La fertilité et la biodiversité dans les sols

> Partim Fertilité : Valérie GENOT, Gilles COLINET et Laurent BOCK
avec la collaboration de Vincent BRAHY
Partim Biodiversité : Henri ANDRE et Emmanuel MAES

Se nourrissant de plantes et d'animaux, les sociétés humaines sont largement dépendantes des sols car ceux-ci, au-delà de leur rôle comme support de la production végétale, produisent, contiennent et accumulent la plupart des éléments nutritifs indispensables à la vie. La gestion durable des sols agricoles et forestiers implique une évaluation continue de leur état à travers la mesure d'indicateurs de la fertilité. Cette dernière est perçue comme l'aptitude du sol à assurer, de façon durable, la production de biomasse végétale. Elle résulte de facteurs physiques, chimiques et biologiques qui dépendent des conditions du milieu (matériau parental, climat…) mais aussi et surtout de la conduite des activités humaines, en particulier des pratiques agricoles et sylvicoles. Afin d'éviter des pertes vers les milieux aquatiques, ces pratiques doivent viser à satisfaire les besoins des végétaux, tout en veillant à ne pas dépasser la capacité des sols à retenir les éléments nutritifs.
Les sols abritent aussi une part importante de la biodiversité terrestre. Les organismes du sol interviennent dans de nombreuses transformations biogéochimiques, de la fixation de l'azote atmosphérique à la décomposition des matières organiques, contribuant ainsi au développement des sols et à l'établissement d'un certain niveau de fertilité.

LA FERTILITÉ DES SOLS ET LES BESOINS DES VÉGÉTAUX

En matière de fertilité, le potentiel de production d'une parcelle ou d'une station, pour une culture ou une essence forestière donnée, est fonction des propriétés du sol (fertilité intrinsèque) mais également des caractéristiques climatiques. Climat et sols concourent à un environnement *pédoclimatique*, c'est-à-dire à un ensemble de conditions favorables ou contraignantes pour la croissance végétale. La fertilité englobe classiquement trois types de composantes interdépendantes (Mérelle, 1998) :

- la fertilité *physique* détermine les conditions de germination des semences, de colonisation efficace des racines, d'aération et d'économie en eau et ce, à travers une structure meuble, perméable et aérée du sol, retenant l'eau et en évacuant les excès ;
- la fertilité *chimique* a trait à la nutrition minérale des végétaux via les concepts de biodisponibilité des éléments, de carences, de toxicités et d'équilibres ;
- la fertilité *biologique* est liée à l'activité biologique dont dépendent les transferts des nutriments du sol à la plante ainsi que la minéralisation des matières organiques apportées.

Cette synthèse traite plus particulièrement de la fertilité chimique des sols. Les autres notions sont envisagées dans d'autres problématiques [voir SOLS 2 et SOLS 6].

Les facteurs régulant la disponibilité des éléments nutritifs dans les sols

Les éléments nutritifs sont présents dans les sols sous différentes formes (cations, anions, complexes…) et à des concentrations variables, en fonction par exemple de la nature des sols et du type de fertilisation pratiquée. Chaque élément joue un rôle spécifique dans la croissance des végétaux. [↘ Tab SOLS 1-1]

La plupart de ces éléments sont indispensables pour les organismes qui consomment des végétaux, certains d'entre eux (comme le Ca) pouvant jouer un rôle essentiel au niveau de la faune du sol (calcium). Seule une partie de la quantité d'éléments nutritifs présents dans les sols est réellement disponible pour la plante. En effet, la matière organique et les minéraux du sol doivent être transformés (respectivement par minéralisation et dissolution) pour que leurs éléments constitutifs soient assimilables par les végétaux.

Quelques notions utiles autour de l'utilisation et de la qualité des sols

Evaluer un sol, c'est interpréter ses propriétés pour en rechercher les potentialités et les facteurs limitants afin de répondre à un ensemble de questions concernant son utilisation. Cette évaluation doit être réalisée en tenant compte d'une série de caractéristiques :

- l'*aptitude* d'un sol est sa capacité à satisfaire des conditions d'utilisation déterminées ;
- la *vocation* d'un sol exprime son utilité pour un type d'usages (sol destiné à la prairie, p.ex.) ;
- la *valeur* d'un sol fait référence à sa valeur foncière ;
- les *contraintes* d'un sol témoignent des caractéristiques qui ont un effet négatif sur son utilisation et donc sur son aptitude. Les contraintes peuvent être pédologiques (texture, drainage, charge caillouteuse, profondeur du sol, nature du substrat…) ou topographiques (pente, exposition…). Certaines contraintes peuvent être levées par une gestion particulière des sols (drainage, fertilisation…) tandis que d'autres sont permanentes ;
- la *potentialité* d'un sol est sa capacité à supporter un service ou à remplir une fonction ;
- la *sensibilité* d'un sol comprend l'ensemble des risques liés à ses caractéristiques et à son environnement vis-à-vis d'une action déterminée. La sensibilité du sol peut être de nature physique (érosion, perte de structure, battance…), biologique (réduction des activités biologiques) et/ou chimique avec dans ce cas, des risques de contamination diffuse et locale des eaux par le nitrate, le phosphore ou encore certains produits phytosanitaires [voir SOLS 4 et SOLS 5] ;
- la *qualité* des sols, selon des concepts plus récents, est une notion proche de celle de la potentialité, mais qui tente de concilier les aspects agronomiques avec les fonctions environnementales et socio-économiques des sols. Elle se définit comme la capacité des sols à remplir leurs différentes fonctions à l'interface avec des écosystèmes naturels ou anthropisés. Le terme de *santé* des sols est d'ailleurs parfois utilisé dans un sens comparable à celui de qualité des sols.

TAB SOLS 1-1 *Rôle des principaux éléments nutritifs dans la croissance végétale*

	Symbole	Elément	Action
Eléments majeurs	C	Carbone	Élément constitutif de la matière organique, assimilé à partir de l'atmosphère sous forme de CO_2 (photosynthèse par les végétaux, assimilation pour certains micro-organismes).
	N	Azote	Élément constitutif des organismes vivants, assimilé par les végétaux essentiellement sous forme de nitrate (NO_3^-) ou d'ammonium (NH_4^+) à partir de la solution du sol. Un excès de N dans le sol (consommation de luxe) peut entraîner une concentration en nitrate trop importante dans les plantes et un risque de lixiviation et de contamination des eaux [voir EAU 2].
	P	Phosphore	Rôle plastique (paroi cellulaire) et métabolique (échanges énergétiques (ATP/ADP)).
	K	Potassium	Rôle au niveau de l'absorption et du transport de l'eau, ainsi que dans l'activation d'enzymes.
	Ca	Calcium	Neutralisation des anions minéraux et organiques, diminution de la toxicité de certains éléments (comme l'aluminium), consolidation des parois cellulaires, amélioration de la résistance aux stress externes. En excès dans le sol, le Ca peut provoquer, chez certains végétaux, des carences induites en d'autres éléments.
	Mg	Magnésium	Constitution de la chlorophylle, synthèse des acides aminés, assimilation et transport du P, résistance aux stress. En cas de carence, le Mg migre vers les parties les plus jeunes de la plante et provoque un jaunissement des feuilles plus âgées.
	S	Soufre	Composant essentiel des protéines intervenant notamment dans la synthèse des acides aminés soufrés.
Eléments mineurs	Fe	Fer	Rôle métabolique, cofacteurs dans la constitution et le fonctionnement d'enzymes, catalyseurs ou inhibiteurs de diverses réactions biochimiques. Ils doivent être fournis à la plante à des doses relativement faibles, sous peine d'induire des risques de toxicité.
	Mn	Manganèse	
	Zn	Zinc	
	Cu	Cuivre	
	Mo	Molybdène	
	B	Bore	
		...	

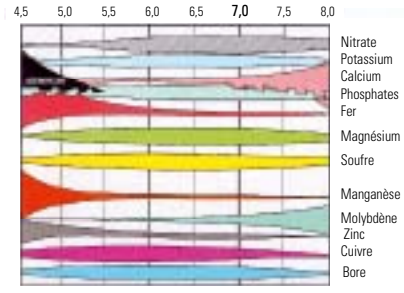
Le prélèvement par les racines résulte de trois forces concurrentes : les forces d'absorption racinaire, le pouvoir compétiteur du sol (fixation, rétrogradation) et des organismes vivants, et l'entraînement par percolation (ruissellement, lixiviation). D'autres phénomènes interviennent aussi pour les oligo-éléments, comme la complexation par la matière organique, l'oxydation ou la réduction suivant l'état d'aération du sol (pour le Mn et le Fe), la dissolution plus aisée des minéraux en conditions acides et la nécessité d'un état hydrique suffisant (pour le B p.ex.). La proportion relative des éléments sur le complexe d'échange du sol est également un facteur important : un excès de calcium dans le sol peut, par exemple, bloquer l'absorption racinaire du phosphore et/ou d'autres éléments [dossier scientifique]. Dans la pratique courante, la biodisponibilité des éléments est estimée par l'utilisation d'un extractif simulant l'activité racinaire[1].

Les contraintes chimiques et physico-chimiques au développement végétal

Le pH du sol, indicateur des conditions physico-chimiques de la solution du sol, exerce un effet direct sur la biodisponibilité des nutriments, à travers des phénomènes de solubilisation et d'insolubilisation propres à chaque élément. La figure ci-après [↘ FIG SOLS 1-1] illustre ainsi la gamme de pH autour de laquelle chaque élément est le plus facilement biodisponible. L'application inadéquate d'amendements calciques (pour redresser le pH d'un sol) peut ainsi entraîner des blocages au niveau de l'absorption du Mn, du Zn ou du B (Vilain, 1997). A contrario, une acidité importante du sol réduit l'absorption du Mo par exemple.

La matière organique joue aussi un rôle essentiel dans le fonctionnement des sols [voir SOLS 2]. Elle doit être envisagée dans une dynamique évolutive qui est fonction des apports et de leur évolution. Elle régule les activités biologiques et contribue à la diversité et à la complexité des sols. Elle représente, en outre, une réserve importante en éléments nutritifs qui sera mise à la disposition de la plante après minéralisation. Les caractéristiques des matières organiques et leur contenu dans les sols doivent donc être considérés comme des critères indispensables au diagnostic en matière de fertilité.

FIG SOLS 1-1 *Schéma d'assimilabilité des éléments nutritifs par les végétaux en fonction du pH du sol*



Source : *Truog (cité par Mérelle, 1998)*

L'ÉTAT ET L'ÉVOLUTION DE LA FERTILITÉ DES TERRES AGRICOLES

Les principaux indicateurs de suivi de la fertilité chimique des terres agricoles concernent le statut acido-basique, le statut organique et le statut en éléments nutritifs[2].

- le statut acido-basique est déterminé par le pH du sol. Il représente une expression synthétique des conditions physico-chimiques qui président en partie à la structuration du sol, à l'activité microbienne et à la disponibilité des éléments [↘ FIG SOLS 1-1]. Les grandes cultures présentent souvent un optimum de croissance dans une gamme de pH comprise entre 6 et 7 ;
- le statut organique est généralement évalué par la mesure de la concentration totale en carbone organique (COT) et en azote (NT) dans les sols. Le rapport C/N, qui renseigne sur l'état qualitatif de la matière organique,

est également calculé. Le cas de l'azote, dont les teneurs dans le sol sont beaucoup plus fluctuantes au cours du temps, sera abordé dans le chapitre consacré à la contamination diffuse des sols [voir SOLS 4] ;

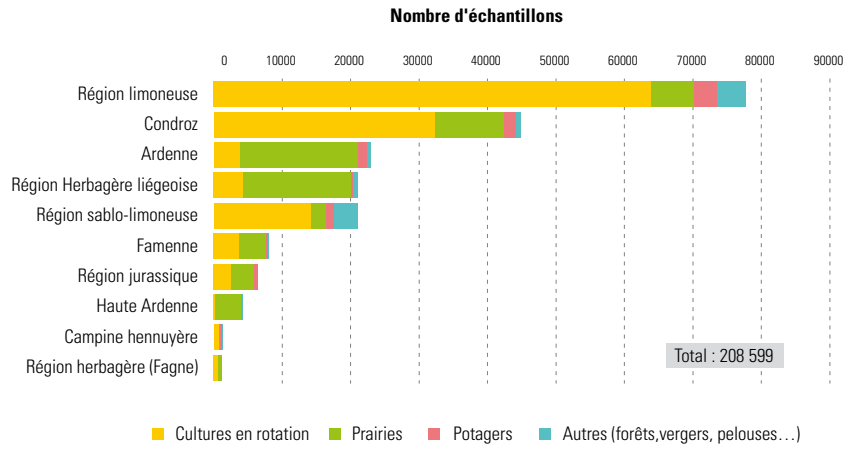
- le statut nutritif est évalué par la mesure des concentrations en éléments biodisponibles dans les sols : cations (Ca, Mg et K), phosphore et, selon les cas, oligo-éléments (Mn, Fe, Cu et Zn). L'état de fertilité des terres en oligo-éléments est discuté dans le dossier scientifique [dossier scientifique].

Plus de 200 000 échantillons de terres agricoles analysés depuis 1994

Les données présentées ci-après proviennent majoritairement de la base de données centralisée du réseau REQUASUD. Cette base de données rassemble les résultats des analyses effectuées par les Laboratoires provinciaux depuis 1994, sur environ 208 000 échantillons[4] dont la comparabilité est assurée grâce au contrôle qualité du réseau et à une procédure de validation de tous les résultats encodés [↘ Fig SOLS 1-2]. Avant 1990, les sources de données existantes souffrent d'un manque d'harmonisation dans les procédures d'échantillonnage et d'analyses. La base de données AARDEWERK[5], réalisée parallèlement au levé de la carte des sols, offre néanmoins des indications sur les valeurs du pH_{KCl} et du taux de COT dans les sols entre 1947 et 1971.

Les échantillons ont tous été prélevés avec un objectif bien précis (vérification d'un statut nutritif correct, besoin d'analyses dans le cadre d'une production contractuelle…) mais pas dans un souci de représentativité à l'échelle du territoire wallon. Il convient donc de rester prudent dans l'interprétation des données, en particulier au niveau des unités cartographiques les plus faiblement échantillonnées.

Fig SOLS 1-2 *Répartition par région agricole du nombre d'échantillons analysés par les Laboratoires du réseau REQUASUD (1994-2004)*



Source : *ASBL REQUASUD*

L'analyse de terre à la base du diagnostic agronomique à la parcelle

Les agriculteurs, les forestiers et certains particuliers (jardiniers…) peuvent disposer, comme outils d'aide à la décision, d'un diagnostic agronomique et d'un conseil de fumure élaborés en plusieurs étapes :

1) l'échantillonnage qui consiste à réaliser un ou plusieurs échantillons composites représentatifs de zones morphopédologiques homogènes dans la parcelle ;
2) l'analyse de terre[3] ;
3) le diagnostic agronomique de l'échantillon qui recadre les résultats par rapport à des référentiels régionaux existants ;
4) le conseil de fumure de la zone homogène qui propose une stratégie de fertilisation ainsi que les modalités de son application.

Depuis 1989, l'ASBL REQUASUD gère un réseau de laboratoires offrant un service d'analyses et de conseil répondant aux besoins des acteurs des secteurs agricole et agro-alimentaire (http://www.requasud.be). Ses principaux objectifs visent à proposer un service harmonisé et de qualité (essais interlaboratoires, cartes de contrôle) qui, dans le cadre des analyses de terre, est appliqué à l'échantillonnage, aux analyses et à leur interprétation en vue d'une fertilisation adaptée des terres.

Les normes de référence nécessaires pour évaluer l'état de fertilité d'une terre ont été définies en Région wallonne pour les sols de culture. Ces normes, toujours perfectibles, servent de base au diagnostic agronomique mais peuvent être adaptées par les laboratoires en fonction de spécificités régionales liées à des différences géographiques, de spéculations agricoles ou d'itinéraires techniques [dossier scientifique]. C'est le cas par exemple des terres sous prairies qui présentent des caractéristiques différentes de celles sous cultures (taux de matière organique plus élevé, couverture permanente…). La fertilité des sols forestiers est, quant à elle, appréciée par référence à des teneurs seuils qui expriment un risque de carence ou de toxicité. Ces seuils doivent être considérés en tant qu'indicateurs de stress trophiques potentiels et non de problèmes effectivement constatés sur le terrain.

L'interprétation qualitative de l'état de fertilité des sols se fait en comparant les résultats des analyses à des valeurs seuils en dessous desquelles le sol présente un risque de carence. Ces valeurs seuils ont été extraites des référentiels régionaux existants, en considérant une seule valeur-seuil par région naturelle en fonction de la nature minéralogique et organique des sols de la région considérée [dossier scientifique]. L'interprétation qualitative n'est donc faite qu'à titre indicatif, certaines régions naturelles présentant une diversité pédologique importante.

Le statut acido-basique des terres de grande culture s'est amélioré depuis 1970

Terres de culture

La moitié des valeurs de pH_{KCl} enregistrées dans les terres de culture ces dix dernières années, sont situées sous la valeur seuil de 6,5. Les valeurs observées dans les différentes régions agricoles décroissent du nord vers le sud et d'ouest en est. La Région jurassique fait néanmoins exception à cette tendance générale, le pH moyen des sols y étant plus élevé qu'en Ardenne [↘ Cartes SOLS 1-1]. La nature du substrat ou de la charge caillouteuse peut exercer une action particulièrement déterminante sur le pH du sol et explique en partie les variations constatées : les sols limoneux à charge calcareuse de la Famenne et du Condroz par exemple se caractérisent par un pH moyen plus élevé.

Depuis 1970, on note une amélioration du statut acido-basique des terres dans la plupart des régions agricoles. C'est en Condroz et dans les Régions limoneuse et sablo-limoneuse qu'elle est la plus nette, en relation avec le développement des grandes cultures industrielles (comme la betterave sucrière), exigeantes du point de vue du pH et pour lesquelles la pratique du chaulage a été plus intensive. L'amélioration est moins nette en Ardenne et en Haute-Ardenne et la situation peut être considérée comme assez stable en Famenne et en Région jurassique.

Terres de prairie

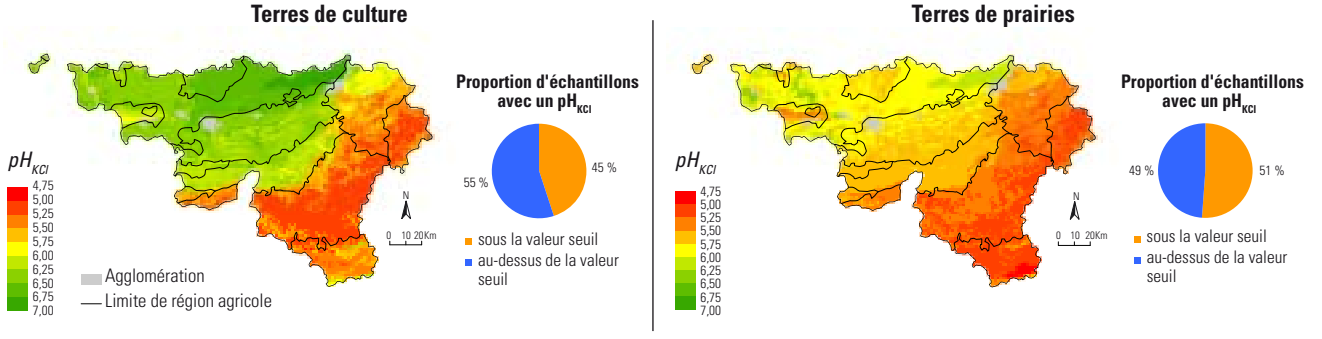
Les terres de prairie sont en général plus acides que les terres de cultures (différence d'environ une unité pH). Ceci s'explique (*i*) par une production plus importante d'acides organiques en lien avec une densité racinaire et un taux de matière organique plus élevés, (*ii*) par une concentration des prairies sur les sols les moins aptes aux cultures et (*iii*) par une pratique moins fréquente du chaulage. C'est en Ardenne, en Haute-Ardenne et dans une moindre mesure en Région jurassique que la situation est la plus critique avec parfois plus de 75 % des échantillons caractérisés par un pH inférieur à la valeur seuil de 5,5.

Une légère tendance à la diminution du taux de carbone dans les terres cultivées

Terres de culture

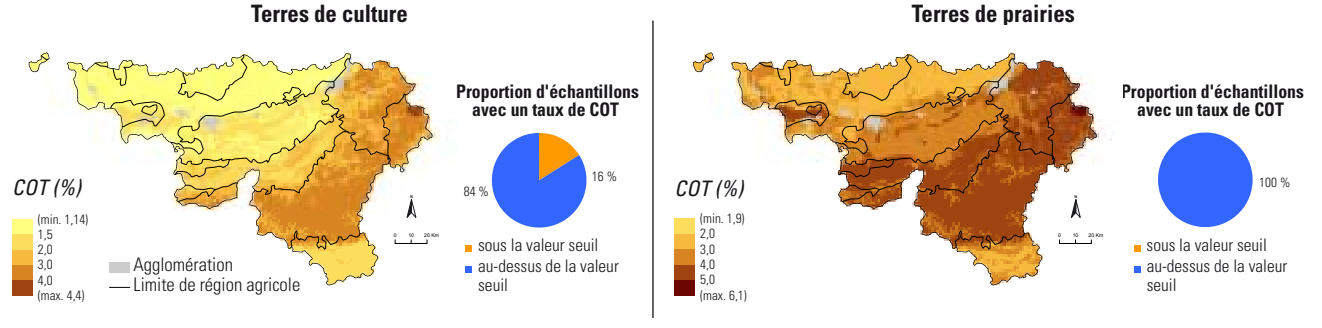
La distribution du statut organique des terres de culture est en étroite relation avec les zones agro-écologiques. On observe ainsi un gradient de richesse croissant en matière organique dans les sols agricoles du nord-ouest au sud-est de la Région wallonne, des bas plateaux limoneux aux hauts plateaux ardennais. Plus au sud, en Région jurassique, les taux moyen de carbone organique total (COT) dans les sols sont inférieurs à ceux observés en Ardenne [↘ Cartes SOLS 1-2]. L'analogie entre la distribution des taux moyens de COT et le relief est

Cartes SOLS 1-1 *Valeur moyenne du pH_{KCl} des terres de culture (0-25 cm) et de prairie (0-15 cm) en Région wallonne (1998-2002)*



Source : *ASBL REQUASUD*

Cartes SOLS 1-2 *Taux moyens de carbone organique total (COT) dans les terres de culture (0-25 cm) et de prairie (0-15 cm) en Région wallonne (1998-2002)*



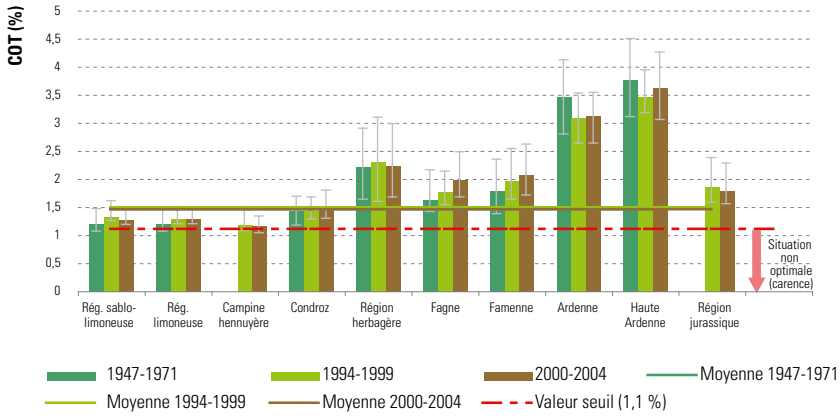
Source : *ASBL REQUASUD*

perceptible et permet de supposer l'existence d'un lien entre les taux de carbone et le climat. Un climat froid et humide est, à priori, moins favorable à une décomposition rapide de la matière organique. La lithologie, en relation avec le statut acido-basique, est également un facteur explicatif de cette distribution.

Il faut également tenir compte de l'intensification et de la diversité des pratiques agricoles (profondeur du labour, apports ou non de matières organiques, restitution des résidus de récoltes...), qui sont également intimement liées aux spécificités du cadre physique de chaque région agricole (typologie des sols, topographie, méso- et microclimat...), voire de chaque exploitation ou parcelle [voir SOLS 2].

L'évolution du statut organique des sols cultivés entre 1947 et 2004 fait état d'une diminution globale d'environ 10 % des taux de COT à l'échelle de la Région wallonne. Cette diminution concerne surtout l'Ardenne, la Haute-Ardenne et la Région jurassique, la plupart des autres régions agricoles étant plutôt marquées par une tendance à la hausse des teneurs moyennes en COT. [↘ Fig SOLS 1-3]

Fig SOLS 1-3 *Evolution du taux moyen de carbone organique total (COT) dans les terres de culture (0-25 cm) entre 1947 et 2004, par région agricole, en Région wallonne*



Sources : *Base de données AARDEWERK (1947-1971) et ASBL REQUASUD (1994-2004)*

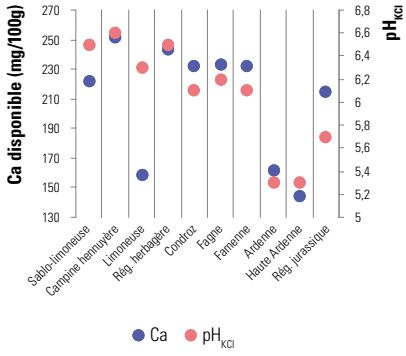
Terres de prairie

L'interprétation du taux de COT dans les terres de prairie est plus délicate, étant donné la part importante de racines vivantes présentes dans l'échantillon. C'est d'ailleurs un des facteurs qui explique pourquoi les terres de prairie sont en général plus riches en carbone organique que les terres cultivées. En outre, on constate une augmentation des taux de COT dans les terres de prairie entre 1947 et 2004, bien que cette tendance ne soit pas perceptible au cours de ces dix dernières années [dossier scientifique]. Les prochains états de la fertilité des terres permettront de conforter les hypothèses concernant l'évolution des teneurs en COT dans les sols agricoles.

Les teneurs en calcium biodisponible et le niveau d'acidité des terres sont étroitement liés

La répartition géographique des valeurs de pH [↘ Cartes SOLS 1-1] est proche de celle de la richesse des sols en calcium. Les quantités de calcium biodisponible sont souvent corrélées avec la nature des matériaux géologiques. Ainsi, les régions dominées par des sols marneux ou à charge calcareuse ou de craie sont caractérisées par les teneurs les plus élevées en calcium (calcaires famenniens, craies en Hesbaye liégeoise p.ex.). C'est donc essentiellement dans le massif ardennais que les terres ne sont pas suffisamment pourvues en calcium, là où la nature acide des roches et la rigueur du climat sont les moins favorables. C'est également dans ce massif que le chaulage des sols est le moins intensif, en relation avec des spéculations agricoles moins exigeantes. [↘ Fig SOLS 1-4]

Fig SOLS 1-4 *Relation entre les valeurs moyennes de pH_{KCl} et les teneurs moyennes en calcium dans les terres de culture (0-25 cm), par région naturelle, en Région wallonne (2000-2004)*



Source : *ASBL REQUASUD*

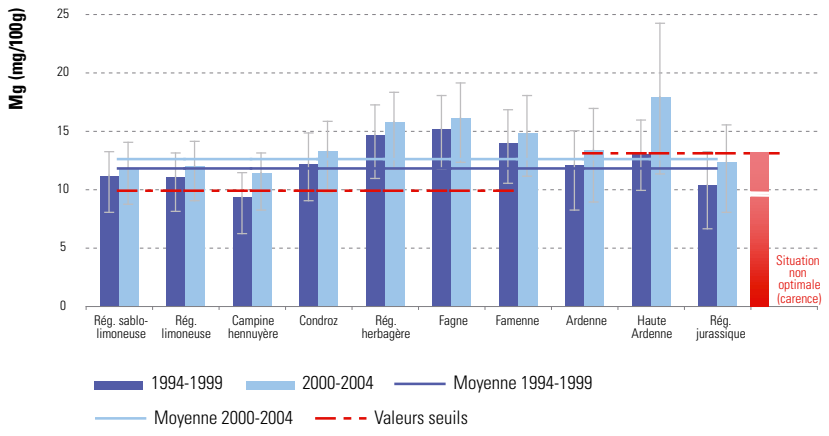
Une légère augmentation des teneurs en magnésium dans les terres agricoles

Terres de culture

Globalement, le statut magnésien des terres cultivées est homogène sur l'ensemble du territoire wallon. Les régions les mieux pourvues en Mg sont la Région herbagère, la Famenne et dans une moindre mesure la Haute-Ardenne. La Campine hennuyère et la Région jurassique sont occupées par des terres moins riches. En moyenne, 30 à 40 % des échantillons prélevés dans les terres cultivées sont carencés car ils contiennent des quantités de Mg inférieures à la valeur seuil [↘ Carte SOLS 1-3].

La distribution spatiale des teneurs en magnésium disponible dépend de l'utilisation d'engrais minéraux et de l'altération de certains constituants du sol (argiles magnésiennes, dolomies...). L'historique cultural a également son importance car les changements d'affectation des terres, notamment par la mise en culture de certaines prairies permanentes, peuvent expliquer certaines différences observées au niveau régional ou intra-régional. Les données disponibles semblent également indiquer une augmentation sensible des teneurs en Mg disponible, de l'ordre de 0,5 à 5 mg/100g (selon les régions) en 10 ans. Cette évolution est difficile à interpréter, en l'absence notamment de statistiques sur l'emploi de fertilisants magnésiens en Région wallonne. [↘ Fig SOLS 1-5]

FIG SOLS 1-5 *Evolution de la teneur moyenne en magnésium disponible dans les terres de culture (0-25 cm) entre 1994 et 2004, par région agricole, en Région wallonne*

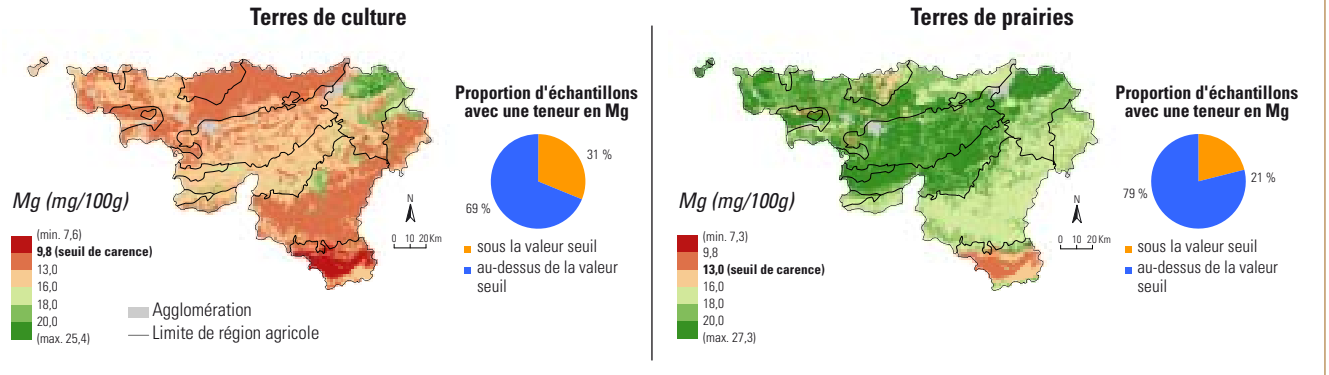


Source : *ASBL REQUASUD*

Terres de prairie

Globalement, les terres de prairie sont plus riches en magnésium que les terres de culture. Environ 80 % des échantillons prélevés sous prairies présentent des teneurs en Mg supérieures à la valeur seuil. Seule la Région jurassique présente, en moyenne, une situation moins favorable [↘ CARTES SOLS 1-3]. La différenciation entre régions agricoles est plus marquée que pour les terres de culture. En outre, la variabilité intra-régionale est importante, en lien probablement avec la variété des pratiques agricoles (apports magnésiens directs, apport de chaux magnésiennes…) et des types de sols et de substrats. Depuis 1994, les teneurs en Mg dans les terres de prairies ont également tendance à augmenter dans la plupart des régions agricoles [dossier scientifique].

CARTES SOLS 1-3 *Teneur moyenne en magnésium disponible dans les terres de culture (0-25 cm) et de prairie (0-15 cm) en Région wallonne (1998-2002)*



Source : *ASBL REQUASUD*

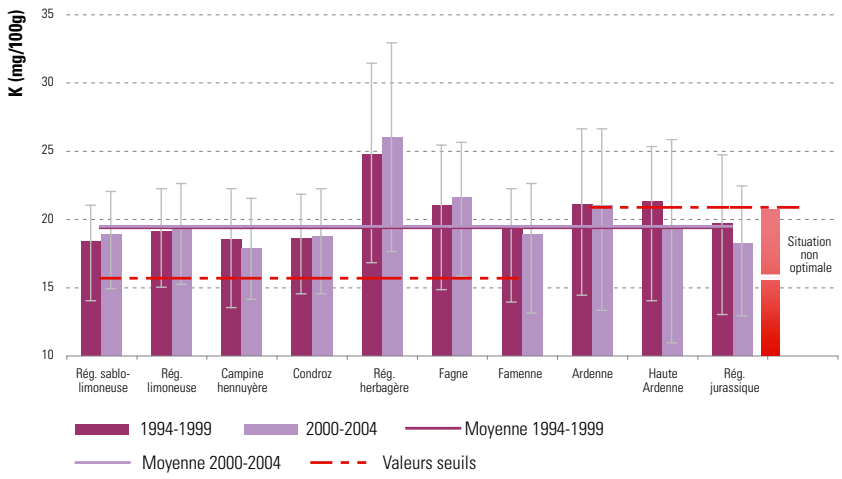
Un statut potassique des terres de culture stable et globalement déficitaire pour les prairies

Terres de culture

Les teneurs en K disponible dans les terres cultivées sont distribuées de manière assez homogène sur l'ensemble du territoire wallon. Elles oscillent autour d'une valeur moyenne d'environ 20 mg/100g. Les différences observées au niveau local s'expliquent essentiellement par la nature des matériaux parentaux et les pratiques de fertilisation. Les régions les plus différenciées sont l'Ardenne, la Haute-Ardenne et le Condroz où, par exemple, les sols sur psammite libèrent plus de K que les sols sur calcaire. Les teneurs moyennes en K les plus élevées sont rencontrées dans les sols de la Région herbagère liégeoise, tandis que les sols de la Région jurassique et de la Région herbagère de Fagne présentent un déficit assez marqué pour cet élément. [↘ Carte SOLS 1-4]

Globalement à l'échelle régionale, environ 30 % des échantillons prélevés sous cultures présentent une situation déficitaire. Cette valeur est comparable à celle obtenue à partir des inventaires précédents (Allaerts *et al.*, 1982 ; Anonyme, 1988 ; EEW, 1994). Dès lors, on peut considérer que l'état potassique des terres de culture est resté stable au cours de ces 20 dernières années. [↘ Fig SOLS 1-6]

Fig SOLS 1-6 *Evolution de la teneur moyenne en potassium disponible dans les terres de culture (0-25 cm) entre 1994 et 2004, par région agricole, en Région wallonne*



Source : *ASBL REQUASUD*

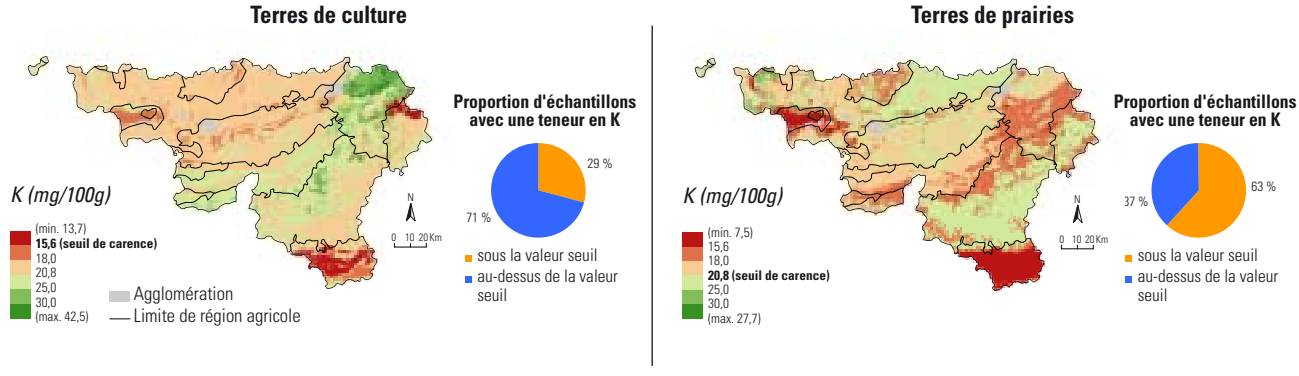
Terres de prairie

Les teneurs en K disponible dans les terres de prairie sont en général inférieures à celles mesurées sous cultures, particulièrement en Région herbagère liégeoise et en Région jurassique. De plus, la variabilité intra-régionale est importante, les concentrations étant parfois très contrastées d'une association de sol à l'autre [dossier scientifique]. Le niveau relativement faible des teneurs en K disponible des terres de prairie est plus préoccupant que sous cultures, plus de 60 % des échantillons présentant, en moyenne, des teneurs inférieures aux valeurs optimales. Cette situation concerne plus de 75 % des échantillons en Région jurassique, en Haute-Ardenne et en Fagne.

Une situation régionale contrastée pour le phosphore, combinant risque de carence et risque environnemental

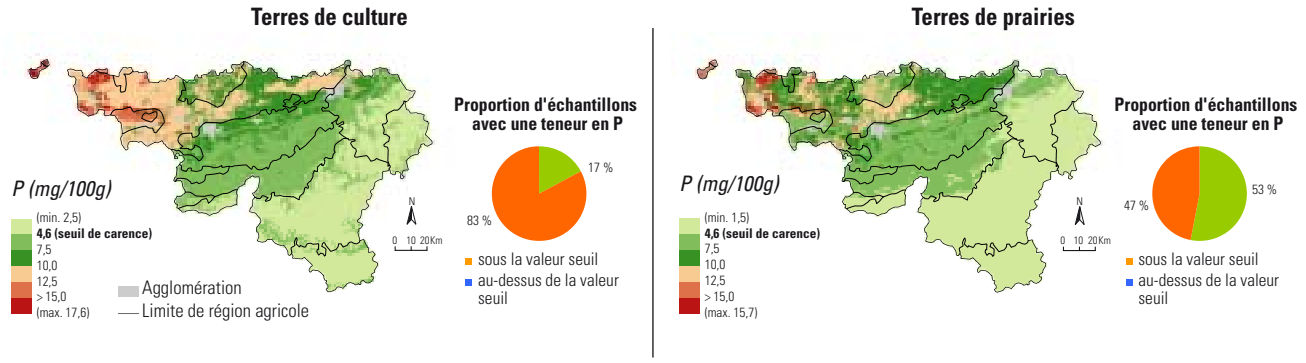
Le phosphore est un élément qui participe au phénomène de l'eutrophisation des eaux de surface [voir EAU 2]. C'est pourquoi cet élément nutritif est envisagé dans ce document sous deux aspects : (1) mise en évidence des situations de risque de carence, lorsque les teneurs en P dans les terres sont inférieures à une valeur seuil correspondant au niveau

Cartes SOLS 1-4 *Teneur moyenne en potassium disponible dans les terres de culture (0-25 cm) et de prairie (0-15 cm) en Région wallonne (1998-2002)*



Source : *ASBL REQUASUD*

CARTES SOLS 1-5 *Teneur moyenne en phosphore disponible dans les terres de culture (0-25 cm) et de prairie (0-15 cm) en Région wallonne (1998-2002)*



Source : *ASBL REQUASUD*

faible renseigné dans les référentiels régionaux et (2) mise en évidence des situations présentant potentiellement un risque environnemental en comparant les teneurs en P à une valeur seuil correspondant à un niveau très élevé de P, selon le référentiel régional en vigueur [dossier scientifique].

Terres de culture

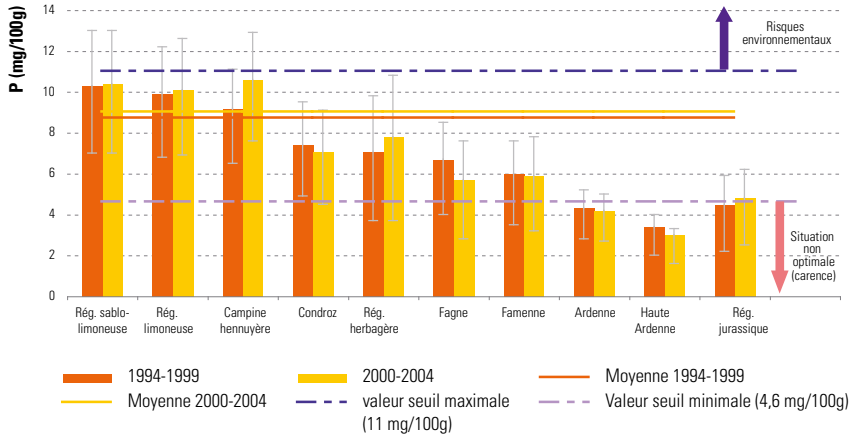
Au sud de la Région wallonne, les horizons de surface des sols ne sont pas, en général, suffisamment pourvus en P disponible, par rapport aux besoins des végétaux. A contrario, au nord de la Région, ce sont davantage des questions environnementales qui préoccupent [↘ CARTES SOLS 1-5]. En effet, les situations où le risque d'entraînement du P par ruissellement est élevé concernent principalement les Régions limoneuse et sablo-limoneuse, où les sols sont particulièrement sensibles à l'érosion hydrique [voir SOLS 3]. Ces sols sont également pauvres en matières organiques [↘ CARTES SOLS 1-2], alors que celles-ci permettent d'améliorer la stabilité structurale du sol et de diminuer, par conséquent, le risque érosif.

La variabilité intra-régionale du contenu des sols en P est relativement importante, surtout en Campine hennuyère et dans les Régions limoneuse et sablo-limoneuse où des situations très contrastées peuvent être observées. Ces différences s'expliquent par le recours plus ou moins intensif à la fertilisation (organique et minérale) et par la richesse relative des matériaux parentaux des sols en cet élément[6]. Le statut des terres en P disponible ne semble pas avoir évolué entre 1994 et 2004 et ce, malgré une diminution de l'utilisation des engrais minéraux phosphorés pendant cette période [voir FIG AGR-11]. Le bilan du phosphore dans les terres[7] reste probablement légèrement positif. [↘ FIG SOLS 1-7]

Terres de prairie

Les teneurs en P sont généralement plus faibles dans les terres de prairie que dans les terres de culture. Par ailleurs, la présence d'une couverture végétale permanente sur les sols saturés en P permet de réduire le risque d'érosion hydrique et de transfert vers les eaux de surface. On notera toutefois que l'augmentation du taux de saturation en P dans les sols provoque une perte de diversité botanique au niveau des couverts herbacés[8].

FIG SOLS 1-7 *Evolution de la teneur moyenne en phosphore disponible dans les terres de culture (0-25 cm) entre 1994 et 2004, par région agricole, en Région wallonne*



Source : *ASBL REQUASUD*

La pédogenèse et l'historique cultural comme facteurs explicatifs de la variabilité intra-parcellaire

La variabilité des teneurs en éléments nutritifs dans les sols ne s'observe pas uniquement à l'échelle des régions naturelles mais également au niveau de la parcelle. Cet aspect doit être considéré dans le cadre d'une gestion agronomique soucieuse de limiter les risques environnementaux, tout en couvrant les besoins des plantes.
Une étude conduite sur une parcelle de 10 ha en Condroz[9] a permis de montrer, par exemple :

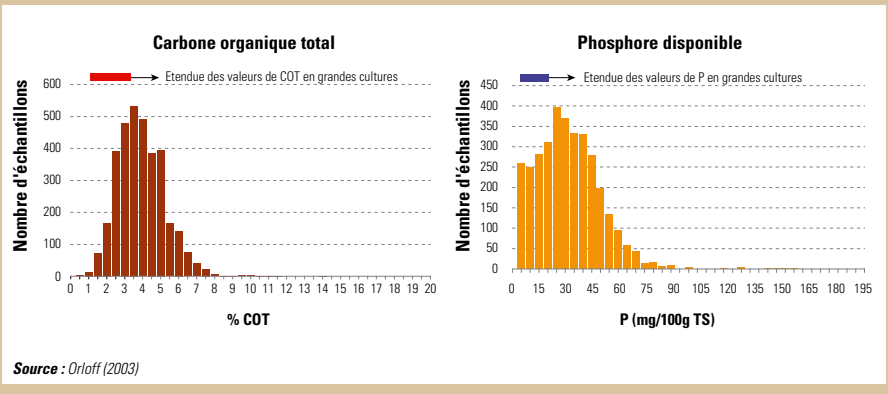
(*i*) le lien existant entre le pH, le type de sol et les itinéraires techniques pratiqués ;
(*ii*) l'importance de la capacité d'échange cationique du sol (CEC) comme principal paramètre explicatif du statut nutritif des terres ;
(*iii*) la relation entre le taux de COT et l'occupation du sol, la texture et le drainage naturel ;
(*iv*) une corrélation entre les teneurs des principaux éléments nutritifs avec la CEC et le taux de COT.

De la même façon, l'analyse d'échantillons composites prélevés par zones pédo-culturales homogènes aboutit à une prescription variant, entre zones homogènes, de 0 à 100 unités (kg/ha) pour le P et de 40 à 200 unités pour le K. Cet exemple illustre l'intérêt de considérer la variabilité intra-parcellaire, d'origine pédologique ou anthropique, lors de l'élaboration d'un conseil de fumure. Une application mieux raisonnée des engrais est alors envisageable avec, à la clé, des économies d'intrants et un meilleur respect de l'environnement.
En pratique, les contraintes techniques ne permettent pas toujours la mise en œuvre d'apports variables au sein de la parcelle surtout lorsque celle-ci est de petite taille, de forme particulière et/ou extrêmement hétérogène. Il paraît néanmoins essentiel de mettre cette information à disposition de l'agriculteur pour le conscientiser aux conséquences de cette variabilité sur le conseil de fumure et les risques environnementaux, ainsi que sur les économies d'intrants associés. L'agriculteur conserve ensuite la liberté, en connaissance de cause, d'intégrer les recommandations qui lui seront transmises au regard des difficultés techniques qu'il peut rencontrer.
Dans ce cadre, l'ASBL REQUASUD élabore actuellement un outil cartographique d'aide à la décision permettant de délimiter, sur chaque parcelle, les zones pédo-culturales homogènes. Les Laboratoires d'analyse pourront ainsi, dès l'échantillonnage, œuvrer pour un conseil de fumure qui corresponde au plus près à la réalité du terrain. Les agriculteurs disposeront également de la cartographie de ces zones homogènes, ce qui représente un pas important vers une personnalisation du conseil et une agriculture plus respectueuse de l'environnement.

Une fertilisation trop intensive des jardins potagers ?

Une étude a été réalisée dans le Condroz liégeois en vue d'établir un constat qualitatif de l'état des terres de jardins (Orloff, 2003). Cette étude a notamment abouti aux conclusions suivantes :

- la valeur moyenne du pH_{KCl}, mesurée dans les terres de jardins potagers (6,4), est légèrement inférieure à celle mesurée dans les sols des grandes cultures. La valeur maximale enregistrée (8,5) est cependant très élevée, ce qui témoigne sans doute d'un chaulage trop intensif ;
- la teneur moyenne en carbone organique total (COT) dans les terres jardinées est de 4,3 %, alors qu'elle n'est que de 1,5 % dans les terres cultivées de la région. Les teneurs maximales enregistrées se rapprochent davantage de celles des sols forestiers que des terres de prairie (voir figure ci-après). Ce constat s'explique par le fait que les sols des jardins potagers sont enrichis depuis longtemps par des apports fréquents de matières organiques de toute nature, mais parfois de mauvaise qualité ;
- que ce soit pour le Ca, le Mg, le K ou le P, les teneurs rencontrées dans les sols potagers sont en moyenne deux à trois fois plus élevées que dans les sols de grandes cultures. Il s'agit d'un effet direct d'une fertilisation très intensive. En considérant les valeurs seuils adaptées spécifiquement pour les sols de jardins, le pourcentage d'échantillons présentant des teneurs inférieures aux valeurs optimales recommandées est insignifiant.



Source : *Orloff (2003)*

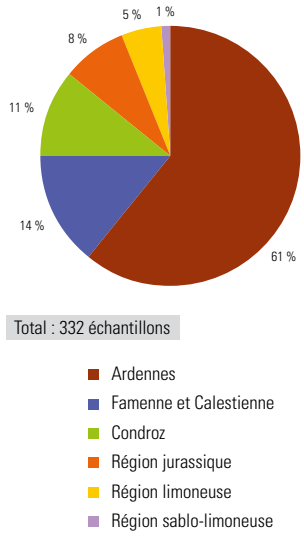
Les terres des jardins potagers apparaissent donc comme un groupe tout à fait spécifique au sein des terres cultivées. Elles se caractérisent, en effet, par une richesse en carbone organique et en éléments nutritifs beaucoup plus importante, mais elles présentent un risque accru de situations de déséquilibre entre éléments. Les contaminations en éléments traces métalliques constituent une autre caractéristique des jardins potagers [dossier scientifique].

L'ÉTAT DE LA FERTILITÉ DES SOLS FORESTIERS

Contrairement aux sols agricoles, les sols forestiers font rarement l'objet d'une fumure d'entretien. Leur fertilité dépend des caractéristiques du sol (texture, taux de COT...) et des besoins en nutriments propres à chaque essence forestière. La fertilité «actuelle» des sols en forêt correspond au stock d'éléments nutritifs directement assimilables par la végétation. Elle est estimée par la quantité d'éléments échangeables, de phosphore assimilable et d'azote minéral présents dans les sols (Trichet *et al.*, 1999). La fertilité à plus long terme correspond, quant à elle, à la réserve totale du sol en éléments minéraux, englobant les formes échangeables et non échangeables.

Les informations nécessaires pour évaluer l'état de fertilité des sols forestiers sont compilées dans une base de données, actuellement en voie de constitution, dans le cadre de la réalisation de l'Inventaire Permanent des Ressources Ligneuses de Wallonie (IPRL). Cet inventaire s'appuie sur un réseau régulier constitué d'environ 11 000 points d'échantillonnage [voir RES FOR 1]. Environ 1 000 points sont échantillonnés chaque année. Parmi ceux-ci, un dixième (soit ± 100 points/an) fait l'objet d'un suivi pédologique[10], à travers la réalisation d'un échantillon composite, prélevé dans chaque placette sur les 20 premiers centimètres du sol. Cet inventaire a pour objectifs de dresser un constat de l'état des sols forestiers, de suivre celui-ci au cours du temps et d'identifier les écosystèmes prioritaires qui feront l'objet d'actions de protection ou de restauration (Colinet *et al.*, 2006). A l'heure actuelle, quatres campagnes d'échantillonnage des sols ont été effectuées (en 2000, 2004, 2005 et 2006), pour un total de 332 échantillons analysés. La majorité de ceux-ci ont été prélevés en Ardennes. [↘ FIG SOLS 1-8]

FIG SOLS 1-8 *Répartition du nombre d'échantillons de sols forestiers analysés par région naturelle en région wallonne (2000-2006)*



Source : *Suivi pédologique réalisé dans le cadre de l'inventaire des ressources ligneuses de Wallonie*

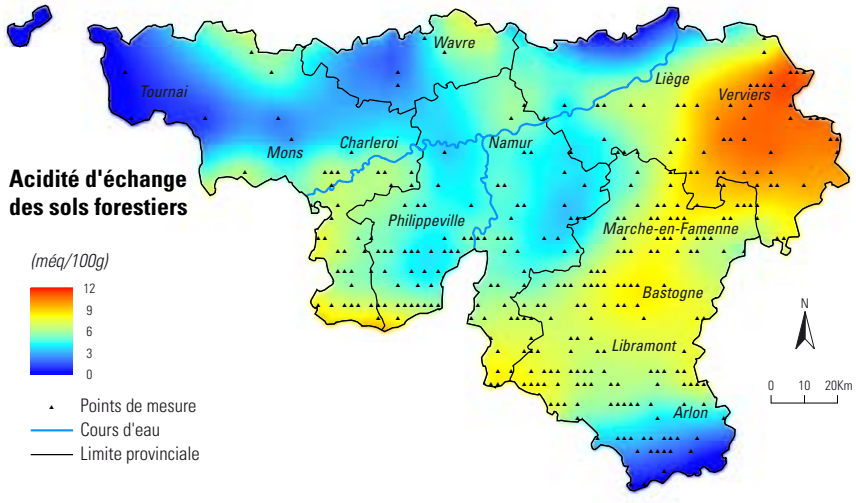
Les sols forestiers ardennais sont les plus pauvres et les plus acides

Le caractère acide des sols forestiers échantillonnés est bien marqué, étant donné que 75 % des échantillons présentent un pH_{eau} inférieur à 4,5 [dossier scientifique]. En dessous de cette valeur, l'altération des minéraux du sol libère de l'aluminium soluble qui se fixe sur le complexe d'échange du sol[11]. Sous certaines formes, cet élément peut être particulièrement toxique pour la végétation forestière[12]. A noter que les sols développés dans des matériaux calcaires et/ou à texture argileuse (sur des schistes p.ex.) ne présentent pas ce risque de toxicité, le complexe d'échange du sol étant majoritairement occupé par d'autres cations, principalement le Ca et le Mg.

Les régions naturelles qui présentent les niveaux d'acidité d'échange les plus faibles (< 3 méq/100g) sont la région sablo-limoneuse (sols sableux pauvres en minéraux altérables), la Région jurassique (matériau parental carbonaté) et la Fagne-Famenne (sols en moyenne plus argileux et/ou développés sur calcaires). Ces deux dernières régions présentent également des sols avec des teneurs élevées en Ca, en P et en Mn. Les sols ardennais, siliceux et acides, se caractérisent par le niveau d'acidité le plus élevé et par les plus faibles teneurs en Ca, Mg et K disponibles. [↘ CARTE SOLS 1-6]

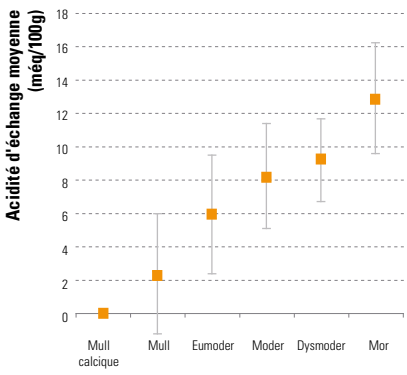
Selon les résultats du suivi pédologique, le statut acido-basique des sols ne montre pas de relation évidente avec le type de peuplement forestier, même si un lien peut être observé entre les caractéristiques des litières et le type d'humus. Il existe en effet un gradient croissant d'acidité du mull calcique au mor. La variabilité au sein des différents groupes d'humus reste toutefois relativement importante. [↘ FIG SOLS 1-9]

CARTE SOLS 1-6



Source : *Suivi pédologique réalisé dans le cadre de l'inventaire des ressources ligneuses de Wallonie*

Fig SOLS 1-9 *Relation entre le degré d'acidité des sols forestiers et le type d'humus (2000-2006)*



Les humus peu actifs de type mor et, à un degré moindre de type moder, offrent des horizons composés de matières organiques fraîches peu transformées superposés au sol minéral (humification très faible) tandis que les humus actifs de type mull sont caractérisés par une décomposition très rapide des litières, qui ne s'accumulent pas en surface (humification importante).

Source : *Suivi pédologique réalisé dans le cadre de l'inventaire des ressources ligneuses de Wallonie*

Les risques liés à l'acidification des sols forestiers et les remèdes proposés

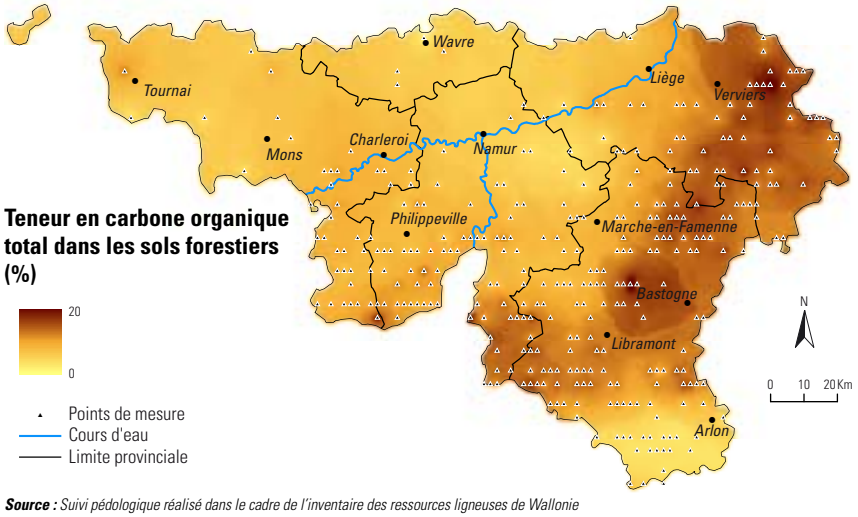
L'acidification progressive du sol est une évolution naturelle sous une végétation forestière. La dynamique de cette évolution dépend essentiellement de la présence d'argiles et de minéraux altérables qui jouent un rôle important dans le pouvoir tampon du sol, c'est-à-dire dans sa capacité à compenser l'activité protonique sans modification brutale du pH. Ce phénomène naturel peut néanmoins être exacerbé lorsque les quantités de substances acidifiantes (protons, azote, soufre) présentes dans les retombées atmosphériques («pluies acides») dépassent la capacité des sols à neutraliser l'acidité incidente [voir AIR 3]. *Les conséquences les plus marquantes de cette acidification concernent la perte d'éléments nutritifs majeurs comme le Ca et le Mg, la dissolution des minéraux du sol et la libération massive d'Al et de Mn phytotoxiques dans certains sols acides. Ces phénomènes ont largement contribué au dépérissement des forêts observé dans les pays industrialisés depuis le début des années 1980* [voir RES FOR 3]. *Le remède apporté par certains pays (comme l'Allemagne ou la France p.ex.) a consisté à chauler et à amender les sols forestiers des massifs les plus atteints (de manière préventive ou curative). En Région wallonne, de telles pratiques n'ont jamais été envisagées à large échelle, même si plusieurs essais ont été réalisés au niveau de certaines placettes (Etat de l'Environnement Wallon, 1994).*

Les terres des pessières des Hautes-Ardennes plus riches en carbone organique

Les teneurs en COT des sols forestiers varient entre 2 et 20 g/100g. Les terres les plus riches sont celles présentant une litière épaisse et mal décomposée (de type dysmoder ou mor). Ce cas de figure est fréquent en Hautes-Ardennes, dans des peuplements de résineux, où les conditions de minéralisation sont moins favorables (sols plus acides, microclimat plus froid, hydromorphie...). [↘ Carte SOLS 1-7]

Le rapport carbone/azote (C/N), qui est un indicateur de la qualité de la matière organique dans les sols, est compris entre 10 et 30. La valeur de ce rapport est en relation étroite avec le type d'humus et le degré de décomposition de la litière. Ainsi, la majorité des sols avec un humus de type mull et moder mulleux (c'est-à-dire bien décomposé) sont caractérisés par un rapport C/N inférieur à 20, ce qui témoigne de conditions optimales pour la minéralisation de la matière organique. La plupart des sols à moders et à mors présentent, quant à eux, un rapport C/N supérieur à 20 [dossier scientifique].

Carte SOLS 1-7



Source : *Suivi pédologique réalisé dans le cadre de l'inventaire des ressources ligneuses de Wallonie*

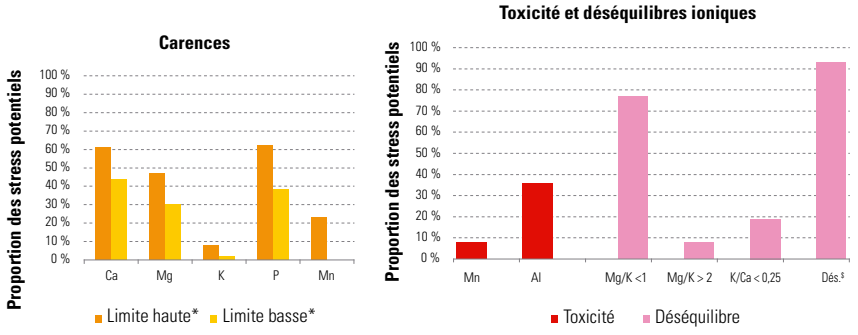
La majorité des sols forestiers analysés présentent un risque de carences en éléments nutritifs

Différents paramètres sont utilisés pour évaluer les risques potentiels de stress nutritif et de toxicité dans les sols forestiers. Les teneurs en éléments nutritifs (Ca, K, Mg, P) et en éléments phytotoxiques (Al, Mn) sont comparées à des seuils de risques sanitaires, adaptés à chaque essence forestière [dossier scientifique].

En termes de risques trophiques, plus de 90 % des terres échantillonnées présentent au moins un indice défavorable et un tiers des placettes en cumulent au moins trois. Les situations à stress potentiel les plus fréquentes concernent les déséquilibres ioniques, en particulier au niveau de la balance Mg/K défavorable au Mg. Les risques de carence concernent surtout le Ca et le Mg pour les terres les plus acides (pH < 4,5) mais ne sont pas non plus à négliger pour le P et le Mn. Les situations de toxicité potentielle sont très nombreuses pour l'Al, en particulier lorsque les terres sont très acides (deux-tiers des stations présentent un risque de toxicité là où le pH des sols est inférieur à 4,2). [↘ Fig SOLS 1-10]

La carte du risque de déficience en Mg biodisponible illustre parfaitement la régionalisation des stress trophiques potentiels qui touchent essentiellement le sud de la Région wallonne [↘ Carte SOLS 1-8]. Si l'Ardenne et

FIG SOLS 1-10 *Situations de risques sanitaires potentiels en termes de carences, de toxicité et de déséquilibres ioniques dans les sols forestiers analysés en Région wallonne (2000-2006)*

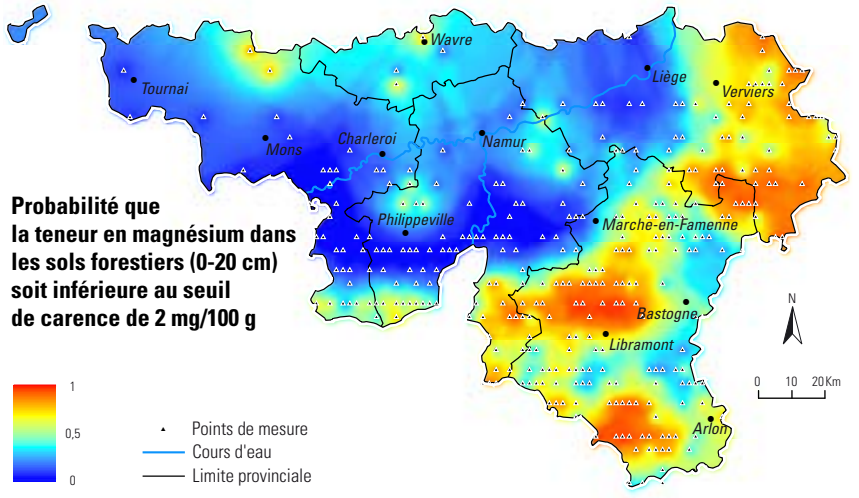


**Les limites hautes et basses de carence sont définies en fonction de l'essence forestière* [dossier scientifique]

§ *Existence d'au moins un déséquilibre ionique*

Source : *Suivi pédologique dans le cadre de l'inventaire des ressources ligneuses de Wallonie*

CARTE SOLS 1-8



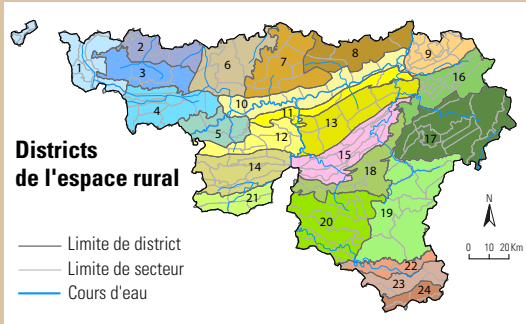
Source : *Suivi pédologique réalisé dans le cadre de l'inventaire des ressources ligneuses de Wallonie*

la Région jurassique sont les régions forestières les plus touchées, on observe néanmoins une différenciation géographique à l'intérieur de ces unités, imputable à des spécificités d'ordre lithologique et pédologique principalement. La Haute-Ardenne, quant à elle, est caractérisée par l'occurrence de stress potentiels pour la plupart des éléments nutritifs [dossier scientifique].

Il n'est pas possible à l'heure actuelle d'effectuer une analyse de l'évolution de l'état de fertilité des sols forestiers à l'échelle régionale, étant donné que les parcelles n'ont pas encore été ré-échantillonnées, le retour sur la même placette étant prévu après 10 ans.

Vers un Système de Référence sur les Sols (SRS) ?

Actuellement, l'état et le suivi de la fertilité des terres agricoles et sous forêt ont été réalisés à l'échelle des régions naturelles. Le développement de nouveaux outils laissent entrevoir l'opportunité d'un suivi plus fin et la réalisation d'un Système de Référence agro-environnemental sur les Sols.
En effet, la numérisation de la carte des sols de Belgique a permis la réalisation d'une stratification du territoire wallon sur une base géomorphopédologique qui a abouti à la définition de 196 Secteurs de l'Espace Rural (SER) pouvant être regroupés en 24 Districts (DER). Ceux-ci sont des modèles d'organisation des sols en fonction de la géologie et du relief. Chaque unité présente une signature géomorphopédologique propre et un nombre restreint de principaux types de sols dominants.



Source : *Laboratoire de Géopédologie (2007). « Unités physiques de l'espace rural de la Région wallonne ». Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, pour le compte de la Région Wallonne (DGA).*

District des
> sols argileux, sablo-limoneux ou limoneux (1,4,22) ;
> sols limoneux, sablo-limoneux ou argileux des bas-plateaux (2,3) ;
> sols limoneux ou limono-caillouteux (5, 10,21) ;
> sols limoneux ou sableux (6) ;
> sols limoneux dominants des bas-plateaux (7,8) ;
> sols limoneux, limono-caillouteux ou argileux (9,24) ;
> sols limono-caillouteux ou limoneux (11,12,13) ;
> sols limono-caillouteux ou argileux dominants (14,15) ;
> sols limono-caillouteux (16,17,18,19,20) ;
> sols sableux ou argileux de La Lorraine centrale (23)

voir dossier scientifique pour la légende détaillée [dossier scientifique].

Ces nouveaux outils cartographiques couplés aux travaux effectués par la chaîne Minérale-sols de REQUASUD en matière de caractérisation pédologique et de localisation des échantillons de sol laissent entrevoir la mise en place d'un suivi permanent de la fertilité des terres agricoles en Région wallonne, à l'instar de ce qui se réalise au niveau forestier, avec en outre la perspective d'une intégration de la notion de volume pédologique permettant une meilleure connaissance de l'état de fertilité des sols agricoles et forestiers.
Grâce à ces données, il sera possible, à l'avenir, d'élaborer des référentiels locaux à l'échelle des SER ou des DER et donc de lier l'information analytique à des objets pédologiques mieux définis.
L'approche qualitative du suivi de la fertilité des terres sera fondamentalement plus correcte : actuellement, comme réalisé dans ce rapport, l'évaluation du pourcentage de situation à risque de carence par région naturelle est réalisé en comparant l'ensemble des résultats quantitatifs de la région naturelle à une seule valeur seuil quelque soit la variabilité pédologique intra-régionale. Or, ces valeurs seuils dépendent notamment de la granulométrie, de la CEC et du pH de l'échantillon. Il est donc plus correct d'assigner une valeur seuil à chaque échantillon et donc de qualifier chaque échantillon et ensuite de sommer le nombre d'échantillon à risque de carence par région naturelle. Grâce aux outils mis en place, ceci sera désormais possible. Dès lors, les situations à risques de carences mais également à risque environnental seront beaucoup plus finement identifiées et suivies.

LA BIODIVERSITÉ DANS LES SOLS

Les sols, réservoirs d'une biodiversité immense et méconnue

Les sols abritent un nombre considérable d'organismes vivant en interaction. Ces organismes appartiennent à des groupes taxonomiques très variés, et peuvent être décrits par leur taille, leur distribution dans le sol, leur place dans la chaîne alimentaire et leur densité. [↘ Fig SOLS 1-11]

Certains de ces organismes ne se rencontrent qu'en surface (espèces épigées) tandis que d'autres, capables de coloniser les pores du sol, vivent en profondeur (espèces endogées). L'abondance des organismes du sol décroît généralement avec la profondeur. Sous nos climats, la profondeur au-dessus de laquelle vivent 50 % des individus varie de quelques cm à plus de 40 cm, selon les espèces.

La profondeur n'est pas le seul critère de distribution spatiale des organismes du sol. En effet, certaines zones du sol sont le siège d'une activité biologique intense. C'est le cas des parties du sol influencées par la présence des racines -la rhizosphère- ou par le creusement des vers de terre -la drilosphère-. Les exsudats racinaires, dans la rhizosphère, et le mucus intestinal des vers, dans la drilosphère, ont un effet favorable sur l'abondance et la richesse des communautés de bactéries, de champignons, de protistes ou de microarthropodes dans ces compartiments privilégiés.

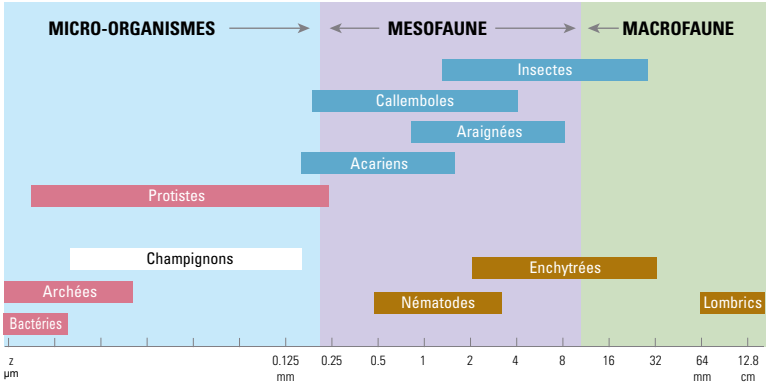
On rencontre dans les sols tous les échelons de la chaîne alimentaire, à l'exception des organismes photosynthétiques, limités à la surface du sol. Les décomposeurs y sont par contre très abondants ; ils transforment la matière organique (issue notamment des organismes morts) et la minéralisent. Cette diversité de niveaux trophiques peut se rencontrer au sein d'un même groupe taxonomique : on trouve par exemple des nématodes fongivores, bactérivores, herbivores ou prédateurs qui se distinguent par la forme des pièces buccales.

En termes de densité d'individus, les chiffres sont impressionnants : on trouve 10 000 milliards de procaryotes (bactéries et archées) par kg de sol, entre 100 et 500 millions de protistes par m^2, plusieurs millions de microarthropodes ou de nématodes par m^2, plus de 130 000 enchytrées par m^2, de 250 000 à 5 millions de vers de terre par hectare [dossier scientifique].

La richesse spécifique est également étonnante : les estimations du nombre d'espèces de bactéries se chiffrent en milliers d'espèces par gramme de sol ; les collemboles peuvent compter 50 à 60 espèces coexistant dans la litière et les horizons superficiels du sol ; des études menées en Région wallonne révèlent la présence de 60 à 90 espèces d'acariens par profil. Mais cette richesse reste encore méconnue. Ainsi, par exemple, 95 % des espèces de bactéries décrites dans le monde appartiennent à seulement 5 des 53 phylums que l'on distingue actuellement, et seuls 5 à 10 % des espèces d'acariens et 1 % des bactéries rencontrées dans le monde seraient décrites.

De nombreuses interactions, parfois très subtiles, ont lieu entre les organismes du sol. Par exemple, la croissance d'un champignon peut dépendre non seulement de l'intensité du broutage auquel il est soumis, mais de l'espèce de

FIG SOLS 1-11 *Les organismes du sol classés selon leur taille*



Source : *Wallwork (1970) (shéma adapté et simplifié par Henri André)*

collembole qui l'a brouté. A une autre échelle, des interactions sont observées entre le sous-système sol et l'écosystème plus large auquel il appartient ; ainsi, par exemple, la présence de vers de terre et de protozoaires augmente la biomasse de l'orge et la présence de protozoaires augmente la densité des pucerons qui vivent sur la céréale [dossier scientifique].

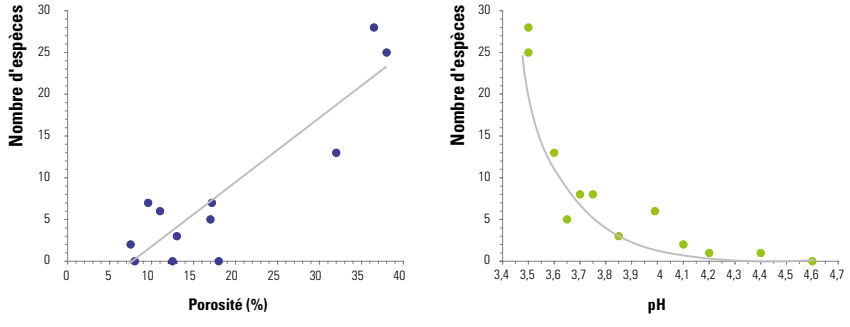
Une biodiversité influencée par des facteurs naturels et anthropiques

Divers facteurs participent au maintien d'une grande biodiversité dans les sols. Le type de sol, le type d'humus, le pH (intégrant lui-même les effets combinés des divers constituants du sol), sont relevés par diverses études. L'une d'elle, effectuée dans le Bois de Lauzelle (entre Wavre et Louvain-La-Neuve), indique que la richesse en acariens du sol varie en fonction de la porosité et du pH du sol[13]. [↘ FIG SOLS 1-12]

La biodiversité dans les sols est également influencée par des facteurs anthropiques : les pratiques forestières et agricoles, et la pollution des sols.

En forêt, la compaction lors des coupes est avancée comme un facteur majeur de baisse d'abondance et de changements dans la composition de la faune du sol, avec des distinctions selon les espèces entre les coupes partielles et les coupes à blanc[14]. D'autre part, le remplacement des peuplements feuillus par des résineux altère fortement les chaînes alimentaires du sol suite au déclin marqué du nombre d'espèces à tous les échelons, des microorganismes aux prédateurs.

FIG SOLS 1-12 *Nombre d'espèces des acariens du sol du Bois de Lauzelle en fonction de la porosité et du pH du sol*



Source : *Ducarme et al. (2004)*

La mise en culture induit une désorganisation profonde des horizons superficiels du sol, et se traduit généralement par une importante perte de biodiversité par rapport au sol forestier. Parmi les pratiques agricoles, certaines nuisent davantage à la biodiversité ; c'est notamment le cas du labour, de la lutte chimique contre les organismes indésirables et des monocultures. A l'inverse, le maintien dans le temps d'une même couverture végétale (vergers, prairies), et les pratiques qui permettent une diversification des milieux dans l'espace (rotations longues et assolements variés, maintien ou création de haies et alignements d'arbres, entretien des fossés, apports de matières organiques stabilisées…), favorisent la biodiversité dans les sols [dossier scientifique]. Enfin, les effets des apports en fertilisants dépendent de nombreux facteurs (richesse spécifique initiale, nature et fréquence des apports, type de culture…). Les apports peuvent stimuler l'activité biologique et accroître la biomasse, mais ils conduisent généralement à une perte de biodiversité, des espèces communes tolérantes à l'azote prenant la place d'espèces nitrophobes, plus rares.

En ce qui concerne la pollution des sols, diverses études témoignent d'une perte en biodiversité liée à la toxicité des éléments traces métalliques (ETM) ou des micropolluants organiques pour les bactéries, vers de terre, nématodes, collemboles, ou acariens. Ces effets permettent d'utiliser certains organismes du sol comme bioindicateurs, ou comme sujets de tests d'écotoxicité. Quelques microrganismes spécialisés sont cependant capables de dégrader des polluants organiques et peuvent dès lors être utilisés ou fonctionner naturellement comme agents de dépollution.

Biodiversité, fertilité et résilience des sols

Dans le contexte des indicateurs utilisés en agriculture, la biodiversité rencontrée dans les sols est couramment associée à la fertilité du sol. Pourtant, ce n'est pas la diversité des espèces en tant que telle, mais les fonctions (décomposition de la matière organique, cycle des nutriments, stabilisation de la structure…) remplies par des groupes d'organismes ou des espèces particulières (espèces «clés de voûte» telles que les vers de terres p. ex.) qui permettent au sol de constituer un milieu fertile.

Autrement dit, que ces fonctions soient assurées par quelques espèces-clés, ou par une grande diversité d'espèces n'a pas de conséquence directe en termes de fertilité[15]. Ceci découle du fait qu'une fonction donnée peut être remplie par un grand nombre d'espèces différentes, phénomène que l'on désigne sous le terme de redondance fonctionnelle.

Cependant, le maintien de la biodiversité donne une certaine garantie qu'en cas de modification du milieu (apport de substances toxiques, changement de régime hydrique, changement des conditions physico-chimiques…), les fonctions nécessaires au maintien de la fertilité continuent d'être correctement remplies. En effet, des espèces différentes concourant à une même fonction le font souvent selon des mécanismes et sous l'influence de facteurs limitants différents. Par conséquent, elles ne sont pas affectées de la même façon par une perturbation donnée du milieu. Dans ce sens, la biodiversité apparaît comme un facteur important de résilience des écosystèmes sols. De plus, les fonctions qui ne sont assurées que par quelques microorganismes spécialisés (espèces-clés) sont plus « à risque » face à des perturbations influençant la biodiversité des sols.

Peu de mesures destinées à promouvoir la biodiversité des sols

A l'heure actuelle, aucune mesure n'est prise aux niveaux fédéral et régional pour maintenir et promouvoir la biodiversité dans les sols[16]. Au niveau international, la situation est à peine plus avancée : la proposition de directive-cadre pour la protection des sols reconnaît le sol comme un «vivier de biodiversité», mais la biodiversité en tant que telle est exclue de la stratégie européenne car le savoir scientifique est jugé insuffisant. Un effet bénéfique indirect pour la biodiversité est toutefois attendu des mesures prévues par la proposition de directive contre les autres menaces (perte de matières organiques, contamination diffuse…).

Enjeux et perspectives

Au niveau de la fertilité des sols agricoles et forestiers

La fertilité d'un sol fait classiquement référence à une aptitude à produire de la biomasse végétale (en quantité et en qualité). Le sol, en tant que support de cette production, est souvent considéré comme une boîte noire dans laquelle on introduit des engrais et des amendements et dont on extrait des produits[17]. Or, les sols sont des milieux complexes et hétérogènes en continuelle évolution et qui, de plus, remplissent plusieurs fonctions environnementales (filtration des eaux de percolation p.ex.). Ils doivent dès lors être étudiés en termes de constitution, d'organisation et de fonctionnement au sein de systèmes dynamiques «sol-plante-eau-animal-atmosphère», en considérant les risques environnementaux engendrés par des pratiques agricoles et sylvicoles inadaptées (surfertilisation p.ex.).

Depuis plusieurs années, les politiques européennes et régionales évoluent vers une meilleure gestion environnementale des sols agricoles et forestiers [voir AGR et RESFOR].

Au niveau agricole, la volonté des gestionnaires wallons est d'évoluer vers une agriculture de précision, en affinant notamment le conseil de fumure et en raisonnant la pratique de la fertilisation à l'échelle parcellaire[18]. Le réseau REQUASUD travaille à une amélioration du système actuel avec commes composantes :

- l'élaboration d'un outil d'aide à la décision pour les agriculteurs et les laboratoires d'analyse de terres. A terme, cet outil permettra d'offrir plusieurs services dont : (*i*) un service cartographique de localisation de la parcelle à échantillonner, (*ii*) un service cartographique permettant d'identifier les types de sols et de caractériser l'occupation de la parcelle (spéculations des trois dernières années), (*iii*) un service de conseil à l'échantillonnage afin de proposer des zones de prélèvement les plus homogènes possibles et enfin, (*iv*) un service d'aide à l'élaboration d'un conseil de fumure adapté aux caractéristiques des secteurs de l'espace rural (SER). La mise en place de cet outil permettra donc de considérer la variabilité intra-parcellaire dès le prélèvement du sol et ainsi de fournir un conseil agronomique qui corresponde au mieux à la réalité du terrain ;
- l'évaluation systématique de la capacité d'échange cationique (CEC) des sols. La détermination de ce paramètre est primordiale pour apprécier correctement le statut nutritif des sols et améliorer le calcul de la fumure à appliquer. La mesure de la CEC étant trop longue et trop coûteuse en routine, d'autres pistes sont envisagées, comme la spectroscopie proche infrarouge (SPIR) qui semble être une technique efficace pour prédire avec une précision suffisante la CEC de l'échantillon de surface, sans surcoût pour le laboratoire et/ou l'agriculteur.

En ce qui concerne la fertilité des sols forestiers, une production sylvicole satisfaisante devrait être garantie sans apport d'engrais dans bon nombre de cas, en tirant profit notamment de la large gamme de tolérances offertes par les diverses essences forestières. L'application systématique des recommandations du Guide de boisement des stations forestières devrait, en outre, assurer la bonne adaptation de l'essence aux potentialités naturelles du milieu. Au niveau des pratiques sylvicoles, il conviendra en particulier de veiller à favoriser le recyclage des éléments nutritifs issus de la décomposition des litières et de limiter les exportations, par une gestion adéquate des résidus de récolte.

Au niveau de la biodiversité dans les sols

S'il n'est pas possible d'établir un lien direct entre la fertilité et la biodiversité dans les sols, lien qui permettrait par exemple d'utiliser l'une comme indicateur de l'autre, les relations entre cette biodiversité et l'efficience des services rendus par les écosystèmes sols (minéralisation de la matière organique, biodégradation de polluants, épuration de l'eau, stockage de carbone, résistance aux espèces envahissantes, pollinisation, contrôle des organismes indésirables…) sont loin d'être connues, voire encore insoupçonnées. En attendant que les connaissances progressent dans ce domaine, il apparaît essentiel de mesurer et préserver cette biodiversité pour ne pas prendre le

risque d'affaiblir la capacité des sols à rendre ces services. Ce critère, déjà pris en compte dans le calcul des normes pour le sol du décret wallon relatif à l'assainissement des sols pollués [voir SOLS 5], devrait davantage être pris en considération dans l'ensemble des problématiques susceptibles d'altérer la qualité des sols.

Remerciements

Nous remercions pour leur collaboration et/ou relecture :

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

Sources principales

ANDRE, H. 2006. *La biodiversité 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. Unité de la faune du sol, Section des invertébrés non insectes, Département de zoologie, Musée royal de l'Afrique Centrale. 43p.

GENOT, V., COLINET, G. et BOCK, L. 2006. *La fertilité des sols agricoles et forestiers en Région wallonne.* Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon. Laboratoire de Géopédologie, Unité sol-écologie-territoire, Faculté des sciences agronomiques de Gembloux. 73p.

ALLAERTS, M., BOON, W., FEYEN, J. 1982. Inventaire de la fertilité chimique des terres de culture et des pâturages en Belgique. *Revue de l'agriculture*, 1 vol 35. 1673-1695.

ANONYME. 1988. La fertilité du sol de notre pays régresse. *L'agriculteur*, 45, 11 nov. , 1988. p. 7.

COLINET, G., BOCK, L. et TOUSSAINT, F. 2006. *Suivi pédologique dans le cadre de l'inventaire permanent des ressources ligneuses.* Rapport final de convention MRW-DGRNE. 56p.

COLINET, G., LAROCHE, J., TOUSSAINT, B., GOFFAUX, M.J., MARTINEZ, M. et OGER, R. 2004. *Base de données sols de REQUASUD. Deuxième synthèse.* 36 p.

EEW.1994. *Etat de l'Environnement Wallon : Sol, climat, micro-organismes, tourisme.* Volume 1. L. Bock Coord. Sci. Ministère de la Région wallonne. Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement. 1-122.

LAROCHE, J. & OGER, R. 1999. *Base de données sols de REQUASUD. Première synthèse.* 36 p.

MÉRELLE F. 1998. *L'analyse de terre aujourd'hui.* GEMAS. Nantes. 184p.

ORLOFF, M. 2003. *Evaluation de la qualité de sols de jardins potagers en Région Wallonne - Province de Liège.* TFE FUSAGx, 75p.

TRICHET, P., JOLIVET, C., ARROUAYS, D., LOUSTEAU, D., BERT, D., RANGER, J. 1999. Le maintien de la fertilité des sols forestiers landais dans le cadre de la sylviculture intensive de pins maritimes. *Etude et Gestion des Sols*, 6, 4. 197-214.

VILAIN, M. 1997. *La production végétale. Tome 2 : la maîtrise technique de la production.* Tec&Doc. Lavoisier, Paris. 449p.

(1) L'extractif utilisé en Région wallonne dans le réseau REQUASUD est une solution d'acétate d'ammonium 0,5 N EDTA tamponnée à pH 4,65.

(2) Indicateurs mesurés dans l'horizon labouré ou les 15 premiers centimètres de sol en prairie.

(3) Dans la pratique courante, la *terre* est synonyme de la couche arable des sols. Ainsi, il s'agit bien d'une analyse de terre qui conduit à l'élaboration d'un conseil de fertilisation. Ceci par comparaison au *sol* qui fait davantage référence au volume pédologique.

(4) Deux synthèses des résultats de la base de données ont été réalisées, l'une pour la période 1994-1997 (Laroche et Oger, 1999), l'autre pour la période 1998-2002 (Colinet *et al.*, 2004). Une mise à disposition des données (agrégées à l'échelle communale) est prévue via le site internet de REQUASUD (http://www.requasud.be).

(5) La base de données compte 6 000 profils de sol répartis sur l'ensemble du territoire wallon, sous différents types d'occupation.

(6) Une cartographie du taux de saturation des sols agricoles en phosphore est actuellement en cours de réalisation (convention SATUPHOS 2007-2009). Cette Convention a aussi pour objectif d'évaluer les effets d'apports répétés de matières organiques et d'engrais sur les teneurs en P et d'élaborer des outils de gestion permettant une fertilisation en P raisonnée.

(7) Apport et restitution du phosphore sous différentes formes dans les sols moins les exportations (récoltes).

(8) JANSSENS, F. 2001. *Restauration des couverts herbacés riches en espèces.* Thèse de doctorat. Laboratoire d'écologie des prairies – Faculté des Sciences agronomiques – Université catholique de Louvain. 108p.

(9) GENOT V. 1999. *Arguments géomorphopédologiques pour le cadrage de sites, la gestion agronomique et le suivi environnemental : cas d'études en Condroz.* TFE FUSAGx. 79p. + annexes.

(10) Ce qui équivaut à un retour sur les mêmes placettes tous les dix ans.

(11) Dans les sols très acides, l'aluminium peut représenter plus de 80 % du total des éléments échangeables, ce qui entraîne des risques potentiels de toxicité pour les végétaux.

(12) Surtout quand le rôle détoxifiant de la matière organique (en complexant l'Al) ne peut se faire dans les couches minérales du sol.

(13) Ducarme *et al.* 2004. Are there real endogeic species in temperate forest mites? *Pedobiologia*, 48, 139-147.

(14) Les coupes à blanc favorisent aussi la minéralisation de la matière organique (production de nitrate p.ex.) [voir SOLS 4]

(15) Il est fait référence ici à la diversité des espèces, pas à leur abondance. La comparaison n'est valable que pour une activité biologique globale équivalente.

(16) A noter que les normes calculée en Région wallonne pour le futur «décret sol» tiennent compte des risques pour les écosystèmes, évalués sur base des données d'écotoxicité disponibles pour chaque polluant et portant sur les organismes du sol et les végétaux. Ces normes ne sont cependant pas encore en application.

(17) Ou, dans le cas des sols forestiers, une source inépuisable de nutriments pour les arbres.

(18) Lorsqu'il n'y a pas trop de contraintes techniques liées à la taille et à la forme de la parcelle.