹ de matière sèche.

Ce flux est facilement mesurable. Des équations allométriques sont proposées par Neumann et al. (2018) pour calculer ce flux dans les forêts européennes.

Teneur en carbone de la litière arrivant au sol

Exprimée en g kg⁻¹.

Valeurs moyennes compilées selon le type d'arbre par Neumann et al. (2018) pour les forêts européennes.

Flux de carbone provenant de la litière

$C_{\text{litière}} = \text{Flux de litière arrivant au sol} \times \text{Teneur en carbone de la litière} / 1000$

Flux de racines fines

Production annuelle de racines fines (<2 mm de diamètre), exprimée en t ha⁻¹ an⁻¹ de matière sèche. Ce flux est rarement mesuré. Une méthode de d'estimation de ce flux est présentée par (Cardinael et al., 2018a) pour la quantification des apports de carbone provenant des arbres en agroforesterie. Des modèles d'estimation des flux de racines fines ont été évalués par Neumann et al. (2020) pour les forêts européennes.

Teneur en carbone des racines fines

Neumann et al. (2020) propose des valeurs moyennes pour les conifères (473 ± 9 g kg⁻¹) et feuillus (494 ± 19 g kg⁻¹) des forêts européennes.

Flux de carbone des racines fines

$C_{\text{rac-fines}} = \text{Flux de racines fines} \times \text{Teneur en carbone des racines fines} / 1000$

Flux de carbone des racines grossières

Ce flux est rarement mesuré. Il est estimé à partir de ratios entre la biomasse aérienne et souterraine (Malhi et al., 2017, 2011, 2009; Moore et al., 2018).

Apports annuels totaux de carbone arrivant au sol

$C_{\text{tot}} (\text{t C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}) = C_{\text{litière}} + C_{\text{rac-fines}} + C_{\text{rac-grossières}}$

Gestion des fertilisants et amendements

Les apports de fertilisants et d'amendements sont bien moins employés dans les forêts que dans les sols cultivés, mais ils restent néanmoins possibles, en particulier dans les plantations. Nous reprenons donc ici les mêmes catégories décrites pour les cultures annuelles, pérennes, et pour les prairies, exceptés les pratiques de parcages qui ne sont pas pratiquées en forêt.

Fertilisation minérale

Définition :

« Fertilisers manufactured by a chemical/industrial process or mined as opposed to organic material that contains carbon. They are also called chemical fertilisers, artificial fertilisers or inorganic fertiliser » [Eurostat](#)

La nature des fertilisants minéraux diffère selon leur composition. Dans la littérature, la caractérisation des apports de fertilisants minéraux peut être renseignée par le flux entrant annuel d'azote total, ainsi que le rapport N : P : K du fertilisant apporté, ce qui permet d'en déduire les flux entrant de phosphore et de potassium.

Variables quantitatives associées à la fertilisation minérale

Flux entrant annuel d'azote total

Exprimé en kg N ha⁻¹ an⁻¹

Flux entrant annuel de phosphore

Exprimé en kg P ha⁻¹ an⁻¹

Flux entrant annuel de potassium

Exprimé en kg K ha⁻¹ an⁻¹

Rapport N :P :K

Rapport entre les teneurs en N, P, et K du fertilisant minéral

Fertilisation organique

Définition :

« Fertilisers derived from organic origin such as animal products (e.g. livestock manure, dried blood, hoof and bone meal), plant residues or human origin (e.g. sewage sludge). Organic fertilisers contain carbon (C) and nutrients of solely biological origin and exclude material which is fossilized or embedded in geological formations. » [Eurostat](#)

PRO (Produits résiduaires d'origine organique) ou EOM (Exogenous organic matter)

Définitions :

Produit résiduaire organique (PRO) : « Toutes les matières résiduaires organiques pouvant être épandues en agriculture à l'état brut ou traitées » [Lexique ValOr PRO](#)

Exogenous organic matter (EOM) : « Exogenous organic matter (EOM) is all organic material of biological origin applied to the soil in order to fertilize, amend or restore it and improve the environment » (Marmo et al., 2004)

Remarque : Il apparaît une légère différence de concept entre les termes PRO et EOM : les PRO désigne des matières organiques résiduaires, tandis que les EOM désignent des matières organiques produites en dehors de la parcelle, et incluent donc des matières organiques non résiduaires comme les engrains biologiques. Nous décrivons ici l'ensemble des matières organiques exogènes, classées selon leur origine.

Origine agricole

Fumier solide

Engrais composé de déjections solides d'animaux domestiques avec ou sans litière utilisée pour leur couchage, incluant éventuellement une petite quantité d'urine. (FAO, 2016)

Solid/farmyard manure is a mixture of solid excreta of domestic animals with or without litter used for their bedding, possibly including a small amount of urine. (FAO, 2017)

Fumier liquide

Le fumier liquide est composé de l'urine d'animaux domestiques, incluant éventuellement une petite quantité d'excréments et/ou d'eau. (FAO, 2016)

Liquid manure is urine from domestic animals, possibly including a small amount of excrement and/or water. (FAO, 2017)

Lisier

Le lisier est un mélange de déjections liquides et solides d'animaux domestiques, additionné éventuellement d'eau et/ou d'une petite quantité de litière. (FAO, 2016)

Slurry is manure in liquid form, a mixture of liquid and solid animal excreta, with or without dilution with water and/or small amount of litter. (FAO, 2017)

Compost

« Le compost est un mélange de substrats organiques en décomposition, comme des feuilles et du fumier, utilisé pour améliorer la structure du sol et fournir des éléments nutritifs. Alternativement, il se réfère à des substrats organiques soumis à une décomposition biologique et une stabilisation, convertis en un produit final stable, libre d'agents pathogènes et de graines de plantes, et qui peuvent être appliqués sur les terres de façon avantageuse (Haug, 1993). »

« Compost is a mixture of decaying organic substrates, such as from leaves and manure, used to improve soil structure and provide nutrients. Alternatively, it refers to organic substrates subjected to biological decomposition and stabilization and converted into a final product that is stable, free of pathogens and plant seeds, and can be beneficially applied to land (Haug, 1993). »

(FAO, 2017)

Digestat

Liquid or solid residues produced by fermentation of biomass (anaerobic digestion) in a biogas plant (glossaire Landmark
<http://landmark2020.eu/glossary/digestate/>)

Résidus solide ou liquide produit par fermentation de la biomasse (digestion anaérobique) dans une usine de biogaz (traduction KF)

Origine urbaine ou industrielle

Boues de station

Boues de station d'épuration d'eaux résiduaires d'origine urbaine ou industrielle, sous forme non précisée. (Boulonne, 2011)

Boues de station compostées

Boues de station d'épuration d'eaux résiduaires d'origine urbaine ou industrielle, ayant été compostées (Boulonne, 2011)

Boues de station chaulées

Boues de station d'épuration d'eaux résiduaires d'origine urbaine ou industrielle, ayant été chaulées (Boulonne, 2011)

Composts urbains

Déchets organiques d'origine urbaine ou industriels ayant subi un processus de compostage (Boulonne, 2011)

Déchets ménagers

Déchets provenant de la collecte des ordures ménagères (Boulonne, 2011)

Boues industrielles

Boues issues de stations de traitement, collectant de façon séparée (hors stations d'épuration urbaine) les eaux résiduaires produites par des industries. (Boulonne, 2011)

*Origine non précisée**Engrais organiques*

Les engrains organiques sont issus de matières végétales ou animales transformées et/ou de matières minérales non transformées (chaux, roche ou phosphate, par exemple) contenant au moins 5% d'éléments nutritifs végétaux combinés. Les engrains organiques comprennent des matières organiques d'origine animale, telles que guano, farine d'os, farine de poisson, farine de cuir et sang. (FAO, 2016)

Engrais biologiques

Les engrains biologiques, ou bio engrais, sont des produits qui contiennent des micro-organismes vivants ou dormants tels que bactéries et champignons mycorhiziens, qui contribuent, par leur implication dans des processus clés, à la fourniture d'éléments nutritifs et/ou à une stimulation de la croissance des végétaux. Les bio engrais ou inoculants microbiens peuvent être généralement définis comme des préparations contenant des cases vivantes ou latentes de souches efficaces de fixation d'azote, de solubilisation du phosphate ou de micro-organismes cellulolytiques (définition inspirée de FAO, 2008).

Variables quantitatives associées à la fertilisation organique

L'apport de carbone organique au sol par la fertilisation organique est un déterminant important de l'évolution des stocks de carbone du sol (Maillard and Angers, 2014). La variable quantitative associée aux apports de fertilisants organique idéalement renseignée est le flux entrant de carbone organique arrivant au sol, généralement exprimé en tonne de carbone par hectare et par an ($t \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$). Celui-ci est calculé à partir du flux annuel de matière brut, de la teneur en matière sèche du fertilisant, et de la teneur en carbone organique du fertilisant. En l'absence de mesure du taux de matière sèche et/ou du taux de carbone du fertilisant, il est possible d'utiliser des valeurs de la littérature pour estimer le flux entrant de carbone. Pour le contexte française métropolitain, des valeurs moyennes des caractéristiques des effluents d'élevage ont été compilées par le RMT Elevage et Environnement (Levasseur et al., n.d.).

Les variables listées ci-dessous avec leur unité d'expression peuvent donc être utilisées pour caractériser les apports de fertilisants organiques et estimer les flux annuels de carbone et de nutriment

Flux entrant annuel de matière brute

Exprimé en $t \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$

Teneur en matière sèche du fertilisant

Exprimé en $g \text{ kg}^{-1}$

Teneur en carbone organique du fertilisant

Exprimé en g kg⁻¹

Teneur en azote total du fertilisant

Exprimé en g kg⁻¹

Teneur en phosphore du fertilisant

Exprimé en g kg⁻¹ de P

Teneur en potassium du fertilisant

Exprimé en g kg⁻¹ de K

Flux entrant annuel de matière sèche

Flux entrant annuel de matière sèche (t ha⁻¹ an⁻¹) = Flux entrant annuel de matière brute × teneur en matière sèche / 1000

Flux entrant annuel de carbone

Flux entrant annuel de carbone (t ha⁻¹ an⁻¹) = Flux entrant annuel de matière brute × teneur en matière sèche / 1000 × teneur en carbone organique / 1000

Flux entrant annuel d'azote total

Flux entrant annuel d'azote total (kg ha⁻¹ an⁻¹) = Flux entrant annuel de matière brute × teneur en matière sèche / 1000 × teneur en azote

Flux entrant annuel de phosphore

Flux entrant annuel de phosphore (kg ha⁻¹ an⁻¹) = Flux entrant annuel de matière brute × teneur en matière sèche / 1000 × teneur en phosphore

Flux entrant annuel de potassium

Flux entrant annuel de potassium (kg ha⁻¹ an⁻¹) = Flux entrant annuel de matière brute × teneur en matière sèche × teneur en potassium

Fertilisation organo-minérale

Définition des engrains organo-minéraux : « Les engrains organo-minéraux sont obtenus par mélange ou transformation de matières organiques et d'engrais minéraux pour renforcer leur teneur en éléments nutritifs et leur pouvoir fertilisant. Dans ce type d'engrais, les nutriments minéraux sont protégés par la liaison et l'absorption du composant organique, conduisant à une libération progressive des éléments nutritifs dans le sol et à une réduction des pertes d'éléments nutritifs. » (FAO, 2016)

La fertilisation organo-minérale peut également consister en des apports d'engrais minéraux combinés à des apports organiques, on se référera dans ce cas aux catégories et définitions présentées précédemment, ainsi qu'aux variables quantitatives associées.

Apport de biochar

Matériau riche en carbone, stable, produit en chauffant de la biomasse dans un environnement pauvre en oxygène. Le biochar se distingue du charbon par son

utilisation : le biochar est utilisé comme amendement pour les sols, avec un objectif d'améliorer les fonctions du sol et de réduire les émissions de gaz à effet de serre de la biomasse qui se serait décomposé rapidement si elle n'avait pas été transformée en biochar (IBI, 2018). (traduction de la définition présente dans le glossaire du rapport spécial de l'IPCC, 2019).

Relatively stable, carbon-rich material produced by heating biomass in an oxygen-limited environment. Biochar is distinguished from charcoal by its application: biochar is used as a soil amendment with the intention to improve soil functions and to reduce greenhouse gas (GHG) emissions from biomass that would otherwise decompose rapidly (IBI, 2018) (glossaire du rapport spécial de l'IPCC, 2019).

Variable quantitatives associées aux apports de Biochar

Flux entrant annuel de biochar

Exprimé en t ha⁻¹ de matière sèche

Teneur en carbone du biochar

Exprimé en g kg⁻¹

Flux entrant annuel de carbone

Flux entrant annuel de carbone = Flux entrant annuel de biochar × teneur en carbone du biochar / 1000

Amendements de minéraux (mineral amendments)

Apports de minéraux argileux ou allophanes au sol

Chaulage

Apport d'amendements calciques ou calco-magnésiens au sol

Variable quantitatives associées au chaulage

Flux entrant annuel de CaO

Exprimé en kg ha⁻¹ an⁻¹ de CaO

Flux entrant annuel de MgO

Exprimé en kg ha⁻¹ an⁻¹ de MgO

Gestion de la faune

Régulation des herbivores

« ungulate exclusion » Mayer et al. 2020

Gestion du travail du sol

Type de travail du sol

Définitions issues du dictionnaire de données des tables enquêtes du RMQS (Boulonne, 2011)

Sous-solage

Travail du sol profond par passage d'une sous-soleuse, outil à dents (comportant souvent 1 ou 2 dents)

Labour

Travail du sol réalisé à la charrue avec retournement, entre 20 et 30 cm de profondeur, en moyenne.

Travail superficiel

Travail du sol superficiel (15 -20 cm maximum) réalisé avec des outils à dents ou à disques, visant à émouvoir la terre, sans la retourner. Ces travaux incluent le déchaumage, reprise du labour, pseudo-labour, préparation du lit de semence.

Les outils à dents utilisés les plus courants pour une profondeur de travail du sol d'environ 15 -20 cm sont le cultivateur lourd (ou chisel), cultivateur léger (ou vibroculteur).

Les outils à disques les plus courants sont le croskill ou rouleau (pour tasser et ameublir la terre), le cover-crop (pulvériseur à trains de disques) ou encore les déchaumeurs à disques pour le déchaumage.

Pour la préparation du lit de semence, donc un travail plus superficiel (5-10cm), sont utilisés herse (à dents courtes ou griffes) et le croskill ou rouleau agricole (herse à disques)

Exemples d'outils pour la gestion forestière : pioche herse, scarificateur

(Dassot et al., 2015)

Variables quantitatives

Profondeur du travail du sol

Exprimé en cm

Fréquence du travail du sol (« tous les n années »)

Pour un travail annuel, fréquence = 1. Pour un travail réalisé deux fois par an, fréquence = 0.5

Gestion des feux

IPCC, 2019 : « Fire management is a land management option aimed at safeguarding life, property and resources through the prevention, detection, control, restriction and suppression of fire in forest and other vegetation. It includes the improved use of fire for sustainable forestry management, including wildfire prevention and prescribed burning. Prescribed burning is used to reduce the risk of large, uncontrollable fires in forest areas, and controlled burning is among the most effective and economic methods of reducing fire danger and stimulating natural reforestation under the forest canopy and after clear felling. »

All activities required for the protection of burnable forest and other vegetation values from fire and the use of fire to meet land management goals and objectives. It involves the strategic integration of such factors as a knowledge of fire regimes, probable fire effects,

values-at-risk, level of forest protection required, cost of fire-related activities, and prescribed fire technology into multiple-use planning, decision making, and day-to-day activities to accomplish stated resource management objectives. Successful fire management depends on effective fire prevention, detection, and presuppression, having an adequate fire suppression capability, and consideration of fire ecology relationships (FAO/GFMC, 1999)

Fire exclusion

Planned (systematic) protection of an ecosystem from any wildfire, including any prescribed fire, by all means of fire prevention and suppression in order to obtain management objectives (cf. Fire Control) (FAO/GFMC, 1999)

Uncontrolled fire

Any fire which threatens to destroy life, property, or natural resources, and (a) is not burning within the confines of firebreaks, or (b) is burning with such intensity that it could not be readily extinguished with ordinary tools commonly available.
(FAO/GFMC, 1999)

Prescribed burning (brûlage contrôlé ou brûlage dirigé)

"A wildland fire originating from a planned ignition in accordance with applicable laws, policies, and regulations to meet specific objectives". Source: 2009 Guidance for Implementation Federal Wildland Fire Management Policy and Fire Management Board Memorandum 19-004

<https://www.nwcg.gov/term/glossary/prescribed-fire>

Controlled application of fire to vegetation in either their natural or modified state, under specified environmental conditions which allow the fire to be confined to a predetermined area and at the same time to produce the intensity of heat and rate of spread required to attain planned resource management objectives (cf. Prescribed Fire). Note: This term has replaced the earlier term "Controlled Burning".
(FAO/GFMC, 1999)

Broadcast Burning (brûlage extensif)

Définition du National Wildfire Coordination Group : « Prescribed burning activity where fire is applied generally to most or all of an area within well defined boundaries for reduction of fuel hazard, as a resource management treatment, or both. »

Source <https://www.nwcg.gov/term/glossary/broadcast-burning>

(FAO/GFMC, 1999) : Allowing a prescribed fire to burn over a designated area within well-defined boundaries for reduction of fuel hazard, as a silvicultural treatment, or both (term mainly used for slash burning)

Early burning

Prescribed burning early in the dry season before the leaves and undergrowth are completely dry or before the leaves are shed, as an insurance against more severe fire damage later on. (FAO/GFMC, 1999)

Late burning

Prescribed burning activities towards the end of the dry season

Underburning (feu courant)

Prescribed burning with a low intensity fire in activity-created or natural fuels under a timber canopy

Fire frequency (fréquence des feux)

The average number of fires or regularly occurring fire events per unit time in a designated area.

Modes de défriche

Brûlis

Bois entièrement brûlés sur la parcelle (Courte et al., 2020).

Bulldozer

Bois couchés et débardés de manière mécanique (Courte et al., 2020).

Brûlis + Bulldozer

Utilisation combinée des deux modes de défriche. Le feu permet un éclaircissement du sous-bois avant le passage du bulldozer pour coucher les bois restants et procéder au débardage (Courte et al., 2020).

Slash and burn

« Slashing the forest with chainsaws, axes, and machetes and burning the felled vegetation after it has dried. » (Palm et al., 2005)

La végétation forestière est coupée à la main ou à l'aide de tronçonneuses, est laissée au sol, puis est brûlée généralement durant la saison sèche (d'après Palm et al. 2005)

Remarque : ne désigne pas ici le système de culture consistant à alterner des périodes de jachère et des périodes de mise en culture, avec des rotations (culture itinérante sur brûlis ou shifting cultivation)

Défriche sans brûlis, chop and mulch ou slash and mulch

Le sous-bois et les houppiers sont broyés et constituent un mulch avant le passage d'engins légers pour l'exploitation des troncs >20 cm de diamètre (Courte et al., 2020; Kato et al., 1999).

Pratiques de gestion intégrées dans les forêts et plantations

Reduced impact logging

'Reduced impact logging technology' is a collective term that refers to the use of scientific and engineering principles, in combination with education and training, to improve the application of labour, equipment and operating methods in the harvesting of industrial timber.

Although it varies somewhat with the local situation, RIL in tropical forests generally requires the following (see, for example, Sist et al., 1998):

- Pre-harvest inventory and mapping of individual crop trees.

- Pre-harvest planning of roads, skidtrails and landings to provide access to the harvest area and to the individual trees scheduled for harvest while minimizing soil disturbance and protecting streams and waterways with appropriate crossings.
 - Pre-harvest vine cutting in areas where vines bridge tree crowns.
 - The use of appropriate felling and bucking techniques, including directional felling, cutting stumps low to the ground to avoid waste, and optimal crosscutting of tree stems into logs in a way that will maximize the recovery of useful wood.
 - Construction of roads, landings and skidtrails so that they adhere to engineering and environmental design guidelines.
 - Winching logs to planned skidtrails and ensuring that skidding machines remain on the skidtrails at all times.
 - Where feasible, utilizing yarding systems that protect soils and residual vegetation by suspending logs above the ground.
 - Conducting post-harvest assessments in order to provide feedback to the concession holder and logging crews and to evaluate the degree to which RIL guidelines were applied successfully.
- Nearly all of these practices are common in temperate forests. Two that are not are the requirement for mapping individual crop trees, and the need for preharvest vine cutting.
 (Enters et al., 2002)