

La matière organique dans les sols

> Bas van WESEMAEL et Vincent BRAHY

La minéralisation de la matière organique du sol constitue une source importante d'éléments nutritifs pour les végétaux. Grâce à leurs propriétés d'adsorption, les composés organiques jouent aussi un rôle essentiel dans l'immobilisation et/ou la transformation d'un certain nombre de fertilisants (azote, phosphore...) et de micropolluants (rôle de filtre environnemental). En outre, les matières organiques permettent de renforcer la cohésion entre les particules minérales, ce qui améliore la rétention de l'eau et la structure des sols, tout en réduisant leur sensibilité à l'érosion. La fraction organique du sol représente également un important réservoir de carbone, dont les variations jouent positivement ou négativement sur les niveaux de CO₂ atmosphérique, responsable en grande partie des changements climatiques. Les pratiques agricoles et sylvicoles ont une incidence majeure sur le contenu et le devenir des substances organiques présentes dans les sols. L'essentiel est de maintenir des teneurs suffisantes qui permettent aux sols de remplir leurs multiples fonctions (agricoles, sylvicoles et environnementales). Cependant, les stocks de matières organiques en décomposition ne sont pas toujours suffisamment renouvelés dans le cadre des systèmes de production actuels (cultures intensives ayant recours préférentiellement aux engrais minéraux, monoculture...). La diminution du contenu en matières organiques dans les sols est dès lors devenu un sujet de préoccupation croissante.

LA CONSTITUTION ET LE RÔLE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL

Origine et complexité

Le sol est constitué de quatre composantes principales : les particules minérales, la matière organique (MO)⁽¹⁾, l'eau et l'air. Les proportions volumiques de ces éléments varient essentiellement en fonction du type de sol et de son état d'humidité. On considère en général que l'horizon de surface d'un sol cultivé en région tempérée est composé de 47 % de particules minérales, de 3 % de matière organique et de 50 % de pores.

La MO est composée de différentes fractions :

- de résidus de plantes et de racines en voie de décomposition (MO particulaire) ;
- de micro-organismes et de la micro-faune du sol (agents de décomposition) [voir SOLS 1] ;
- de produits secondaires de l'activité microbienne (fraction soluble et polysaccharides, p.ex.) ;
- de l'humus⁽²⁾ : substance colloïdale qui résulte de la transformation des sous-produits de la décomposition microbienne et des résidus de végétaux. Cette fraction représente la composante stable de la MO, qui peut persister pendant plusieurs années dans les

sols, surtout quand l'humus est intimement lié à la matrice minérale du sol (argile et limon).

Le contenu en MO dans les sols dépend à la fois de la restitution de la biomasse au sol (prairie, culture, forêt), de l'apport de matières exogènes (fumier, boues de stations d'épuration, compost...) et du taux de minéralisation et d'humification de la MO, ces deux paramètres étant fonction, entre autres, de la qualité du substrat organique et de l'environnement physico-chimique du sol (pH, température, humidité...).

Ne pas confondre stock de MO et teneur en MO dans les sols !

Le stock de MO représente la quantité totale de MO présente sur une profondeur de sol et une superficie données. Il peut être exprimé en tonnes/(ha.mètre) par exemple. La teneur en MO représente, quant à elle, le contenu en MO présente dans un poids de sol déterminé. Elle s'exprime couramment en % (g de MO/g de sol sec). Par conséquent, une teneur en MO mesurée dans un sol peut correspondre à des stocks de carbone différents, en fonction de l'épaisseur de sol et de la superficie considérées.

La matière organique du sol remplit de multiples fonctions

La MO joue un rôle essentiel dans le maintien de la qualité du sol, en particulier au niveau de la rétention en eau et de la restitution d'éléments nutritifs aux plantes (azote, phosphore, calcium, magnésium...)⁽³⁾ [voir SOLS 1]. En outre, la MO du sol représente un réservoir important dans le cycle du carbone. Des études récentes ont démontré l'importance de la séquestration du CO₂ atmosphérique dans ce réservoir⁽⁴⁾ : le carbone est d'abord immobilisé dans les tissus des végétaux avant d'être, soit partiellement minéralisé (c'est-à-dire relibéré sous forme de gaz carbonique), soit partiellement stabilisé dans le sol sous forme d'humus. Maintenir ou augmenter la quantité de MO du sol peut donc avoir un effet significatif sur les concentrations de CO₂ atmosphérique, en limitant une partie des émissions de gaz à effet de serre (voir ci-après) [📄 dossier scientifique].

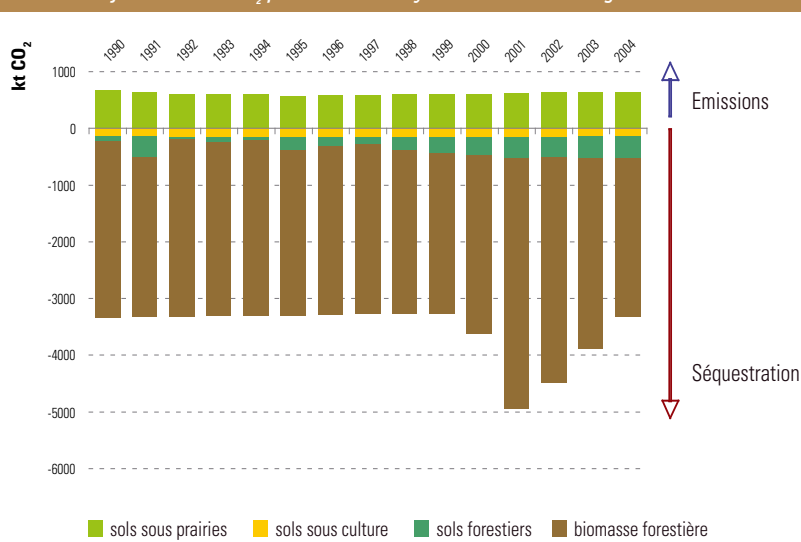
Une des fonctions principales de la MO du sol est de stabiliser les agrégats, ces derniers participant à la formation de pores essentiels au transport de l'eau et de l'air dans les sols. C'est surtout la fraction la plus active de la MO (biomasse microbienne et polysaccharides, p.ex.) qui conditionne la stabilité des agrégats et indirectement, la structure du sol (effet anti-érosion et anti-compaction).

La séquestration de carbone dans les écosystèmes terrestres

Il existe un échange de gaz à effet de serre (GES), en particulier de CO₂, entre la végétation, le sol et l'atmosphère. Au niveau mondial, la différence entre les quantités de CO₂ assimilées par la végétation lors de la photosynthèse (120 Gt C/an) et le carbone émis par la respiration des plantes autotrophes (60 Gt C/an) se solde par une production de matière organique. Celle-ci est décomposée dans le sol en grande partie lors de la respiration des organismes hétérotrophes (55 Gt C/an). En tenant compte de différents processus perturbateurs (feux de forêt, déforestation, aléas climatiques...), on considère qu'environ 0,7 Gt C/an sont réellement séquestrées dans les écosystèmes terrestres (sols et biomasse) [dossier scientifique].

Le Protocole de Kyoto prévoit que cette séquestration de carbone peut être partiellement déduite des émissions anthropiques de GES. Cependant, seules les activités de boisement ou de reboisement peuvent être prises en compte (jusqu'à un certain plafond), ainsi que certaines «activités humaines additionnelles» permettant de piéger le CO₂ dans les sols agricoles. La séquestration du carbone et les émissions de CO₂ issues des écosystèmes terrestres (sols cultivés, sols sous prairies, sols forestiers et biomasse forestière) peuvent être calculées, soit par des mesures directes de flux de CO₂,⁽⁵⁾ soit par la différence de stocks de carbone d'une année à l'autre (méthode des bilans⁽⁶⁾). L'application de cette méthode des bilans donne les résultats suivants pour la Région wallonne :

Evolution des flux annuels de CO₂ provenant des écosystèmes terrestres en Région wallonne



Source : Rapport national des inventaires d'émissions de gaz à effet de serre (1990-2004) ; UCL-GEOG ; FUSAGx (Perrin, 2005)

Entre 1990 et 2004, les modèles indiquent que les écosystèmes wallons ont séquestré entre 2 656 et 4 308 kt CO₂/an. Cela représente moins de 2 % des émissions totales de CO₂ en Région wallonne. Les émissions provenant des sols sous prairies sont largement compensées par les quantités de carbone séquestrées dans les terres arables et surtout dans les forêts (au niveau des sols et de la biomasse). Les quantités piégées de CO₂ ne montrent pas de tendance temporelle, sauf un pic au niveau de la biomasse forestière en 2001-2003 qui s'explique par une capitalisation du bois sur pied (Perrin, 2005). La quantité de carbone dans cette biomasse est estimée en moyenne à 95 t C/ha sur l'ensemble du territoire wallon avec les valeurs les plus élevées pour les forêts de conifères (103 t C/ha) et les plus faibles pour les forêts mixtes (88 t C/ha). La séquestration de carbone dans la biomasse forestière représente donc le puits de CO₂ le plus important, en raison notamment de la forte productivité de la forêt wallonne [voir RES FOR 1 et RES FOR 2].

En ce qui concerne les autres GES, les sols wallons représentent un puits de taille limitée pour le CH₄ (gaz provenant de la décomposition de la matière organique en condition anaérobie (sols hydromorphes) [voir AIR 1]). La capacité d'oxydation du CH₄ dans les sols wallons est en effet marginale sur la période 1990-2004, les sols sous prairies séquestrant en moyenne 0,9 kt CH₄/an, les terres arables 0,6 kt CH₄/an et les sols forestiers environ 2 kt CH₄/an. Les émissions de N₂O provenant du sol représentent, quant à elles, une source importante de GES qui est quasi équivalente, en termes d'équivalent CO₂, à la séquestration nette de carbone dans les sols agricoles et forestiers [dossier scientifique]. Ces émissions d'azote proviennent pour moitié de l'utilisation d'engrais minéraux et pour l'autre moitié, en parts égales, de l'utilisation de fertilisants organiques, des résidus de cultures et de la production d'urine et de fèces lors du pâturage.

Des mesures spécifiques visant à séquestrer du CO₂ dans les écosystèmes terrestres n'existent pas encore en Région wallonne, même si certaines politiques ont un effet déterminant dans ce domaine⁽⁷⁾. Il s'agit principalement de la gestion des effluents d'élevage (PGDA, [voir AGR1]), du code de bonnes pratiques agricoles, du code forestier, des circulaires sur les aménagements en forêt [voir RES FOR 2], de l'agriculture biologique et de certaines mesures agri-environnementales (couverture du sol en hiver, p.ex.).

La fraction organique du sol fournit aussi une grande diversité d'habitats et une source d'énergie pour la faune (lombrics, acariens, nématodes...) et la microflore (champignons, algues, microorganismes...) du sol. La plupart de ces organismes décomposent la MO, maintiennent les propriétés physiques du sol et facilitent, dans certains cas, l'accès des plantes aux nutriments (mycorhizes, rhizobium p.ex.) [voir SOLS 1]. Ils peuvent également intervenir dans la dégradation de certains micropolluants organiques (pesticides, hydrocarbures...), avant que ceux-ci n'atteignent les eaux de surface ou les eaux souterraines [voir SOLS 5]. Les composés organiques interviennent également dans l'inhibition de certains organismes phytopathogènes (effet suppresseur).

ETAT ET ÉVOLUTION DU CONTENU DES SOLS EN MATIÈRES ORGANIQUES

Les stocks de matières organiques dans les sols wallons ont été estimés en 1960, 1990 et 2000 à partir des mesures de carbone organique effectuées dans plusieurs milliers d'échantillons prélevés dans la partie supérieure du sol (entre 0 et 30 cm de profondeur).

Moins de matière organique dans les sols cultivés, surtout dans les régions de grande culture

Les facteurs qui influent sur le contenu en MO des sols sont à la fois naturels et anthropiques. Les facteurs naturels les plus importants sont le climat, le type de roche mère, la topographie et la couverture végétale. Les facteurs anthropiques ont trait surtout à l'utilisation du sol (types de système agraire, aménagements forestiers...) et à la gestion des intrants (engrais, MO exogène...) et des résidus de culture.

Les sols qui présentent les teneurs en MO les plus élevées (plus de 4,2 %) sont localisés essentiellement dans les Fagnes (tourbières) et sur les hauts plateaux ardennais, où la forêt domine et où les conditions climatiques (liées à l'altitude) favorisent l'accumulation de MO. Le climat ardennais présente en effet, par rapport aux autres régions naturelles, des températures moyennes plus faibles et des périodes de gel

La cartographie du contenu en matière organique

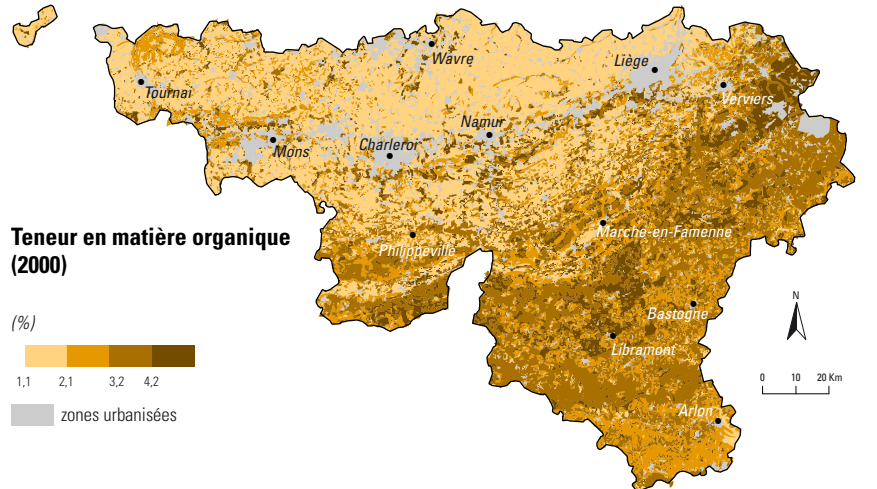
L'estimation du contenu en MO sur l'ensemble du territoire wallon a été réalisée en utilisant une méthode d'extrapolation des teneurs en MO mesurées ponctuellement (analyse d'échantillons géoréférencés). Pour l'année 1960, les mesures proviennent essentiellement de la base de données *Aardewerk*, qui contient les analyses d'environ 13 000 profils de sol échantillonnés dans le cadre de la réalisation de la carte des sols de Belgique. Les teneurs en MO ont ensuite été attribuées à $\pm 100\ 000$ unités cartographiques (*landscape units* : polygone de superficie moyenne de 33 ha) présentant une utilisation du sol homogène et appartenant à une seule association de sol (Letten *et al.*, 2004). La même méthode d'extrapolation a été utilisée pour les années 1990 et 2000, les données provenant toutefois d'autres sources d'information (service pédologique de Belgique, base de données REQUASUD [voir SOLS 1], centres d'information agricoles, DGRNE-DNF...).

plus longues, qui réduisent l'activité biologique et la minéralisation de la MO dans les sols. La majorité des sols agricoles situés dans les régions de grandes cultures (régions limoneuse et sablo-limoneuse) possèdent, quant à eux, les quantités de MO les plus faibles (comprises entre 1,1 et 2,2 %). [↗ CARTE SOLS 2-1]

Le taux moyen de MO dans les sols est plus élevé sous forêts (4,1 %), que sous prairies (3,2 %) ou sous cultures (2 %). Trois grands types de facteurs expliquent les différences observées :

- une des caractéristiques principales qui influence le contenu en MO est la texture du sol. Tout autre facteur étant égal, les sols cultivés argileux présentent un taux de MO plus élevé que les sols sableux. Ceci explique par exemple pourquoi les sols de la Lorraine belge développés dans des grès sont moins bien pourvus en MO que ceux développés dans des calcaires ou des marnes ;
- la teneur en MO est en général positivement corrélée avec le taux d'humidité des sols et négativement avec leur température. Ces relations expliquent dès lors en grande partie l'augmentation du contenu des sols en MO selon un gradient pédoclimatique, de la région limoneuse vers les plateaux ardennais caractérisés par un climat plus froid et plus humide ;
- l'utilisation du sol est un autre facteur déterminant. D'une part, la restitution de

CARTE SOLS 2-1



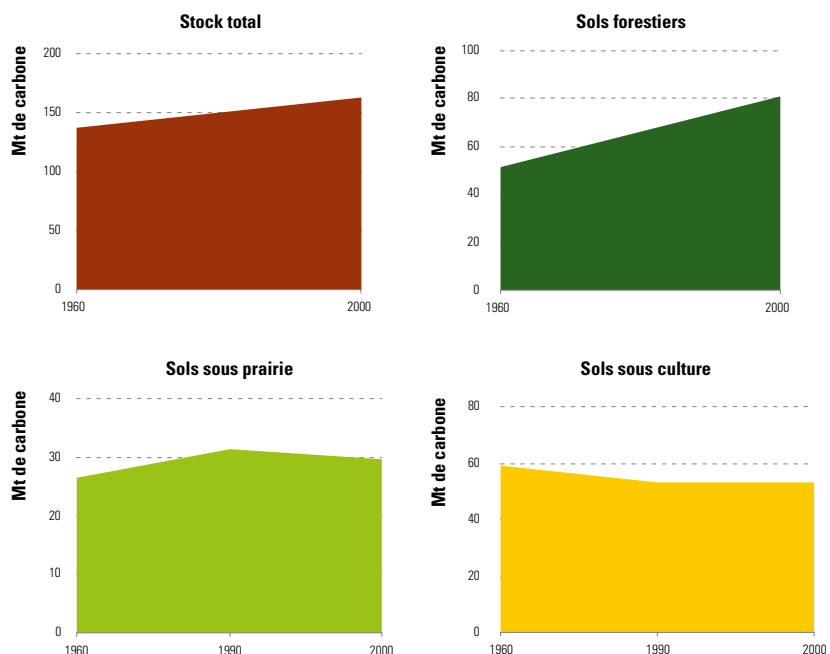
Source : Projet METAGE (SPF, UCL, KULeuven, FUSAGx)

matières organiques au sol est plus faible pour une culture⁽⁸⁾ par rapport à une forêt (retombées foliaires) et à une prairie (densité racinaire importante). D'autre part, certaines techniques culturales (comme le labour) accélèrent la minéralisation de la MO, en aérant le sol.

Les teneurs en matières organiques dans les sols forestiers ont augmenté de 50 % depuis 1960

Le stock total de MO dans les sols en Région wallonne (sur une profondeur de 1 mètre) est passé de 137 Mt à 163 Mt entre 1960 et 2000. [↗ FIG SOLS 2-1]

FIG SOLS 2-1 Stock de matière organique dans les sols en Région wallonne (sur une profondeur de 0 à 1 mètre), selon le type d'occupation du sol



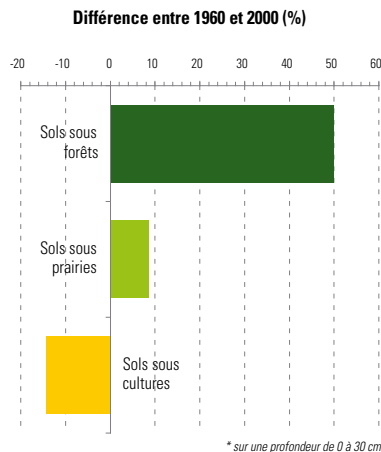
Source : Projet METAGE (SPF, UCL, KULeuven, FUSAGx)

Cette évolution n'est cependant pas générale sur l'ensemble du territoire wallon et doit être relativisée en fonction du type d'occupation du sol (forêts, prairies, cultures). En effet, environ 70 % de la superficie de la région limoneuse sont occupés par des sols dont les réserves en matières organiques ont diminué entre 1960 et 2000. A l'opposé, plus de 80 % de la superficie des régions ardennaises (Ardenne et Haute Ardenne) et de la Lorraine belge sont occupés par des sols dont les teneurs en matières organiques se sont maintenues ou ont augmenté entre 1960 et 2000. La situation est plus contrastée dans le Condroz et la Famenne.

[> CARTE SOLS 2-2]

En valeur relative, les sols forestiers ont vu augmenter leur teneur en MO d'environ 50 % depuis 1960, alors que les teneurs dans les sols cultivés ont diminué de 16 %.

FIG SOLS 2-2 Evolution de la teneur en matière organique dans les sols* en Région wallonne entre 1960 et 2000



Source : Projet METAGE (SPF, UCL, KULeuven, FUSAGx)

Explications probables de l'évolution des teneurs en MO dans les sols agricoles

La production totale de fumier et de lisier a peu évolué dans la plupart des régions agricoles entre 1958 et 2002⁽⁹⁾, mais la conversion des prairies en terres arables, surtout occupées par des cultures fourragères [voir AGR], s'est soldée par une augmentation de la densité du cheptel sur les prairies et une dilution des applications d'effluents d'élevage sur les cultures [> FIG SOLS 2-3]. Ceci peut expliquer en partie l'augmentation des teneurs en MO dans les sols sous prairie entre 1960 et 2000 et la diminution des teneurs dans les sols sous cultures pendant cette même période.

Entre 1990 et 2000, les tendances sont inversées : on observe une diminution des stocks de MO dans les sols sous prairies et une légère augmentation dans les terres arables [> FIG SOLS 2-1]. Le changement d'occupation des sols agricoles pendant cette période est extrêmement limité (-4,4 % pour les sols sous prairies), ce qui ne permet pas d'expliquer l'évolution observée des stocks (Letten *et al.*, 2005). D'autres facteurs sont probablement à prendre en considération :

- l'adoption d'une réglementation plus stricte en ce qui concerne les épandages d'effluents d'élevage dans le cadre de la gestion durable de l'azote (PGDA [voir AGR]) peut partiellement expliquer la diminution de la teneur en MO dans les sols sous prairies ;
- les pratiques agri-environnementales qui augmentent le taux de couverture des sols et donc le retour des résidus végétaux sur les terres arables expliquent probablement la légère augmentation des teneurs en MO dans les sols cultivés ;
- l'évolution récente des pratiques culturales vers un travail réduit du sol (sans labour avec semis direct, p.ex.) permet de maintenir, voire d'augmenter sensiblement les teneurs en MO dans les sols cultivés.

L'érosion des sols est également un facteur déterminant car elle induit une perte et une redistribution de la MO (majoritairement au sein même de la parcelle⁽¹⁰⁾). Les zones de cultures où les pertes en MO sont les plus importantes correspondent aux zones où les

CARTE SOLS 2-2

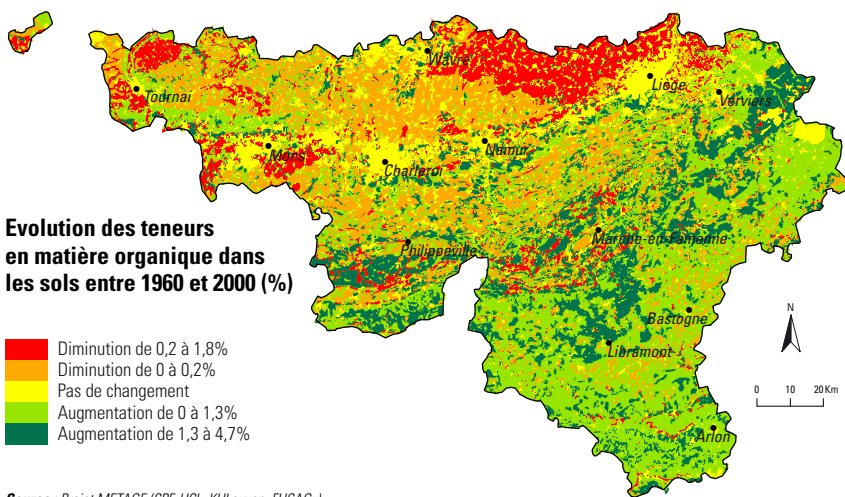
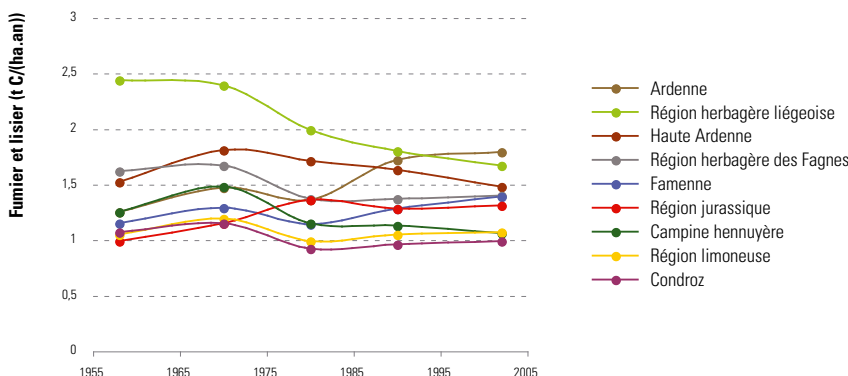


FIG SOLS 2-3 Application de fumier et de lisier en Région wallonne



perdes en terre par érosion hydrique sont parmi les plus élevées [voir SOLS 3].

Explications probables de l'augmentation des teneurs en MO dans les sols forestiers

L'augmentation de 50 % des teneurs en MO dans les sols forestiers entre 1960 et 2000 peut s'expliquer par le fait qu'une part importante de la forêt wallonne est encore assez jeune et productive, ce qui implique que les sources de matières organiques dans les sols (litières et racines) augmentent en même temps que la production de biomasse [voir RES FOR 1]. Une autre explication réside dans l'extensification de la gestion forestière⁽¹¹⁾ qui augmente le retour des résidus de récolte.

Comment la Région wallonne se situe-t-elle par rapport aux autres régions et pays européens ?

A l'échelle européenne, la teneur en MO dans les sols diminue d'une part, du nord au sud suivant un gradient croissant de température et d'autre part, d'ouest en est suivant un gradient décroissant d'humidité dans le sol [☞ dossier scientifique]. Selon les dernières données disponibles, 40 % de l'ensemble des sols européens possèdent une teneur en MO intermédiaire (comprise entre 3,4 et 10,2 %) et 45 % une teneur en MO faible (1,7 - 3,4 %) voire très faible (< 1,7 %)⁽¹²⁾. La situation est particulièrement préoccupante dans les régions méditerranéennes où environ 75 % des superficies analysées présentent des teneurs en MO inférieures à 3,4 % (Bureau européen des sols⁽¹³⁾, 2003). Les sols les plus riches en MO sont surtout situés au Royaume Uni et dans les pays scandinaves, où les zones de tourbières avec des teneurs en MO de 43 à 60 % sont relativement fréquentes (Jones *et al.*, 2005). En Région wallonne, la plupart des sols des régions limoneuse et sablo-limoneuse se situent dans les classes de teneur en MO les plus faibles [↘ CARTE SOLS 2-1].

Grâce à la densité des observations effectuées sur plusieurs périodes, la Belgique est un des rares pays européens qui dispose de données mesurées permettant de détecter une évolution du contenu des sols en MO. L'évolution du statut organique des sols sur la période 1960-1990 est plus prononcée en Flandre qu'en Wallonie (Letpens *et al.*, 2005). Les teneurs en MO dans les sols sous prairie ont en effet augmenté de 31 % en Région flamande, pour seulement 18 % en Région wallonne. La différence est également marquée pour les sols cultivés (+ 14 % en Région flamande versus - 16 % en Région wallonne). Ces différences s'expliquent probablement par une augmentation des applications d'effluents d'élevage sur les sols agricoles en Flandre, suite à la croissance du cheptel.

Quels sont les risques de carences en matière organique ?

Les teneurs en MO dépendent en général des principales propriétés des sols (capacité d'échange cationique, rétention d'eau, stabilité des agrégats...). Les relations entre paramètres sont souvent complexes et rarement linéaires. Toutefois, Kemper et Koch (1966) ont démontré qu'une teneur de 2 % en MO pouvait être considérée comme une valeur seuil en-dessous de laquelle les agrégats deviennent instables, augmentant ainsi les risques de dégradation (érosion, désertification...). Depuis lors, cette valeur seuil est utilisée comme valeur critique dans de nombreuses publications scientifiques (Van Camp *et al.*, 2004). Une carte de risque d'atteindre ce seuil critique a été dressée à l'échelle de la Belgique, en tenant compte des zones carencées en MO en 2000 et des zones non carencées, mais dont les sols avaient connu une diminution de leur teneur en MO entre 1960 et 2000. A pratiques agricoles et sylvicoles inchangées par rapport à 2000, il est fort probable que la majorité des sols situés au nord du sillon Sambre-et-Meuse connaîtront (ou continueront à connaître) des risques de dégradation. [↘ CARTE SOLS 2-3]

C'est surtout vrai dans le Condroz et dans les régions limoneuse et sablo-limoneuse où les teneurs en MO dans les sols cultivés sont déjà relativement faibles. La situation en Ardenne et en Lorraine belge est beaucoup moins préoccupante, étant donné que ces régions sont

largement occupées par des sols forestiers et des sols sous prairie, où les teneurs en MO sont en augmentation.

Un nouvel échantillonnage réalisé en 2005 à partir de ± 400 profils pédologiques, ayant déjà fait l'objet d'une analyse en 1955, confirme l'état critique des sols cultivés du Condroz et des régions limoneuse et sablo-limoneuse. Le pourcentage de profils avec une teneur en MO inférieure à 2 % est en effet passé dans ces régions de 30 % en 1955 à 63 % en 2005. La toute grande majorité des profils sous prairies (93 à 95 %) présentent, quant à eux, des teneurs en MO supérieures à 2 % (Goidts et van Wesemael, soumis). [↘ Fig SOLS 2-4]

A court terme, les stocks de MO seraient peu sensibles à l'évolution du climat et des pratiques agricoles

Deux scénarii climatiques et deux scénarii de gestion agricole ont été utilisés pour prédire le contenu en matière organique dans les sols wallons à l'horizon 2012 [☞ dossier scientifique]. Le premier scénario climatique envisage une utilisation accrue de carburants fossiles et le second, une réduction de l'utilisation des ressources fossiles, ainsi que le développement de technologies propres. Les scénarii de gestion agricole envisagent d'une part, une utilisation d'engrais organiques (fumier et lisier) identique à celle de 2002 et d'autre part, une utilisation réduite de ces effluents, de manière à ce que les taux de liaison au sol de

CARTE SOLS 2-3

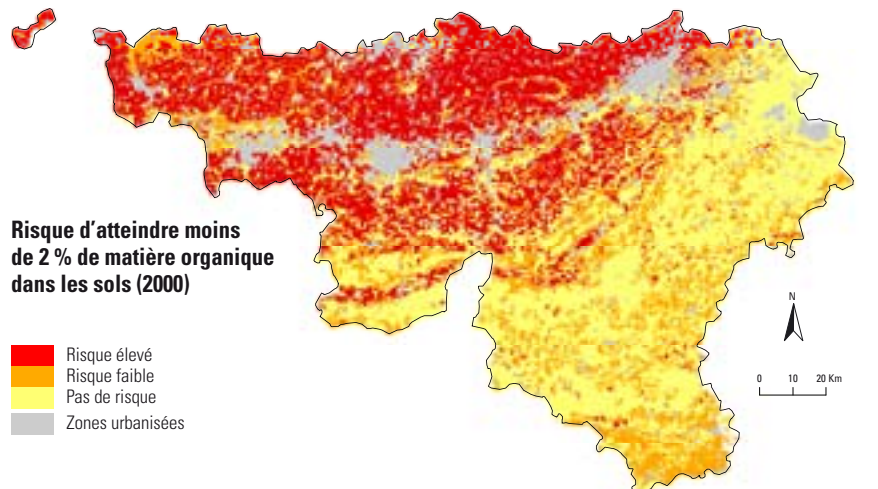
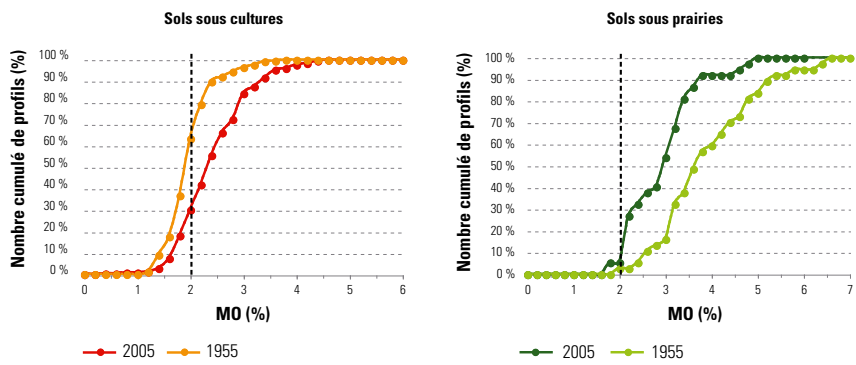


FIG SOLS 2-4 Distribution cumulée des profils pédologiques échantillonnés en 1955 et en 2005 dans le Condroz et dans les régions limoneuse et sablo-limoneuse, en fonction de leur teneur en matière organique



Source : UCL-GEORG

l'ensemble des exploitations agricoles en Région wallonne soient inférieurs à 1⁽¹⁴⁾ [voir AGR]. Les résultats de la modélisation indiquent que l'évolution du taux de MO dans les sols est peu sensible à l'évolution du climat et des apports d'engrais organiques (selon les scénarii proposés), en raison notamment de la courte période considérée (10 ans). Néanmoins, les modèles prévoient, tous scénarii confondus, une augmentation, en terme relatif, des teneurs en MO de 1,5 % dans les sols sous prairies et une diminution de 16,4 % dans les sols sous cultures (entre 2000 et 2012). Ces projections ne font que confirmer l'augmentation des risques de dégradation, en particulier pour les sols cultivés où les teneurs en MO sont inférieures au seuil critique de 2 %.

LES POTENTIELS DE VALORISATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

L'apport de matières organiques représentait jadis la principale source d'éléments nutritifs dans les sols agricoles. Avec l'évolution des systèmes de production, la MO a progressivement laissé la place aux engrais minéraux, alors qu'elle remplit aussi d'autres fonctions essentielles (maintien de la structure du sol, rétention d'eau, effet anti-érosif..., voir ci-avant). La diminution des teneurs en MO observée dans la plupart des sols cultivés en Région wallonne peut donc induire des effets potentiellement négatifs en termes de gestion durable de ces agro-écosystèmes.

Face à ce constat, différentes initiatives ont été prises au niveau européen et wallon pour maintenir ou améliorer le statut organique des sols. Au niveau agricole, il s'agit principalement :

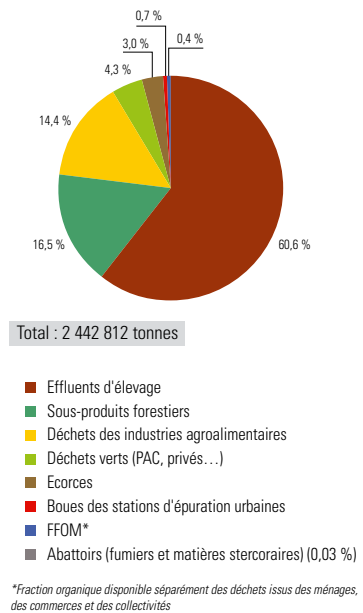
- du respect des règles de conditionnalité visant le maintien des niveaux de MO du sol⁽¹⁵⁾ et des terres consacrées aux pâturages permanents [voir AGR] ;
- de la mise en œuvre de certaines mesures agri-environnementales (tournières enherbées, couverture hivernale du sol...) ;
- du soutien au développement de l'agriculture biologique (utilisation exclusive d'engrais organiques (compostés)) [voir AGR] ;
- de la possibilité d'épandre des matières organiques exogènes sur les sols (boues de station d'épuration, composts, digestats, déchets des industries alimentaires...), moyennant le respect de conditions particulières (octroi de certificats d'utilisation⁽¹⁶⁾, analyses de sols obligatoires pour vérifier le respect de certaines normes...) [voir DEC 2 et SOLS 4].

En ce qui concerne les sols forestiers, il n'y a pas d'obligation légale de préserver les stocks de MO dans les sols⁽¹⁷⁾. Signalons toutefois que les normes de gestion visant à favoriser la biodiversité dans les bois soumis au régime forestier recommandent de ne pas incinérer et de ne pas exporter les rémanents d'exploitation [voir RESFOR 1]. Ces pratiques sont couramment appliquées en forêt wallonne depuis quelques années.

La valorisation des MO existantes ne permet pas de couvrir les besoins des sols agricoles

Selon une étude récente (Culot, 2005), la production annuelle de matières organiques biodégradables en Région wallonne (déchets organiques divers, boues de stations d'épuration urbaines, effluents d'élevage...) serait limitée à environ 2,5 millions de tonnes de matière sèche (MS). [voir FIG SOLS 2-5]

FIG SOLS 2-5 Estimation des gisements de matières organiques biodégradables en Région wallonne (année 2000)



Source : FUSAGx-LEMEE

En première estimation, l'apport de ces MO ne comblerait que 22 à 45 % des pertes d'humus annuelles par minéralisation dans les sols de cultures et de prairies⁽¹⁹⁾. A terme, il ne faut donc pas s'attendre à une augmentation généralisée des stocks de MO dans les sols agricoles, même si le transfert de MO vers les sols les plus carencés est toujours envisageable. Dans les sols cultivés les moins dégradés, il convient surtout de maintenir les niveaux de MO existants, tout en favorisant la séquestration du carbone dans les sols, à travers la formation d'humus stable. Ceci est possible en adoptant ou en modifiant certaines pratiques culturales (restitution au sol des résidus de culture,

modification des rotations, introduction de cultures intermédiaires et intercalaires, engrais verts, apport de composts, labour adapté, techniques culturales sans labour...), ainsi que certaines techniques d'élevage intensives (introduction de pailles riches en lignine dans les lisiers des porcheries industrielles, p.ex.).

Dans le contexte des changements climatiques, Freibauer *et al.* (2004) ont identifié, sur base d'une étude bibliographique, les principaux types de gestion qui favorisent la séquestration du carbone dans les sols cultivés. Les mesures les plus prometteuses seraient, par ordre décroissant d'importance, l'épandage d'amendements organiques, l'introduction de cultures pérennes (prairies, cultures d'arbres) sur les terres arables en jachère, la pratique de l'agriculture biologique, la remontée des nappes dans les tourbières et le semis direct ou les techniques culturales sans labour.

Enjeux et perspectives

La MO du sol joue un rôle essentiel dans la durabilité des systèmes de production agricole et sylvicole, non seulement en raison des éléments nutritifs qu'elle contient, mais aussi de par ses multiples autres fonctions : rétention en eau, stabilisation de la structure du sol (effets anti-érosif et anti-compaction), rétention et dégradation de certains micropolluants, séquestration du carbone...

Alors que les sols forestiers et les sols sous prairie enregistrent une augmentation de leur teneur en MO au cours de ces quarante dernières années, la situation pour les sols cultivés est plutôt préoccupante (- 16 % entre 1960 et 2000), en particulier dans les régions de grandes cultures (Condroz, régions limoneuse et sablo-limoneuse), où la plupart des sols présentent des teneurs en MO sous le seuil de carence (2 %). Étant donné que le taux d'autoapprovisionnement en MO est assez limité en Région wallonne et que les mesures proposées à l'heure actuelle sont peu satisfaisantes, il conviendrait, dans un premier temps, d'épandre en priorité des quantités supplémentaires de MO de bonne qualité sur les sols cultivés les plus carencés. Ceci peut se faire notamment, en renforçant les échanges d'effluents organiques (fumiers) entre exploitations agricoles [voir AGR] et en augmentant le potentiel de traitement et de valorisation des MO résiduelles issues des ménages (déchets verts, déchets de cuisine), des industries alimentaires et des stations d'épuration [voir DEC 1 et DEC 2]. Il faudra toutefois veiller à ce que ces apports additionnels ne favorisent pas le lessivage des nitrates⁽²⁰⁾ et l'accumulation dans les sols de certains micropolluants (ETM, MPO...) [voir SOLS 4] et/ou d'agents pathogènes. Le potentiel de valorisation des MO est important en Région wallonne, mais des efforts restent encore à faire en termes de sécurisation des filières et de garantie de qualité pour qu'il puisse être exploité à sa juste mesure.

En outre, le stockage de carbone organique dans les sols étant beaucoup plus lent que son déstockage⁽²¹⁾, il est essentiel de maintenir et de favoriser les usages et les pratiques qui permettent la formation d'humus stable (comme la conservation des prairies et des forêts, p.ex.)

et ce, bien avant d'envisager une augmentation systématique des teneurs en MO dans les sols. Il convient dès lors de renforcer les pratiques existantes qui vont dans ce sens, en particulier au niveau de la gestion des rémanents en forêt, du respect des règles de conditionnalité les plus pertinentes, du soutien à l'agriculture biologique et de l'application de certaines mesures agri-environnementales. Cet objectif passe également par une gestion maîtrisée des épandages à l'échelle parcellaire et la mise en place d'une politique de sensibilisation, d'information et de promotion des MO auprès des utilisateurs des sols.

Afin de réaliser un bilan environnemental global, il est nécessaire d'évaluer le devenir à moyen et à long terme du carbone dans les sols (en termes quantitatif et qualitatif) et les effets des pratiques visant à accroître la séquestration du carbone⁽²²⁾, sur la protection des sols (en particulier l'érosion), sur la qualité de l'air et de l'eau (nitrate), ainsi que sur la protection de la chaîne alimentaire (notamment dans le cas de la valorisation des boues et des déchets organiques, via une procédure de maîtrise des risques). Il conviendra également d'évaluer les effets des changements climatiques sur l'humification et la minéralisation de la matière organique du sol.

Signalons enfin que la variabilité spatiale des teneurs en MO dans les sols est en général très importante, ce qui complique l'évaluation des effets des mesures de gestion agricole sur l'évolution des stocks de MO. Les techniques d'analyse actuelles ne permettent pas de traiter un très grand nombre d'échantillons à un coût raisonnable. Dès lors, de nouvelles techniques d'analyses hyperspectrales⁽²³⁾ ont été mises au point afin de permettre l'analyse d'un grand nombre d'échantillons en temps réel (Stevens *et al.*, 2006). L'application de ces nouvelles technologies à partir de mesures aéroportées ou manuelles est en cours de développement en Région wallonne, des zones pilotes en Ardenne et en Région jurassique ayant déjà été examinées en 2003 et 2005. Cette initiative, couplée à un re-échantillonnage systématique des sols, permettra, en outre, de compléter le réseau de données historiques existant en Région wallonne.

Remerciements

Nous remercions pour leur collaboration et/ou lecture :

Charles BIELDERS, Monique CARNOL, Jacques DEFOUX, Jean-Pierre DESTAIN, Vincent GUISSARD, Catherine HALLET, Jean-Paul LEDANT, Béatrice LETEINTURIER, Robert OGER, Dominique PERRIN et Bernard TYCHON

Sources principales

☉ VAN WESEMAEL, B. 2006. *Les teneurs en matières organiques dans les sols en Région wallonne*. Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon. Département de Géographie, Université catholique de Louvain. Louvain-La-Neuve. 12 p.

☉ VAN WESEMAEL, B. 2006. *La séquestration et les émissions de gaz à effet de serre provenant des écosystèmes terrestres en Région wallonne*. Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon. Département de Géographie, Université catholique de Louvain. Louvain-La-Neuve. 19 p.

BELLAMY, P.H., LOVELAND, P.J., BRADLEY, R.I., LARK, R.M. & KIRK, G.J.D. 2005. Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003. *Nature*. 437. 245-248.

CULOT, M. 2005. *Filières de valorisation agricole des matières organiques*. Laboratoire d'écologie microbienne et d'épuration des eaux. Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux. 73 p.

FREIBAUER, A., ROUNSEVELL, M. D. A., SMITH, P. & VERHAGEN, J. 2004. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma*. 122. 1-23.

GOIDTS, E. & VAN WESEMAEL, B. (soumis). Regional assessment of the changes in soil organic carbon stocks of agricultural soils in southern Belgium between 1955 and 2005.

JONES, R.J.A., HIEDERRER, R., RUSCO, E. & MONTANARELLA, L. 2005. Estimating organic carbon in the soils of Europe for policy support. *European Journal of Soil Science*. 56. 655-671.

KEMPER, W.D. & KOCH, E.J. 1966. Aggregate stability of soils from Western US and Canada. *USDA Tech. Bull.* 1355. US Gov. Print Office, Washington DC.

LETTENS, S., VAN ORSHOVEN, J., VAN WESEMAEL, B. and MUYS, B. 2004. Soil organic and inorganic carbon content of landscape units in Belgium for 1950 – 1970. *Soil Use and Management*. 20. 40-47.

LETTENS, S., VAN ORSHOVEN, J., VAN WESEMAEL, B., MUYS, B. & PERRIN, D. 2005. Soil organic carbon changes in landscape units of Belgium between 1960 and 2000 with reference to 1990. *Global Change Biology*. 11. 2128-2140.

PERRIN, D. 2005. *Flux de respiration de sols forestiers: analyse et modélisation à différentes échelles spatiales et temporelles*. Thèse de doctorat, Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux.

STEVENS, A., VAN WESEMAEL, B., VANDENSCHRIK, G., TOURE, S. & TYCHON, B. 2006. Detection of Carbon Stock Change in Agricultural Soils Using Spectroscopic Techniques. *Soil Science Society of America Journal*. 70. 844-850.

TISDALL, J.M. & OADES, J.M. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*. 33. 141-163.

VAN-CAMP, L., BUJARRABAL, B., GENTILE, A-R., JONES, R.J.A., MONTANARELLA, L., OLAZABAL, C. & SELVARADJOU, S-K. 2004. *Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection*. EUR 21319 EN/3, 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

- (1) Le taux de MO du sol est généralement calculé à partir du taux de carbone organique en multipliant ce dernier par 1,724.
- (2) L'humus contient en général 50 à 58 % de carbone, 4 à 5 % d'azote, 2 % de phosphore et 1 % de soufre.
- (3) Il faut souligner que dans certains cas, l'accumulation de MO peut donner lieu à un surplus d'azote (non prélevé par les végétaux) surtout dans les zones d'élevage intensif, avec toutes les conséquences que cela peut induire en terme de pollution des eaux par les nitrates [voir SOLS 4].
- (4) Environ 1 gigatonne de carbone est stockée dans la matière organique du sol chaque année au niveau mondial. Il s'agit d'une quantité non négligeable en comparaison des 8 gigatonnes de carbone anthropogénique émis dans l'atmosphère annuellement. Ceci souligne l'importance de la MO du sol dans le cadre de la lutte contre les changements climatiques.
- (5) Des mesures expérimentales de flux de CO₂ sont réalisées en Région wallonne dans la forêt domaniale de Vielsalm (FUSAGx, Perrin (2005)), dans le cadre notamment du réseau européen Carboeurope (<http://www.carboeurope.org/>).
- (6) Cette méthode ne tient pas compte de la migration éventuelle de carbone dissout en profondeur, ni des effets d'accumulation ou de perte de carbone suite à un changement de l'utilisation du sol.
- (7) Les mesures de gestion agricole et agri-environnementale prévues en 2010 en Région wallonne permettraient une séquestration supplémentaire d'environ 90 kt éq. CO₂/an dans les terres arables (☉ dossier scientifique).
- (8) En particulier depuis la généralisation de la fumure minérale.
- (9) Il faut noter que la stabilisation des apports totaux de

- fumier et de lisier correspond à une augmentation de la production de lisier au détriment de la production de fumier, suite à une dissociation des activités d'élevage et de culture. Cette évolution a probablement une influence sur le taux de MO, étant donné que les apports de lisier ne favorisent pas la formation d'humus stable dans les sols.
- (10) L'inventaire régional du contenu des sols en MO ne tient actuellement pas compte de la variation intra-parcellaire des teneurs en MO. Il ne peut dès lors pas mettre en évidence l'effet réel de l'érosion hydrique sur ce paramètre, étant donné que les échantillons peuvent être prélevés aussi bien en zones érodées qu'en zones de sédimentation.
- (11) A travers notamment l'abandon progressif du régime de taillis, qui impliquait l'extraction d'une plus grande part de la biomasse produite et des mises à nu du sol plus fréquentes. Ces dernières correspondent à des périodes d'intense minéralisation de la MO, en particulier si les résidus de la récolte sont brûlés.
- (12) Les sols qui présentent une teneur en MO inférieure à 1,7 % sont en général considérés par les agronomes comme étant dans un stade de prédésertification.
- (13) <http://eussoils.jrc.it/>
- (14) Afin de respecter les prescriptions contenues dans le programme de gestion durable de l'azote en agriculture (PGDA).
- (15) via l'interdiction du brûlage des pailles, des chaumes et autres résidus de récolte. Voir l'arrêté ministériel du 7 juillet 2006 portant application de la conditionnalité prévue par l'article 27 de l'arrêté du Gouvernement wallon du 23 février 2006 mettant en place les régimes de soutien direct dans le cadre de la politique agricole commune, et relatif aux critères et aux montants de

- pénalités en cas de certaines irrégularités constatées en matière de régimes de soutien direct dans le cadre de la politique agricole commune (M.B. du 13/10/2006). On peut s'interroger sur la pertinence et les effets réels de cette mesure, étant donné que ces pratiques ne sont quasiment plus usitées en Région wallonne.
- (16) Un arrêté du Gouvernement wallon portant réglementation de l'utilisation sur ou dans les sols des composts et des digestats est actuellement en préparation.
- (17) A l'exception peut-être de la protection et la conservation des quelques tourbières encore existantes en Région wallonne [voir FFB6].
- (18) Normes de gestion pour favoriser la biodiversité dans les bois soumis au régime forestier. Complément à la circulaire n° 2619 du 22 septembre 1997 relative aux aménagements dans les bois soumis au régime forestier, p.51.
- (19) La valorisation de ces matières organiques ne permettrait pas non plus de couvrir l'ensemble des besoins en azote organique.
- (20) Ce qui signifie qu'il faut favoriser l'épandage de MO présentatnt un rapport carbone/azote (C/N) élevé. En outre, l'azote présent dans un compost mûr est moins disponible que dans une matière organique non compostée, ce qui limite les pertes d'azote par percolation, ruissellement et volatilisation.
- (21) La phase de déstockage n'excède généralement pas quelques dizaines d'années.
- (22) parmi lesquelles il faut aussi considérer les changements d'occupation des sols (afforestation, conversion des prairies permanentes en cultures...)
- (23) basées sur la réflectance dans l'infrarouge.