Notice méthodologique
TITRE DE LA FICHE D'INDICATEURS
Matière organique dans les sols agricoles
CATÉGORIE PRINCIPALE
Composantes environnementales et liens environnement-santé
THÉMATIQUE PRINCIPALE
Sols
CATÉGORIE SECONDAIRE
Activités humaines
THÉMATIQUE SECONDAIRE
Agriculture

SECTION 1 : AUTEUR	
Nom	MAES
Prénom	Emmanuel
E-mail	emmanuel.maes@spw.wallonie.be
Tél	081/33.60.28

SECTION 2 : CONTEXTUALISATION DE LA FICHE D'INDICATEURS	
Titre	Matière organique dans les sols agricoles
Définition(s) de la fiche d'indicateurs	La fiche présente des indicateurs relatifs à la teneur en carbone organique total (COT) dans les sols agricoles (sols sous cultures et sols sous prairies permanentes), ces teneurs étant un estimateur des teneurs en matière organique (MO). Les sols forment la couche supérieure de l'écorce terrestre. Ils sont le résultat de l'action de facteurs climatiques et biologiques sur les matériaux géologiques (pédogenèse). Leur nature et leurs propriétés déterminent notamment leur aptitude à remplir une fonction de production agricole. La matière solide des sols comprend les constituants minéraux (classés selon leur granulométrie en argiles, limons, sables, graviers et cailloux) et la MO que l'on peut définir comme tout ce qui est vivant ou a été vivant dans le sol. Les ordres de grandeur classiquement mentionnés des proportions en volume de ces deux fractions sont respectivement de 45 % et 5 %. Les 50 % restant correspondent au volume des pores, remplis de gaz et d'eau suivant l'humidité du sol. Ces proportions varient selon les caractéristiques des sols, la végétation et le climat. Au sens large, la MO d'un sol est formée par : – la biomasse vivante : microorganismes (bactéries, actinomycètes, champignons, algues, protozoaires), collemboles, acariens, nématodes, vers, insectes, racines… – la MO non vivante, constituée de (débris de) végétaux, de microorganismes ou d'animaux morts et de leurs produits de décomposition et d'humification. Dans les sols, la MO fraîche (typiquement la litère en forêt, les résidus ou co-produits de cultures tels que pailles, feuilles, fanes dans les sols cultivés, mais plus largement tout débris de végétaux ou d'animaux/microorganismes morts) subit une série de

	transformations physiques et biochimiques faisant intervenir de nombreux organismes vivants. Ces transformations comprennent les processus suivants : o fragmentation, au cours de laquelle les débris sont subdivisés en fragments de plus en plus petits ; o minéralisation primaire, au cours de laquelle les grandes molécules organiques (protéines, lipides, cellulose, lignine) subissent une dépolymérisation en molécules organiques plus simples, qui sont à leur tour transformées en éléments minéraux (NO_3^-, PO_4^{3-}, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}…) avec production d'eau et de CO_2 ; o humification, au cours de laquelle les substances organiques qui n'ont pas été détruites lors de la minéralisation primaire se transforment en molécules organiques complexes plus stables. Certaines de ces molécules peuvent former avec les argiles un complexe argilo-humique au sein duquel leur stabilité est renforcée ; o minéralisation secondaire des matières humifiées (processus lent : minéralisation au rythme de 1 à 3 % par an). En pratique, la teneur en MO d'un sol est estimée à partir de sa teneur en COT, mesurées sur terre fine (échantillon de sol séché, broyé manuellement et tamisé à 2 mm). Bien qu'il reste d'usage courant, le facteur de conversion des teneurs en COT en teneurs en MO, historiquement fixé à 1,72 sur base d'études anciennes montrant que la MO du sol contient 58 % de carbone, a été remis en cause par de nombreuses études. Dans la fiche d'indicateurs, la conversion des teneurs en COT en teneurs en MO n'est pas effectuée.
Référence(s) (définition)	/
Raison d'être de la fiche d'indicateurs	La présence en quantité suffisante de MO dans les sols est essentielle pour des questions : – de fertilité : les processus de minéralisation primaire et secondaire libèrent des éléments nutritifs (NO_3^-, PO_4^{3-}, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}…) et les rendent disponibles pour les végétaux ; – de biodiversité : la distribution hétérogène de la MO dans les sols (différence de teneur et de composition entre horizons, dans et en dehors de la rhizosphère[1], sur la paroi interne des galeries de vers de terre…) offre des habitats et des sources d'énergie diversifiés pour la microfaune/flore du sol ; – de structure des sols : la MO des sols permet le développement d'une structure plus poreuse et plus stable (formation de biopores grâce à l'activité biologique ; formation d'agrégats par association entre MO et constituants minéraux). Une telle structure permet de meilleurs échanges gazeux entre l'atmosphère du sol et l'air extérieur, une meilleure infiltration des eaux pluviales, ainsi qu'une meilleure résistance à l'érosion hydrique[2], à la battance[3] et à la compaction[4] ; – de circulation de l'eau : outre le développement d'une meilleure porosité favorable à l'infiltration, la présence de MO dans les sols permet d'augmenter les réserves en eau disponible ; – de stockage de carbone : la présence dans les sols de formes stables de MO, plus difficiles à minéraliser, permet d'immobiliser du carbone pendant un certain temps. L'augmentation de ces formes stables contribue de ce fait à la lutte contre les changements climatiques ;

[1] Ensemble des microrégions du sol en contact avec les racines. Le sol rhizosphérique présente une richesse en composés organiques particulière, favorable à une forte activité microbienne.
[2] Entraînement de particules de sols par les eaux de ruissellement
[3] Dégradation de la structure des sols sous l'action des gouttes de pluie, entraînant la formation d'une croûte de surface s'opposant à l'infiltration
[4] Perte de porosité suite au passage d'engins lourds dans certaines conditions

	– d'immobilisation/dégradation de certains polluants : l'hydrophobicité de certains polluants organiques favorise leur rétention par la MO des sols tandis que l'activité biologique peut favoriser leur dégradation. Certains métaux peuvent être retenus sur le complexe argilo-humique. Ces facteurs permettent aux sols de jouer un rôle de filtre à l'égard des eaux de percolation. Ces nombreux enjeux justifient que les teneurs en MO ou en COT des sols fassent l'objet d'un suivi. C'est le cas au niveau européen avec l'indicateur "*Soil organic carbon*". https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/soil-organic-carbon-1/assessment À noter que, dans des domaines ciblés, les teneurs en COT (ou les stocks de carbone du sol qu'elles permettent de calculer) doivent être connu(e)s afin de répondre à certaines obligations : – obligation de rapportage de l'Agence wallonne de l'air et du climat (AwAC) concernant les stocks de carbone organique dans les sols de Wallonie, dans le cadre des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre (GES) ; – restriction d'utilisation de certains produits phytopharmaceutiques (actuellement uniquement les produits contenant de la bentazone comme substance active herbicide), qui ne peuvent être appliqués sur les sols dont les teneurs en COT sont inférieures ou égales à 10 gC/kg. Cette restriction a été mise en place pour protéger les eaux souterraines.

SECTION 3 : MÉTHODOLOGIE

INDICATEUR N°1 (CARTE)

Titre de la carte	Teneurs en carbone organique total (COT)* des sols agricoles en Wallonie (2015 - 2019) * Teneurs en surface prédites par modélisation à partir des données REQUASUD collectées entre 2015 et 2019 (39 086 échantillons d'horizons de surface de sols sous cultures et 8 277 échantillons d'horizons de surface de sols sous prairies permanentes ; prairies temporaires non incluses dans l'analyse) - Maille de 90 m x 90 m
Fournisseur des données	UCLouvain - ELI - TECLIM, sur base des données du réseau de laboratoires REQUASUD (licence A09/2016)
Description des données	Carte des teneurs prédites en COT (en gC/kg) dans les sols agricoles (sols sous cultures et sols sous prairies permanentes). La cartographie des teneurs en COT a été obtenue en modélisant la variation spatiale des données de terrain à l'aide de co-variables spatialisées (texture, drainage naturel, altitude, précipitations, températures, couverture végétale…). La méthodologie s'appuie sur le principe de *Digital Soil Mapping* (DSM) qui consiste à modéliser la variabilité spatiale d'un paramètre donné du sol sur base des relations existantes entre ce paramètre et des co-variables environnementales connues pour influencer le développement/la nature des sols et disponibles sous un format continu dans l'espace (couches vectorielles ou rasters). Une analyse des relations entre le paramètre donné et les co-variables environnementales permet ensuite d'affiner l'ajustement d'un modèle GAM (*Generalised Additive Model*)[5] pour chacune des occupations de sols considérées (cultures et prairies permanentes). Les détails concernant la modélisation sont exposés dans Chartin *et al*. (2015) et Chartin *et al*. (2016).

[5] Généralisation du modèle de régression multiple dont les coefficients sont remplacés par des fonctions de lissage des co-variables

	Chartin *et al.*, 2015. Subvention CARBIOSOL. Carbone organique, biomasse et activité microbienne des sols : vers un indicateur de la qualité des sols en Wallonie. Rapport final. Étude réalisée pour le compte du SPW - DGO3 - DSD. Téléchargeable depuis la fiche d'indicateurs "Matière organique dans les sols agricoles". Chartin *et al*., 2016. Subvention CARBIOSOL III. Carbone organique, biomasse et activité microbienne des sols : vers un indicateur de la qualité des sols en Wallonie. Rapport final. Étude réalisée pour le compte du SPW - DGO3 - DSD. Téléchargeable depuis la fiche d'indicateurs "Matière organique dans les sols agricoles". Les données de terrain proviennent du réseau de laboratoires REQUASUD (http://www.requasud.be/) dont la banque de données (BD) centralise les résultats d'analyses de terre réalisées par les laboratoires provinciaux sur des échantillons composites prélevés au sein de parcelles agricoles. Les données utilisées ici concernent les sols sous cultures et les sols sous prairies permanentes. Les sols sous prairies temporaires ne font pas partie de l'analyse. Trois scripts informatiques R ont été construits par l' UCLouvain - ELI - TECLIM sur base de la méthodologie résumée plus haut afin de l'appliquer aux données extraites de la BD REQUASUD. Les teneurs en COT ont été quantifiées par les laboratoires REQUASUD soit par oxydation au bichromate de potassium (Walkley & Black, 1934 – ISO 14235-1998), soit par dosage du carbone total par analyse élémentaire par combustion sèche (Méthode Dumas – ISO 10694-1995) dont on soustrait ensuite le carbone inorganique dosé par ailleurs. La couche cartographique présente une résolution spatiale de 90 mètres. Au niveau de chaque pixel, la valeur des teneurs moyennes prédites en COT est exprimée en gramme de carbone par kilogramme de terre fine sèche (gC/kg).
Justification du seuil de 20 gC/kg (voir texte de la fiche d'indicateurs)	L'interprétation des teneurs en COT peut être effectuée selon différents points de vue, selon la fonction et les propriétés du sol que l'on souhaite voir garantie(s) (stabilité structurale ou fertilité p. ex.). Dans cette fiche, un seuil a été établi pour la stabilité structurale, qui joue un rôle fondamental dans diverses fonctions des sols. Ce seuil a été fixé par un comité d'experts (UCLouvain, SPW, CRA-W, REQUASUD) sur base des données de la littérature : – le Bissonnais, Y., Blavet, D., de Noni, G., Laurent, J.-Y., Asseline, J. & Chenu, C. 2007. Erodibility of Mediterranean vineyard soils: Relevant aggregate stability methods and significant soil variables. *European Journal of Soil Science*, 58(1): 188–195. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00823.x – le Bissonnais, Y., Prieto, I., Roumet, C., Nespoulous, J., Metayer, J., Huon, S., Villatoro, M. & Stokes, A. 2018. Soil aggregate stability in Mediterranean and tropical agro-ecosystems: effect of plant roots and soil characteristics. *Plant and Soil*, 424(1–2): 303–317. https://doi.org/10.1007/s11104-017-3423-6 – Johannes, A., Matter, A., Schulin, R., Weisskopf, P., Baveye, P.C. & Boivin, P. 2017. Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? *Geoderma*, 302: 14–21. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.021 – Loveland, P. & Webb, J. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: A review. *Soil and Tillage Research*, 70(1): 1–18. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00139-3 – Shi, P., Castaldi, F., van Wesemael, B. & van Oost, K. 2020. Vis-NIR spectroscopic assessment of soil aggregate stability and aggregate size distribution in the Belgian Loam Belt. *Geoderma*, 357. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113958

	– Waruru, B.K., Shepherd, K.D., Ndegwa, G.M. & Sila, A.M. 2016. Estimation of wet aggregation indices using soil properties and diffuse reflectance near infrared spectroscopy: An application of classification and regression tree analysis. *Biosystems Engineering*, 152: 148–164. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.08.003
INDICATEUR N°2	
Titre	Part de la superficie agricole cumulée en fonction des teneurs en carbone organique total des sols (COT)* en Wallonie (2015 - 2019) * Teneurs en surface prédites par modélisation à partir des données REQUASUD collectées entre 2015 et 2019 (39 086 échantillons d'horizons de surface de sols sous cultures et 8 277 échantillons d'horizons de surface de sols sous prairies permanentes ; prairies temporaires non incluses dans l'analyse)
Description des paramètres présentés	Graphique en courbes présentant pour les sols sous cultures, d'une part, et pour les sols sous prairies permanentes, d'autre part, la part (en %) de la superficie cumulée en fonction des teneurs prédites en COT (en gC/kg).
Unité(s)	%
DONNÉES UTILISÉES POUR CONSTRUIRE LES PARAMÈTRES	
Superficie agricole par classe de teneurs prédites en COT	
Fournisseur des données	UCLouvain - ELI - TECLIM, sur base des données du réseau de laboratoires REQUASUD (licence A09/2016)
Description des données	Sur base des résultats de la modélisation appliquée aux données REQUASUD exposée plus haut (indicateur 1), les superficies de sols sous cultures, d'une part, et de sols sous prairies permanentes, d'autre part, sont données pour les classes de teneurs en COT suivantes : [0 - 7,1]*]7,1 - 10]*]10 - 15]]15 - 20]]20 - 25]]25 - 30]]30 - 40]]40 - 50]]50 - 66,7]* * Les valeurs de 7,1 gC/kg et de 66,7 gC/kg correspondent aux valeurs minimales et maximales prédites à partir des données extraites de la BD REQUASUD pour la période 2015 - 2019.
Traitement des données	1. Pour chaque classe de teneurs en COT, calcul de la part (en %) de la superficie totale de sols sous cultures, d'une part, et de sols sous prairies permanentes, d'autre part. 2. Pour chaque classe de teneurs en COT, calcul de la somme des parts (%) de superficies pour lesquelles les teneurs en COT sont inférieures ou égales à celles de cette classe. Ce calcul est effectué pour les sols sous cultures, d'une part, et pour les sols sous prairies permanentes, d'autre part.
INDICATEUR N°3	
Titre	Teneurs en carbone organique total (COT) des sols sous cultures* en Wallonie (2015 - 2019)

	* Teneurs observées dans 39 086 échantillons d'horizons de surface de sols sous cultures (données REQUASUD 2015 - 2019)
Description des paramètres présentés	Tableau de statistiques descriptives relatives à la superficie agricole utilisée (SAU) et aux teneurs observées en COT dans les sols wallons sous cultures, par région agricole, pour la période (2015 - 2019)
Unité(s)	Voir tableau
DONNÉES UTILISÉES POUR CONSTRUIRE LES PARAMÈTRES	
Superficies agricoles utilisées (SAU) sous cultures, par région agricole	
Fournisseur des données	Statbel, chiffres agricoles (https://statbel.fgov.be/fr/themes/agriculture-peche/exploitations-agricoles-et-horticoles/plus) : "Résultats pour les arrondissements administratifs et les régions agricoles dans les provinces" pour les années 2015 à 2019
Description des données	Dans chaque fichier annuel (2015 à 2019), reprise uniquement des superficies renseignées par province/région agricole pour la catégorie : – Terres arables (= sols sous cultures)
Traitement des données	– Conversion des superficies en ha – Pour les régions agricoles réparties sur plusieurs provinces, addition des superficies par région agricole : o Brabant wallon/Région sablo-limoneuse + Hainaut/Région sablo-limoneuse o Brabant wallon/Région limoneuse + Hainaut/Région limoneuse + Liège/Région limoneuse + Namur/Région limoneuse o Hainaut/Campine hennuyère o Hainaut/Condroz + Liège/ Condroz + Namur/Condroz o Hainaut/Région herbagère (Fagne) + Namur/Région herbagère (Fagne) o Hainaut/Famenne + Liège/Famenne + Luxembourg/Famenne + Namur/Famenne o Liège/Région herbagère (Liège) + Luxembourg/Région herbagère (Liège) o Liège/Haute Ardenne o Luxembourg/Ardenne + Hainaut/Ardenne + Namur/Ardenne o Luxembourg/Région jurassique
Statistiques descriptives concernant les teneurs observées en COT	
Fournisseur des données	UCLouvain - ELI - TECLIM, sur base des données du réseau de laboratoires REQUASUD (licence A09/2016)
Description des données	Statistiques effectuées par région agricole sur les données observées extraites de la BD REQUASUD (sols sous cultures uniquement) pour les années 2015 à 2019
Traitement des données	Reprises sans traitement des statistiques suivantes, par région agricole : – Moyenne des teneurs en COT – Percentile 25 des teneurs en COT – Percentile 75 des teneurs en COT – Différences de teneurs en COT observées entre les périodes 2004 - 2014 et 2015 - 2019 (uniquement différences statistiquement significatives et supérieures à l'erreur estimée de mesure)

INDICATEUR N°4	
Titre	Teneurs en carbone organique total (COT) des sols sous prairies permanentes* en Wallonie (2015 - 2019) * Teneurs observées dans 8 277 échantillons d'horizons de surface de sols sous prairies permanentes (données REQUASUD 2015 - 2019)
Description des paramètres présentés	Tableau de statistiques descriptives relatives à la superficie agricole utilisée (SAU) et aux teneurs observées en COT dans les sols wallons sous prairies permanentes, par région agricole, pour la période (2015 - 2019)
Unité(s)	Voir tableau
DONNÉES UTILISÉES POUR CONSTRUIRE LES PARAMÈTRES	
Superficies agricoles utilisées (SAU) sous prairies permanentes, par région agricole	
Fournisseur des données	Statbel, chiffres agricoles (https://statbel.fgov.be/fr/themes/agriculture-peche/exploitations-agricoles-et-horticoles/plus) : "Résultats pour les arrondissements administratifs et les régions agricoles dans les provinces" pour les années 2015 à 2019
Description des données	Dans chaque fichier annuel (2015 à 2019), reprise uniquement des superficies renseignées par province/région agricole pour la catégorie : – Superficies toujours couvertes d'herbe (= sols sous prairies permanentes)
Traitement des données	– Conversion des superficies en ha – Pour les régions agricoles réparties sur plusieurs provinces, addition des superficies par région agricole : o Brabant wallon/Région sablo-limoneuse + Hainaut/Région sablo-limoneuse o Brabant wallon/Région limoneuse + Hainaut/Région limoneuse + Liège/Région limoneuse + Namur/Région limoneuse o Hainaut/Campine hennuyère o Hainaut/Condroz + Liège/ Condroz + Namur/Condroz o Hainaut/Région herbagère (Fagne) + Namur/Région herbagère (Fagne) o Hainaut/Famenne + Liège/Famenne + Luxembourg/Famenne + Namur/Famenne o Liège/Région herbagère (Liège) + Luxembourg/Région herbagère (Liège) o Liège/Haute Ardenne o Luxembourg/Ardenne + Hainaut/Ardenne + Namur/Ardenne o Luxembourg/Région jurassique
Statistiques descriptives concernant les teneurs observées en COT	
Fournisseur des données	UCLouvain - ELI - TECLIM, sur base des données du réseau de laboratoires REQUASUD (licence A09/2016)
Description des données	Statistiques effectuées par région agricole sur les données observées extraites de la BD REQUASUD (sols sous prairies permanentes uniquement) pour les années 2015 à 2019
Traitement des données	Reprises sans traitement des statistiques suivantes, par région agricole : – Moyenne des teneurs en COT – Percentile 25 des teneurs en COT – Percentile 75 des teneurs en COT – Différences de teneurs en COT observées entre les périodes 2004 - 2014 et 2015 - 2019 (uniquement différences statistiquement significatives et supérieures à l'erreur estimée de mesure)

SECTION 4 : LIMITES DES INDICATEURS	
Fiabilité des données	• Le modèle utilisé pour établir la carte des teneurs en COT (indicateur 1) et les superficies agricoles cumulées en fonction des classes de teneurs en COT (indicateur 2) a fait l'objet d'une validation pour la période 2004 - 2014 (Chartin *et al.*, 2016). Les coefficients de corrélation pour les modèles relatifs aux cultures et prairies étaient de 0,51 et 0,5, avec des RMSE (*Root Mean Square Error*) de 0,3 % C et 0,8 % C respectivement. Un léger biais a été observé, sur-estimant les faibles teneurs et sous-estimant les teneurs les plus hautes relatives à chaque occupation de sol. Chartin *et al.*, 2016. Subvention CARBIOSOL III. Carbone organique, biomasse et activité microbienne des sols : vers un indicateur de la qualité des sols en Wallonie. Rapport final. Étude réalisée pour le compte du SPW - DGO3 - DSD. Téléchargeable depuis la fiche d'indicateurs "Matière organique dans les sols agricoles". • Les analyses de terre réalisées par les laboratoires du réseau REQUASUD sont généralement demandées par des personnes privées (exploitants agricoles, gestionnaires, firmes agricoles, ASBL telles que NITRAWAL...). De ce fait, la base de données ne peut être considérée comme un inventaire systématique au niveau de la Wallonie, mais plutôt comme une enquête relative à une partie du territoire agricole, avec des densités d'échantillonage différentes selon les régions agricoles.
Imprécision des données	• Les sols sous prairies temporaires ne font pas partie de l'analyse. Selon les données de la Direction de l'état environnemental (SPW - DEMNA), les prairies temporaires représentaient 3,7 % de la SAU en moyenne sur 2004 - 2014 et 4,8 % de la SAU en moyenne sur 2015 - 2019. Les parcelles sous prairies temporaires apparaissent en blanc sur la carte (indicateur 1), comme les zones non agricoles (forêts, zones urbanisées). • L'erreur sur la mesure des teneurs en COT est de l'ordre de 1,5 gC/kg.

SECTION 5 : ÉLABORATION DE L'ÉTAT ET DE LA TENDANCE	
Paramètre évalué par le pictogramme	Teneur en COT dans les sols agricoles
ÉTAT	
Méthode d'attribution	L'évaluation de l'état se fonde sur la part des superficies de sols agricoles dont les teneurs en COT sont inférieures au seuil de stabilité structurale de 20 gC/kg.
Norme utilisée (si pertinent)	Seuil de stabilité structurale de 20 gC/kg établi sur base des données de la littérature (voir indicateur 1 pour la justification du seuil)
Référence(s) pour cette norme	Voir indicateur 1 pour une liste de références bibliographiques
TENDANCE	
Méthode d'attribution	Différences de teneurs en COT entre deux périodes successives (uniquement différences statistiquement significatives et supérieures à l'erreur estimée de mesure)
Norme utilisée (si pertinent)	/

Référence(s) pour cette norme	/

SECTION 6 : MISES À JOUR	
Date de dernière mise à jour de cette fiche méthodologique	Décembre 2020