



# REQUASUD

## Base de données **sols** de REQUASUD



[3<sup>ème</sup> synthèse]

par  
V. Genot  
M. Renneson  
G. Colinet  
M-J. Goffaux  
T. Cugnon  
B. Toussaint  
D. Buffet  
R. Oger

Avec la collaboration  
des laboratoires  
de la Chaîne  
Minérale-sols  
et de la Cellule de  
coordination de  
l'ASBL **REQUASUD**.



Wallonie

# 1 PRÉLIMINAIRE

**A** l'heure où les questions agronomiques, environnementales et économiques imposent à l'agriculteur une gestion parcimonieuse de ses intrants agricoles, le besoin d'une bonne connaissance de son sol et du potentiel de ce dernier s'impose. La connaissance des propriétés physiques et chimiques des sols constitue en effet un préalable au choix des spéculations, à l'affectation des parcelles et à la définition d'itinéraires phytotechniques.

L'analyse de terre, son interprétation et le conseil de fumure qui en découle sont des outils indispensables d'évaluation et d'aide à la décision, mis à la disposition des agriculteurs.



## Coordonnées des auteurs

**V. Genot, M. Renneson, G. Colinet**  
Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech,  
Unité de Science du Sol

**M.-J. Goffaux, T. Cugnon, B. Toussaint**  
Cellule de coordination de l'ASBL REQUASUD

**D. Buffet, R. Oger**  
Département Agriculture et milieu naturel, CRA-W

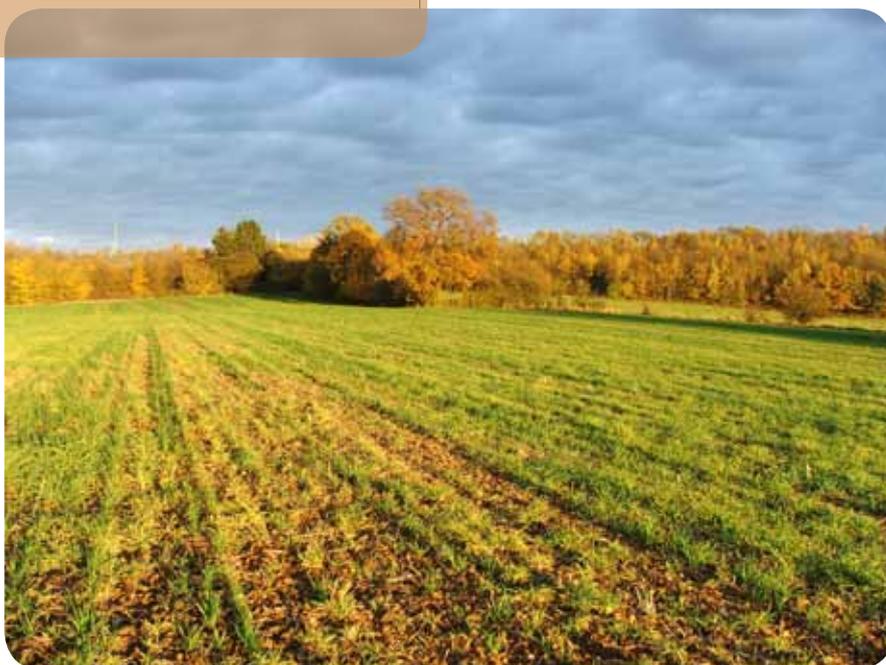
1/ Préliminaire	2
2/ Introduction	3
3/ L'analyse de terre en Wallonie	4
L'échantillonnage des terres	4
L'analyse de terre	5
Evaluation de la fertilité chimique des sols	5
Evaluation du statut environnemental	6
Garantie de la qualité des analyses	6
4/ La base de données de REQUASUD	7
La validation des données	7
Les données disponibles	7
La spatialisation des données	10
La visualisation des cartes de l'état de fertilité des sols sur internet	12
5/ Le suivi de l'état de fertilité chimique des sols wallons	14
Le statut acido-basique	15
Le statut organique	17
Le statut nutritif, les éléments majeurs	18
Le statut nutritif, les oligoéléments	23
6/ Perspectives d'utilisation de la base de données	28
Le sol, des fonctions multiples mais menacées	28
La matière organique dans les sols	28
Définitions	28
Statut organique des sols	28
Le phosphore dans les sols	30
Les éléments traces dans les sols	33
7/ Conclusion	34
Références bibliographiques	35

## 2. INTRODUCTION

Depuis sa création, la base de données de **REQUASUD** rassemble les analyses de terre réalisées par les laboratoires du réseau à la demande des agriculteurs et des particuliers. Chaque année, les résultats d'analyse de près de 20.000 échantillons de terre ( $\pm$  200.000 données analytiques par an) sont intégrés à la base de données. Celle-ci constitue dès lors un référentiel régional important qui permet de recadrer des situations ponctuelles dans un contexte plus général et, par là, d'en améliorer l'interprétation. Elle est aussi un outil précieux pour la recherche agronomique qui étudie, entre autres, les effets des systèmes de cultures sur l'élaboration du rendement et les modifications du milieu.

Jusqu'en 2002, l'origine géographique des échantillons était établie à l'aide du code postal du lieu de prélèvement. Cette information a déjà permis de réaliser différentes cartes et tableaux de synthèse pour les principaux paramètres agronomiques, qui ont été publiés et commentés dans deux précédentes brochures. La première, éditée en 1998, couvre la période 1994-1997 (Laroche *et al.*, 1998) et la seconde, éditée en 2005, couvre la période 1998-2002 (Colinet *et al.*, 2005).

Cette troisième brochure, couvrant la période 2003-2008, diffère des deux précédentes par la mise en place progressive d'un système de collecte des coordonnées géographiques des parcelles grâce à l'utilisation des GPS. Cette nouvelle méthode de localisation des parcelles permet une exploitation plus fine de la base de données et, en particulier, un suivi temporel de l'état de fertilité des sols, chose qu'il était difficile voire impossible d'envisager auparavant. De plus, cette troisième brochure se distingue également par l'intégration de la Carte des Principaux Types de Sols, dérivée de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (Legrain *et al.*, 2011), qui remplace la Carte des Associations de Sols utilisée précédemment, rendant plus précise l'interprétation de l'état de fertilité des sols. Enfin, la



dernière particularité de la brochure est sa coexistence avec un site internet permettant aux utilisateurs de visualiser l'ensemble des cartes disponibles pour les principaux paramètres agronomiques à l'échelle de la Wallonie et, également, en se focalisant sur des zones plus restreintes. Des données statistiques sont disponibles pour ces zones sélectionnées (<http://requasol.requasud.be>).

Après un bref rappel méthodologique, ce document présente la situation actuelle des sols agricoles étoffée de cartes et de tableaux commentés pour les principaux

éléments analysés dans le cadre du conseil de fumure. De plus, la comparaison avec les résultats des brochures précédentes permet de mettre en évidence certaines tendances évolutives importantes pour une gestion optimale du patrimoine "sol". Enfin, cette brochure a été plus spécifiquement axée sur l'apport de la base de données en réponse aux grands enjeux européens relatifs à la protection et à la préservation de la res-

source "sol". Ainsi, l'accent est mis sur les perspectives d'utilisation de la base de données abordées non seulement sous l'aspect purement lié à la fertilité mais également dans une optique environnementale : limitation des intrants et perte de fertilité des sols, phosphore et eutrophisation des eaux, matière organique et risque d'érosion, constitution et préservation des stocks de carbone...

### 3. L'ANALYSE DE TERRE EN WALLONIE

L'analyse de terre contribue à la connaissance des propriétés physico-chimiques des sols et ainsi au choix d'itinéraires phytotechniques respectueux de l'environnement. Elle s'inscrit dans le contexte actuel d'une agriculture durable avec des exigences économiques et environnementales fortes.



Figure 1 : Du prélèvement d'un échantillon au conseil de fumure, la chaîne de l'analyse comporte quatre maillons principaux. Adapté de Diab-Sas (1991) et Roebroek (2009).

Les exigences économiques et environnementales contraignent l'agriculteur à réduire ses intrants en vue de diminuer l'impact économique et de limiter les pertes en éléments hors du système sol-plante. Cette réduction d'intrants doit cependant être raisonnée au risque d'appauvrir le sol et de pénaliser l'agriculteur. L'analyse de terre, dans le processus menant au conseil de fumure (figure 1), est un des moyens permettant à l'agriculteur de répondre à ces nouvelles exigences.

Les analyses de terre, de même que les conseils de fumure pour les agriculteurs sont réalisés par les laboratoires de proximité membres du réseau **REQUASUD**. Le travail en réseau permet une harmonisation des protocoles intervenant à chaque étape du processus menant au conseil et assure la qualité des résultats fournis.

#### L'échantillonnage des terres

L'échantillonnage est une étape clef de la chaîne d'opération menant au conseil, dont la part d'incertitude sur le résultat final est généralement sous-estimée car difficilement appréciable contrairement à un résultat d'analyse au laboratoire. Il importe donc

d'apporter une attention toute particulière à cette étape et de tout mettre en œuvre pour diminuer l'imprécision qui peut y être liée. Il est également indispensable de disposer d'outils cartographiques pour mettre à disposition du technicien de prélèvement, du laboratoire et de l'agronome toutes les informations utiles à la bonne exécution de leurs fonctions et à l'interprétation des résultats d'analyse.

Ainsi, le réseau **REQUASUD** a développé un portail cartographique nommé **REQUACARTO** (<http://requacarto.cra.wallonie.be>) permettant :

- aux techniciens responsables des prélèvements du réseau de réaliser un échantillonnage de qualité et de collecter l'information utile à la réalisation d'un conseil de fumure pertinent ;
- à l'agronome du laboratoire de disposer des données nécessaires au conseil pour les différentes zones de prélèvement au sein d'une parcelle.

Nous nous référons à la brochure relative au raisonnement de la fumure phosphatée qui détaille le fonctionnement de ce portail et son intérêt dans le cadre du raisonnement de la fertilisation (Genot *et al.*, 2011a). Cette publication est disponible sur le site

internet de **REQUASUD** ([www.requasud.be](http://www.requasud.be)) ou par simple demande à la cellule de coordination de l'ASBL ou à l'Unité de Science du Sol de ULg-GxABT.

Dès que cela s'avère possible, les laboratoires utilisent le portail **REQUACARTO** et dans ce cas, un géo-identifiant (Geo-ID) est lié à l'échantillon prélevé. Ce Geo-ID est un code, méta-identifiant, assigné par le système à une zone de prélèvement. Il inclut dans sa codification l'information permettant de localiser l'objet cartographique mais aussi de le caractériser dans l'espace et dans le temps. Ainsi, lors d'une campagne de terrain, il permet au technicien de prélèvement de localiser la parcelle et les zones de prélèvement sur son GPS et de connaître son positionnement par rapport à celles-ci pour vérifier qu'il effectue bien le prélèvement à l'intérieur de la zone à analyser. D'autre part, en l'associant aux prélèvements, le Geo-ID permet de géoréférencer de façon unique les résultats des analyses de terre. Outre les aspects liés à la gestion de l'information, ce Geo-ID est donc valorisé à différents stades, de l'échantillonnage jusqu'au conseil agronomique et au suivi de l'état de fertilité des sols.

**Parcelle agricole :**

toute étendue de terre arable ou de prairie d'un seul tenant gérée de manière homogène au cours d'un cycle cultural (<http://wallex.wallonie.be/index.php?doc=10137>).

**Zone de prélèvement :**

dans le cadre d'une analyse de terre, part de la parcelle agricole caractérisée par :

- une même culture dans le même état végétatif,
- un même précédent cultural,
- un relief homogène,
- un sol homogène du point de vue de sa couleur, de sa texture, des éléments grossiers, de son humidité... (Normes NF X 31-100, ISO 10381-2).

La texture d'un sol correspond à la caractérisation de la dimension des constituants minéraux du sol et à leur proportion relative. On distingue les éléments grossiers dont le diamètre des particules supérieure à 2 mm (cailloux, pierres...) et la terre fine dont le diamètre est inférieur à 2 mm (sables (>50 µm), limons (entre 2 et 50 µm) et argiles (< 2 µm)) (adapté de Schwartz *et al.*, 2005).

**Echantillon composite :**

échantillon moyen composé d'un nombre défini de prélèvements élémentaires et représentatifs d'une surface ou d'un volume à échantillonner (Normes NF X 31-100, ISO 10381-2).

## L'analyse de terre

Chaque échantillon, prélevé au sein d'une zone de prélèvement, est ensuite analysé au laboratoire en vue de caractériser la fertilité chimique de la parcelle.

### EVALUATION DE LA FERTILITÉ CHIMIQUE DES SOLS

Les principaux indicateurs de la fertilité chimique des sols concernent le statut acido-basique, le statut organique et le statut en éléments nutritifs (figure 2).

**Les paramètres explicatifs de la fertilité chimique du sol**, tels que la texture et la capacité d'échange cationique (CEC), permettant d'interpréter les résultats obtenus pour évaluer le statut nutritif, sont très rarement demandés par les agriculteurs, malgré leur importance pour le diagnostic agronomique. Ainsi, parmi les 300.000 prélèvements réalisés par les laboratoires du réseau **REQUASUD**, seuls 590 résultats analytiques validés de la CEC sont disponibles dans la base de données de **REQUASUD**. Au vu de cette constatation, des solutions alternatives ont dû être envisagées pour fournir une information plus précise qu'une moyenne régionale pour ces paramètres. Une de ces alternatives

est l'estimation de la mesure par spectroscopie dans le proche infrarouge (SPIR). Les laboratoires du réseau sont ainsi parmi les pionniers dans ce domaine puisque très rares sont les laboratoires d'analyse de terre dans le monde qui utilisent cette technique en routine (Genot *et al.*, 2011a). Le taux d'argile et la CEC des échantillons de terre sont estimés selon cette méthode lorsque l'analyse n'est pas demandée par l'agriculteur afin d'améliorer le conseil fourni à celui-ci. Le portail cartographique **REQUACARTO** permet également d'évaluer la granulométrie des échantillons par le biais des sigles de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (CNSW) (Legrain *et al.*, 2007).

**La Capacité d'Echange Cationique (CEC)** correspond à la capacité d'un sol à piéger ou libérer les cations (Schvartz *et al.*, 2005). Ce paramètre, qui varie en fonction du pH, est un indicateur de la qualité et de la fertilité des sols. Ainsi, lorsque la CEC est faible, le potentiel du sol l'est également. Dans ce cas, la réserve en cations du sol est peu importante. Cela a comme conséquence, d'un point de vue agronomique, de devoir privilégier un fractionnement des apports d'engrais dans ces sols.

**Le statut acido-basique** peut être exprimé par un certain nombre de paramètres dont le pH, l'acidité d'échange ou la teneur en aluminium échangeable. En pratique, c'est le pH du sol qui est le plus couramment retenu. Celui-ci est une expression synthétique des conditions physico-chimiques qui président en partie à la structuration du sol (porosité pour l'eau et l'air), à l'activité microbienne (humification et minéralisation de la matière organique) et à la disponibilité des éléments majeurs ou des éléments en trace. Les grandes cultures présentent souvent un optimum de croissance dans la gamme de pH comprise entre 6,0 et 7,0. Le pH mesure l'activité des protons dans une suspension de terre avec une solution qui peut être de l'eau ou un sel neutre (KCl, CaCl<sub>2</sub>, BaCl<sub>2</sub>...). Au sein du réseau **REQUASUD**, le pH est communément mesuré dans une solution de KCl 1 N.

### Menu des analyses réalisées par les laboratoires membres de la chaîne Minérale - sols de REQUASUD

Paramètres explicatifs	Evaluation du statut acido-basique	Evaluation du statut organique	Evaluation du statut nutritif	Evaluation du statut environnemental
Texture CEC	pHKCl pHeau Besoin en chaux	COT NT Rapport C/N	Eléments disponibles: Ca-Mg-K-P Rapport K/Mg Oligoéléments: Al-Cu-Fe-Mn-Zn	Eléments traces métalliques: As-Cd-Cr-Cu-Hg-Ni-Pb-Zn
ISO 11277 ISO 23470 OU Evaluation par SPIR	ISO 10390	ISO 14235 ou ISO 10694 ISO 11261 ou ISO 13878	Méthode de Lakanen-Erviö	ISO 11466

Figure 2 : Analyses communément réalisées par les laboratoires membres de la chaîne Minérale-sols de REQUASUD.

**Le statut organique**, quant à lui, est généralement évalué par la mesure du carbone organique total (COT) et de l'azote total (NT). Outre les aspects quantitatifs purs, le carbone et l'azote interviennent dans l'état qualitatif de la matière organique au travers du rapport C/N. Celui-ci est un indicateur des conditions de minéralisation de la matière organique dans le sol.

**Le statut nutritif** est évalué par la mesure des cations disponibles (calcium, magnésium et potassium), du phosphore disponible et, selon les cas, des oligoéléments disponibles (cuivre, fer, manganèse ou zinc). L'extraction de la fraction d'un élément nutritif supposée disponible pour la plante s'effectue par l'action d'une solution d'acétate d'ammonium 0,5 N EDTA tamponnée à pH 4,65 avec un rapport sol/solution de 10 g/50 ml (Lakanen et Erviö, 1971). Cette méthode est développée dans le millésime 2012 du Compendium Wallon des Méthodes d'Echantillonnage et d'Analyse du Service Public de Wallonie.

#### **EVALUATION DU STATUT ENVIRONNEMENTAL**

Le statut environnemental est effectué via le dosage des éléments traces métalliques (ETM) présents dans le sol. La méthode préconisée consiste en une minéralisation du sol par l'eau régale selon un rapport sol/solution de 3 g/30 ml ajusté à 100 ml (Norme NF ISO 11466 :1995).

#### **GARANTIE DE LA QUALITÉ DES ANALYSES**

Au sein de **REQUASUD**, la qualité des analyses est notamment assurée par :

- le contrôle régulier des appareils et des méthodes d'analyse au travers d'essais interlaboratoires,
- la mise à disposition de matériaux de référence,
- la réalisation de cartes de contrôle.

Il est à noter que **REQUASUD** est engagé dans une démarche d'accréditation pour l'organisation de ces essais interlaboratoires. De plus, les laboratoires sont accrédités ou en cours d'accréditation pour certaines des méthodes d'analyse de terre. Toutes ces actions visent à garantir, pour l'agriculteur, un résultat d'analyse juste et fidèle.



**Les essais interlaboratoires**, également appelés comparaisons interlaboratoires, correspondent à l'organisation, l'exécution et l'évaluation de mesurages ou d'essais sur la même entité ou sur des entités similaires par deux laboratoires ou plus selon des conditions prédéterminées (Norme ISO/CEI 17043:2010).

**Un matériau de référence** est un matériau ou une substance dont une (ou plusieurs) valeur(s) de la (des) propriété(s) est (sont) suffisamment homogène(s) et bien définie(s) pour permettre de l'utiliser pour l'étalonnage des appareils, l'évaluation d'une méthode de mesurage, ou l'attribution de valeurs aux matériaux (Guide ISO/CEI 43-1:1997).

**La carte de contrôle** est une représentation graphique permettant de déterminer le moment où apparaît une cause assignable entraînant une dérive du processus (adapté de Norme ISO 7870-1:2007).

Un résultat d'analyse est toujours entaché d'une certaine erreur, appelée **incertitude de mesure**, qu'il est essentiel de connaître et d'intégrer dans l'interprétation du résultat. C'est un paramètre non-négatif qui caractérise la dispersion des valeurs d'une grandeur attribuée à un mesurande, à partir des informations utilisées (Norme ISO/CEI 17043:2010).

De plus, au sein d'un même laboratoire, une erreur de **répétabilité** est définie. Elle correspond à l'écart-type des résultats d'analyses indépendantes obtenus par la même méthode sur des échantillons identiques dans le même laboratoire, par le même opérateur, utilisant le même équipement et pendant un court intervalle de temps. **L'écart-type de répétabilité** est l'écart-type des résultats d'essai obtenus sous des conditions de répétabilité. Le symbole utilisé est  $s_r$ .

**La limite de répétabilité** est la valeur au-dessous de laquelle est située, avec une probabilité de 95 %, la valeur absolue de la différence entre deux résultats d'essai, obtenus sous des conditions de répétabilité. Le symbole utilisé est  $r$ . Cette valeur peut également être exprimée en valeur relative par rapport à la moyenne générale de l'essai. Dans ce cas, le symbole utilisé est  $r\%$  (Norme ISO 5725-2:1994). Chaque laboratoire du réseau peut, sur simple demande, vous fournir les erreurs de répétabilité liées à chaque méthode d'analyse.

Les essais interlaboratoires permettent également de définir la **reproductibilité** qui correspond à l'écart-type de l'accord entre des résultats d'analyse obtenus par la même méthode sur des individus d'essais identiques dans différents laboratoires, avec différents opérateurs et utilisant des équipements différents.

**L'écart-type de reproductibilité** est l'écart-type des résultats d'essai obtenus sous des conditions de reproductibilité. Le symbole utilisé est  $s_R$ .

**La limite de reproductibilité** est la valeur au-dessous de laquelle est située, avec une probabilité de 95 %, la valeur absolue de la différence entre deux résultats d'essai obtenus sous des conditions de reproductibilité. Le symbole utilisé est  $R$ . Cette valeur peut également être exprimée en valeur relative par rapport à la moyenne générale de l'essai. Dans ce cas, le symbole utilisé est  $R\%$  (Norme ISO 5725-2:1994).

## 4. LA BASE DE DONNÉES DE REQUASUD

La base de données centralisée de **REQUASUD** comprend un volume important d'informations. Chaque année, les laboratoires de proximité envoient à celle-ci la majeure partie des résultats d'analyses qu'ils ont réalisées. Ceci concerne actuellement, par ordre croissant d'enregistrements, les résultats d'analyses de miel, d'effluents d'élevage, de profils azotés, d'échantillons microbiologiques de produits alimentaires, de fourrages, de céréales, et d'échantillons de terre. Fin 2010, les résultats analytiques validés de plus de 300.000 échantillons de terre distincts étaient enregistrés dans la base de données, ce qui représente environ 3.000.000 de données analytiques. La collecte et le transfert de ces données repose sur une harmonisation et une standardisation des procédures utilisées pour le prélèvement des échantillons, leur description, la détermination des données analytiques et les modalités du transfert de ces données.



### La validation des données

Avant leur intégration dans la base de données, les données liées à chaque enregistrement sont soumises à une procédure de validation afin d'écartier les éventuelles données erronées, que ce soit au niveau de l'identification des échantillons ou de l'expression des résultats de l'analyse. L'acceptation des résultats d'une analyse repose sur la confrontation des valeurs des paramètres analytiques à des limites de conformité et sur la vérification de la cohérence des éléments de la fiche signalétique de l'échantillon. Cette fiche de renseignements qui est associée à chaque échantillon est essentielle car elle permet notamment de réaliser des extractions de données en fonction de l'origine géographique, de l'occupation du sol ou du type de culture.

### Les données disponibles

Jusqu'en 2002, l'origine géographique des échantillons était exclusivement établie à partir du code postal du lieu de prélèvement. Au départ de cette information, différents tableaux de synthèse ou repré-

sentations cartographiques pouvaient être générés sur base des limites communales voire des limites administratives plus larges (province, arrondissement, région agricole...). L'utilisation des données statistiques calculées pour ce type de division administrative ne permettait cependant pas d'effectuer une analyse spatiale fine. Ce mode d'expression des résultats ne tient en effet pas compte de la diversité des sols au sein d'une commune ou de l'information qui peut être récupérée en associant, en fonction de leur proximité, des communes ayant des types de sols identiques. La réallocation de cette information à des unités cartographiques plus pertinentes pour faciliter leur combinaison avec d'autres variables liées à l'environnement est devenue une étape indispensable pour l'exploitation plus fine de ce gisement de données.

Pour la période 2003-2008, deux types de référencement coexistent pour les résultats des analyses de terre dans la base de données de **REQUASUD** :

- des données géolocalisées uniquement selon le code postal du lieu de prélèvement. Ce groupe est encore actuellement majoritaire mais tend à diminuer chaque année ;

Tableau 1

Répartition dans la base de données des échantillons de terre référencés par le centroïde de la parcelle, selon les régions agricoles et le type d'occupation, pour la période 2003-2008.

Région agricole (1) Occupation du sol	Ardenne	Campine hennuyère	Condroz	Famenne	Haute Ardenne	Région herbagère	Fagne	Région jurassique	Région limoneuse	Région sablo-limoneuse	Total
Cultures en rotation	173	5	570	17	2	76	0	68	5894	4310	11115
% (1)	12,4	1,7	4,3	1,2	1,6	4	0	9,5	17,3	34,3	16,8
Prairies permanentes	295	0	97	17	36	89	5	4	257	228	1028
% (1)	7,6	0,0	2,4	1,1	3,4	1,8	1,9	1,0	9,8	18,2	5,1

(1) % : pourcentage d'échantillons référencés selon le centroïde par rapport au nombre total d'échantillons de la région et pour les deux principaux types d'occupation du sol.

Tableau 2

Répartition du nombre d'analyses de terre par région agricole et par type d'occupation, pour la période 2003-2008.

Région agricole (1) Occupation du sol	Ardenne	Campine hennuyère	Condroz	Famenne	Haute Ardenne	Région herbagère	Fagne	Région jurassique	Région limoneuse	Région sablo-limoneuse	Total	%
Cultures en rotation	1399	288	13404	1244	127	1924	327	718	34123	12554	66108	67,4
Prairies permanentes	3865	43	4094	1496	1061	4929	364	396	2629	1254	20131	20,5
Prairies temporaires	2638	-	316	192	11	89	31	387	38	27	3729	3,8
Arboriculture	91	4,0	168	3	8	73	1	2	435	449	1234	1,3
Floriculture	1	-	29	3	1	20	-	1	20	45	120	0,1
Fruiticulture	1	-	42	4	4	193	-	-	482	404	1130	1,2
Maraîchage	-	1	20	-	-	29	-	-	397	28	475	0,5
Pelouses	55	3	298	11	16	127	1	18	503	620	1652	1,7
Potagers	110	61	646	30	33	383	9	52	1461	674	3459	3,5
Autres	25	-	2	-	1	5	-	6	2	2	43	0,0
<b>Total</b>	<b>8185</b>	<b>400</b>	<b>19019</b>	<b>2983</b>	<b>1262</b>	<b>7772</b>	<b>733</b>	<b>1580</b>	<b>40090</b>	<b>16057</b>	<b>98081</b>	<b>100,0</b>
% (2)	8,3	0,4	19,4	3,0	1,3	7,9	0,7	1,6	40,9	16,4	100,0	
SAU (ha) (3)	108669	1303	130812	62594	27292	54980	14755	32132	271923	45386	749846	
D.E. globale (4)	7,5	30,7	14,5	4,8	4,6	14,1	5,0	4,9	14,7	35,4	13,1	
D.E. Cultures	10,5	85,6	16,5	6,6	8,3	25,7	7,1	9,1	15,8	34,5	17,1	
D.E. Prairies	5,9	8,6	7,2	3,0	3,2	7,6	2,6	2,4	4,2	6,6	5,2	

(1) Région agricole : région agricole telle que définie par l'Institut National de Statistique

(2) % : pourcentage par rapport au nombre total d'échantillons analysés

(3) SAU : surface agricole utile (Institut National de Statistique, données 2008 parues en mai 2009)

(4) D.E. : densité de l'échantillonnage : nombre d'échantillons analysés pour 100 ha pour la période 2003-2008

• des données géoréférencées par les coordonnées géographiques du centroïde de la parcelle indépendamment de la zone de prélèvement. Près de 13.000 échantillons de sol ont été géoréférencés par leur coordonnées (x, y) et intégrés à la base de données, soit environ 13 % du nombre total

d'échantillons dans la base de données pour la période 2003-2008.

Le tableau 1 reprend la ventilation entre les échantillons localisés à la commune et à la parcelle pour les sols sous prairies permanentes et les sols sous cultures en rotation en fonction des différentes régions

agricoles. Les sols sous cultures en rotation représentent la part la plus importante des échantillons localisés à la parcelle. Le taux d'échantillons géoréférencés à la parcelle est également plus élevé en Région limoneuse, en Région sablo-limoneuse et en Ardenne. Ces différences s'expliquent prin-



Figure 3 : Carte des régions agricoles de Wallonie comme définies par l'Institut National de Statistique.

cipalement par la mise en place différenciée des systèmes de géoréférencement entre les laboratoires du réseau.

A partir de 2009, un troisième type de référencement est présent dans la base ; des données localisées par leur Geo-ID. Ce type de géoréférencement permet de localiser précisément la zone de prélèvement sur la parcelle, ce qui contribue à une meilleure valorisation spatio-temporelle dans le cadre du suivi de la fertilité des sols. L'objectif est, à terme, de ne conserver dans la base de données que les échantillons localisés selon ce Geo-ID ou, à défaut, selon les coordonnées géographiques du centroïde de la parcelle. Les échantillons uniquement référencés selon le code postal ne seront plus enregistrés dans la base de données.

La synthèse de l'état de fertilité présentée ici porte sur l'ensemble des échantillons couvrant la période 2003-2008 pour lesquels les informations ont été effectivement validées par les procédures mises en place. Le tableau 2 donne un aperçu de la distribution du nombre d'échantillons au travers des différentes régions agricoles de Wallonie (figure 3) et des principaux types d'occupation ou d'utilisation du sol.

Un certain nombre d'éléments peuvent être mis en évidence sur base du tableau 2 :

- Globalement, toutes régions et toutes années confondues, la majorité des échan-

tillons concernent des sols sous cultures en rotation (67,4 %) et sous prairies permanentes (20,5 %). Les autres occupations du sol (prairies temporaires, arboriculture, floriculture, fruiticulture, maraichage, pelouses ou potagers) sont nettement moins représentées.

- Toutes occupations confondues, les régions agricoles qui fournissent le plus grand nombre d'échantillons sont, dans l'ordre décroissant : la Région limoneuse (40,9 %), le Condroz (19,4 %), la Région sablo-limoneuse (16,4 %), l'Ardenne (8,3 %) et la Région herbagère liégeoise (7,9 %). Les autres régions représentent chacune moins de 3 % des résultats.

- Le nombre d'échantillons analysés ramené à la SAU (Surface Agricole Utile) de chaque région agricole est un élément utile sur un plan pratique pour évaluer la densité d'échantillonnage ainsi que le niveau de représentativité de l'information. Il faut toutefois garder à l'esprit que le nombre d'échantillons porte ici sur une période de 6 ans. Pour l'ensemble des régions, la densité d'échantillonnage (nombre d'échantillons analysés pour 100 ha) est de 13,2 soit 2,2 échantillons par 100 ha et par an ou encore 1 échantillon pour 45 ha et par an. L'hypothèse est faite ici qu'au cours de la période de référence, chaque parcelle n'est pas échantillonnée plus d'une fois. L'examen du tableau 2 indique que les régions



échantillonnées le plus intensément sont : la Région sablo-limoneuse et la Campine hennuyère. La situation est proche de la moyenne pour le Condroz, la Région limoneuse et la Région herbagère liégeoise. C'est en Haute Ardenne, en Fagne, en Famenne et dans la Région jurassique que les données sont les moins nombreuses par rapport à la SAU, principalement en ce qui concerne les sols sous prairies. Pour pouvoir évaluer correctement la pertinence de l'information analytique disponible dans la base de données, il est utile d'évaluer la densité d'échantillonnage de chaque période en faisant la séparation des sols sous cultures et sous prairies. Cela nous permet de prendre en compte l'ensemble des informations liées aux éléments disponibles vu que la densité d'échantillonnage pour ces occupations de sol est toujours supérieure à 2,4, qui est une densité d'échantillonnage acceptable. La densité d'échantillonnage spécifique aux analyses des oligoéléments est présentée dans les tableaux 10 à 13.



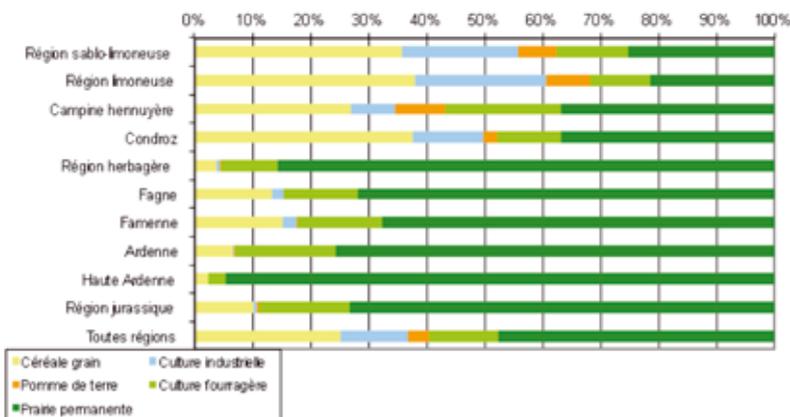


Figure 4 : Graphique des principales spéculations agricoles par région agricole en 2008 (d'après données SPW-DGARNE).

La figure 4 présente les principales spéculations agricoles par régions agricoles et permet de voir directement la prédominance des prairies en Région herbagère, Fagne, Famenne, Ardenne, Haute Ardenne et Région jurassique. Inversement, les régions limoneuse, sablo-limoneuse, la Campine hennuyère et le Condroz sont caractérisés par une majorité de sols sous cultures.

## La spatialisation des données

Le principe général des représentations cartographiques de l'état des sols repose sur le couplage des résultats des analyses enregistrées dans la base de données de **REQUASUD** avec la Carte des Principaux Types de Sols de Wallonie au 1/250.000, présentée en figure 5, qui est une version généralisée de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (Legrain *et al.*, 2007). La Carte des Principaux Types de Sols a été construite à partir de trois caractéristiques majeures des sols qui sont la texture, le drainage naturel et la charge caillouteuse pour les sols limono-caillouteux. La légende de cette carte a été conçue d'une part à partir de regroupements logiques des sols en fonction de ces trois caractéristiques et d'autre part sur base de statistiques identifiant les combinaisons les plus pertinentes de ces trois critères en terme de surface. L'échelle et le nombre d'unités de la Carte des Principaux Types de Sols sont bien adaptés au

niveau de précision attendu et à la nature des données qui sont disponibles pour la construction de cette synthèse sur l'état de fertilité des sols en Wallonie.

Afin de tenir compte de l'impact possible des pratiques agricoles propres à chaque région sur l'état des sols, la Carte des Principaux Types de Sols a été croisée avec la carte des régions agricoles pour définir des unités cartographiques correspondant à des **Unités Typologiques de Sols Régionales (UTSR)** dont les caractéristiques sont plus homogènes et mieux adaptées aux spécificités des différentes régions. Si les résultats des échantillons référencés à l'aide des coordonnées (x,y) peuvent être directement rattachés aux unités cartographiques des différentes UTSR, les données statistiques (moyennes, écarts-types...) correspondant aux échantillons localisés selon les codes postaux doivent, par contre, pouvoir être désagrégées afin de passer d'une échelle administrative vers une échelle correspondant aux unités cartographiques élémentaires que sont les UTSR. La désagrégation consiste en réalité à transférer les données d'une unité géographique source liée au code postal vers une unité cible (UTSR).

La désagrégation des données référencées au code postal repose sur le principe de proportionnalité. Pour un type d'occupation du sol, les résultats disponibles pour un code postal sont d'autant plus

représentatifs d'une UTSR que la surface correspondant à l'occupation du sol au sein de l'UTSR est importante par rapport à la surface totale de cette occupation du sol au sein de l'entité liée au code postal. Par ailleurs, au sein d'une région agricole, les données statistiques liées à chaque code postal auront un poids d'autant plus important que le nombre d'échantillons est élevé. Dans ce cas, le facteur de pondération choisi est la racine carrée du nombre d'échantillons car la précision d'une moyenne est proportionnelle à la racine carrée de l'effectif de la population. Ces facteurs de pondération sont utilisés pour calculer la valeur à attribuer à chaque UTSR au sein d'une région. Cette valeur est la moyenne pondérée des statistiques déterminées pour chaque commune.

Finalement, l'information retenue pour chaque UTSR est une combinaison des données disponibles pour les deux types de référencement (code postal ou coordonnée géographique) disponibles pour la période 2003-2008 en privilégiant autant que possible les données avec les coordonnées géographiques (x,y). Par convention, lorsqu'une UTSR comporte plus de 30 observations référencées par les coordonnées géographiques, la moyenne de ces observations ( $m_{réf}$ ) est affectée à l'UTSR. Dans le cas contraire, si aucun échantillon localisé à la parcelle n'est disponible pour l'UTSR, la moyenne calculée à partir des données désagrégées ( $m_{cp}$ ) est affectée à l'UTSR. Dans les situations intermédiaires, une moyenne pondérée est calculée en utilisant la relation suivante :

$$m_{UTSR} = m_{réf} \cdot n/30 + m_{cp} \cdot (30 - n)/30$$

avec  $n$  l'effectif des échantillons pour lesquels les coordonnées (x,y) sont disponibles

Lorsque, pour une UTSR, le nombre de données associées, dans le système de référencement par code postal est inférieur à 30, plusieurs UTSR de la région sont regroupées de manière à obtenir suffisamment de données pour calculer des statistiques robustes. Lorsque, pour une région agricole, le nombre de données est inférieur à 30 dans les deux systèmes de

### Principaux Types de Sols de Wallonie (Belgique)

Edition réduite de la carte originelle à 1/250 000



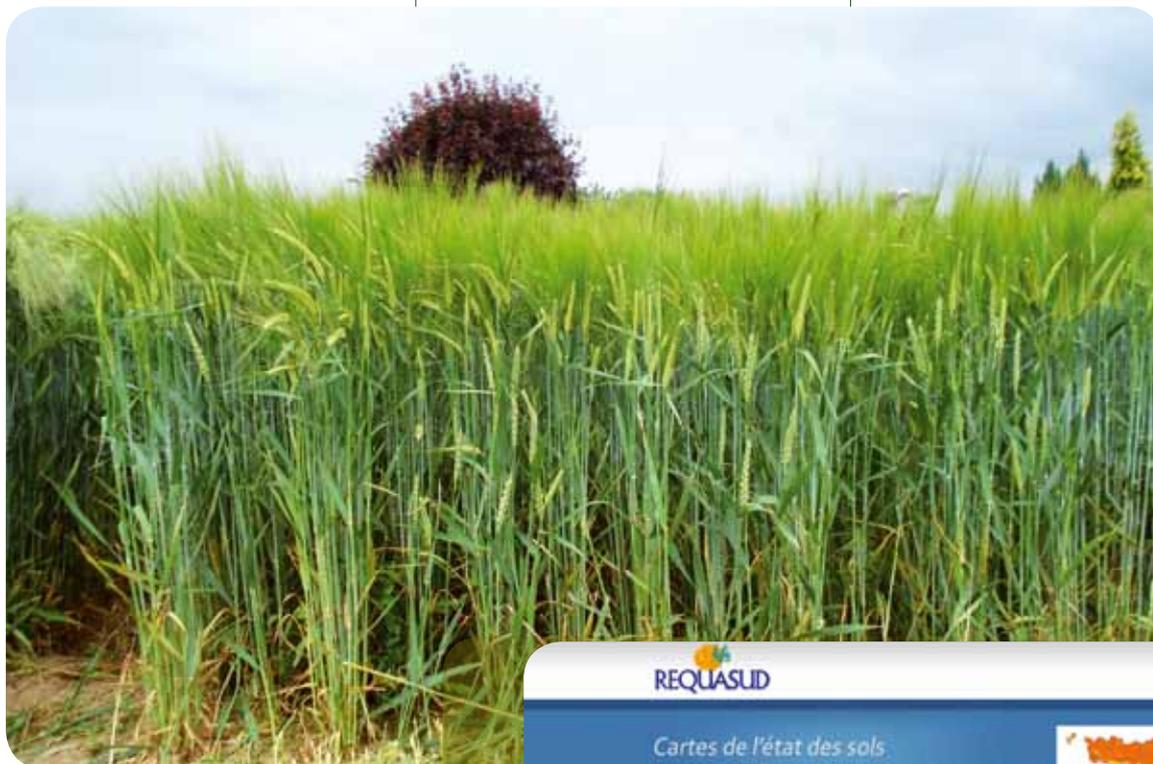
Figure 5 : Carte des Principaux Types de Sols de Wallonie à l'échelle 1/250.000.

géoréférencement, aucune valeur ou statistique n'est attribuée à la région qui sera représentée en gris sur la carte.

Les différentes étapes utilisées pour la construction des cartes d'état de fertilité des sols pour la période 2003-2008 sont résumées à la figure 6.



Figure 6 : Méthode de production des cartes de fertilité des sols de Wallonie.



## La visualisation des cartes de l'état de fertilité des sols sur internet

L'ensemble des cartes d'état de fertilité pour la période 2003-2008 est accessible via le site internet <http://requisol.requasud.be>. Un lien est également disponible sur le site de **REQUASUD** (<http://www.requasud.be>). La page d'accueil du site de l'état de fertilité des sols en Wallonie (figure 7) permet d'accéder aux différentes cartes.

Pour chaque carte affichée, un petit texte explicatif relatif au paramètre analysé et à son interprétation est disponible. Lors de la navigation, l'utilisateur peut agrandir une zone d'intérêt. En effet, l'information qui est restituée par le serveur est adaptée à l'agrandissement choisi :

❶ La carte générale (échelle 1/250.000) est générée à partir de la carte des UTSR. Les zones urbaines et les zones non cartographiées de la CNSW sont représentées par une couleur grise (figure 8). Pour permettre une meilleure lisibilité et interprétation, la légende des différentes cartes est identique à celle utilisée pour la deuxième brochure de l'état de fertilité des sols, période 1998-



Figure 7 : Page d'accueil du portail REQUASOL.

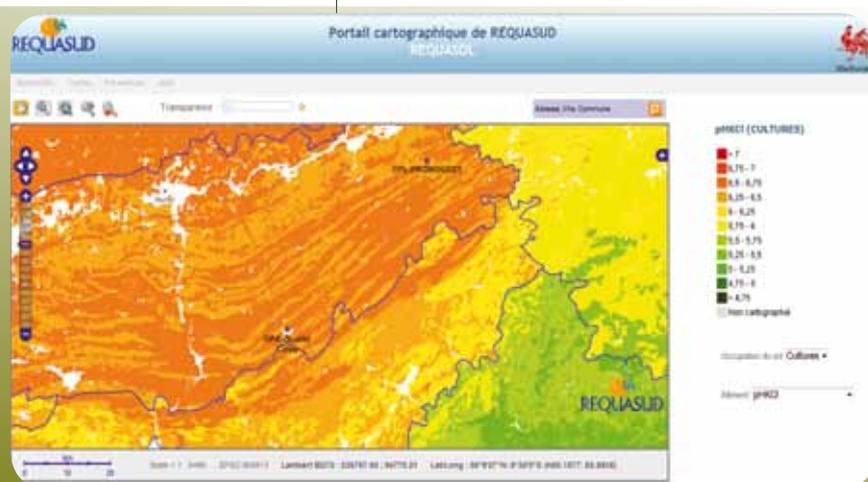


Figure 8 : Représentation cartographique de l'état de fertilité des sols (exemple du pH<sub>KCl</sub> pour les sols sous cultures) visualisable avec un niveau d'échelle de 1/250.000 à 1/40.000.

2002 (Colinet *et al.*, 2005). Les légendes sont également identiques pour les sols sous cultures et pour ceux sous prairies mais seule la légende des classes apparaissant sur la carte correspondante est représentée sur la page web.

➊ A partir du niveau d'agrandissement 1/40.000, des contraintes supplémentaires sont ajoutées pour tenir compte de l'occupation réelle du sol en Wallonie. Cette information (échelle 1/10.000) est issue de la Carte d'Occupation du Sol de Wallonie (version 2007) qui a été élaborée avec des données cartographiques vectorielles et des bases de données disponibles au niveau des administrations de la Wallonie (Baltus *et al.*, 2007). Le fond satellite de Google© est

utilisé comme couche de référence pour la consultation en ligne des données à partir de cette échelle à 1/40.000 (figure 9).

L'utilisateur a la possibilité d'obtenir des données statistiques par UTRS en cliquant sur une parcelle (figure 10). Ces statistiques seront identiques pour chaque parcelle de l'UTSR, il ne s'agit donc pas d'attribuer une valeur analytique à une parcelle mais bien de fournir une gamme de valeurs attendues dans une région donnée et pour un type de sol. La valeur obtenue pour la parcelle ou pour la zone de prélèvement pourra alors être comparée à cette gamme de valeurs attendue, ce qui contribuera au diagnostic agronomique et au conseil de fumure.

**On appelle médiane** d'une série statistique ordonnée (les valeurs ont été triées dans l'ordre croissant, de la plus petite à la plus grande) toute valeur M qui partage le groupe étudié en deux sous-groupes de même effectifs, chacun tel que :

- tous les éléments du premier groupe ont des valeurs inférieures ou égales à M ;
- tous les éléments du deuxième groupe ont des valeurs supérieures ou égales à M.

**La moyenne arithmétique, ou la moyenne**, d'une série statistique est le quotient de la somme de toutes valeurs de cette série par l'effectif total de la série.

**L'écart-type** d'une série statistique mesure l'étalement ou la dispersion des données par rapport à la moyenne. Il est égal à la racine carrée de la moyenne arithmétique des carrés des écarts à la moyenne.

**Les quartiles** permettent de séparer une série statistique triée par ordre croissant en quatre groupes de même effectif (à une unité près) :

- **Le premier quartile Q1** est la valeur de la série telle qu'au moins 25 % des valeurs de la série soient inférieures ou égales à Q1 ;
- **Le deuxième quartile Q2** correspond à la médiane de la série ;
- **Le troisième quartile Q3** est la valeur de la série telle qu'au moins 75 % des valeurs de la série soient inférieures ou égales à Q3.

**Un centile (percentile)** correspond à chacune des 99 valeurs qui divisent les données rangées en 100 parts égales, de sorte que chaque partie représente 1/100 de l'échantillon de la population.

(Adapté de Dagnelie, 2007)



Figure 9 : Représentation cartographique des données de l'état de fertilité des sols (exemple du potassium disponible pour les sols sous cultures) à partir de l'échelle 1/40.000.



Figure 10 : Statistiques relatives à l'UTSR sélectionnée pour l'exemple du potassium disponible en sols sous cultures.

## 5. LE SUIVI DE L'ÉTAT DE FERTILITÉ CHIMIQUE DES SOLS WALLONS

La fertilité d'un sol correspond à l'aptitude du sol à assurer, de façon durable, la production de biomasse végétale. Elle résulte de différents facteurs physiques, chimiques et biologiques qui doivent être pris en compte afin de pouvoir dresser un état complet. La fertilité chimique est une partie essentielle qui a trait à la nutrition minérale des végétaux via les concepts de biodisponibilité des éléments, de carences, de toxicités et d'équilibres. Cela nécessite donc un suivi de ces différents paramètres pour pouvoir déterminer une évolution de l'état de fertilité des sols.

Tenter d'évaluer l'évolution de l'état de fertilité chimique des sols en Wallonie est un processus assez complexe. Les principales données antérieures aux années 90 souffrent d'un manque d'harmonisation dans les procédures d'échantillonnage et d'analyse. Il est donc très délicat de les utiliser si ce n'est pour mettre en évidence de grandes tendances générales. A partir des années 90, l'harmonisation des protocoles d'échantillonnage et d'analyse au sein du réseau **REQUASUD**, le contrôle qualité des données et leur intégration dans la base de données de **REQUASUD** permettent d'entrevoir la possibilité d'une meilleure évaluation de l'évolution de cet état de fertilité. La principale lacune de cette base de données, qui réside dans la précision du



référencement des échantillons, est petit à petit en train d'être comblée. Ce référencement ajouté à l'intégration de la Carte des Principaux Types de Sols, nous permettra de disposer de tous les outils pour envisager, à moyen terme, de réels progrès dans le suivi de la fertilité des sols en Wallonie. Chaque échantillon sera, en effet, lié à une information géographique, typologique et analytique. De plus, le sol se caractérise par un pouvoir tampon très marqué. L'effet de certaines pratiques agricoles pouvant se faire encore sentir plusieurs dizaines d'années après leur abandon, on ne peut s'attendre à des changements significatifs sur un pas de temps aussi court. Notons toutefois que certains paramètres, tel que le pH, sont susceptibles de varier plus intensément et plus rapidement.

Dans le cadre de cette troisième synthèse, nous analysons l'état de fertilité pour la période 2003-2008 et tentons de dégager les principales tendances observables sur la période 1994-2008 qui correspond

à la période couvrant les trois brochures de l'état de fertilité des sols de **REQUASUD**. L'accent est ensuite mis (chapitre 6) sur l'intérêt de la base de données de **REQUASUD** pour répondre aux différentes problématiques agronomiques ou environnementales actuelles.

L'analyse statistique évaluant les tendances linéaires statistiquement significatives sur la période 1994-2008 se base sur les pentes des droites de régression des paramètres de fertilité exprimés en fonction du temps. Ces pentes traduisent la diminution ou l'augmentation observée pour chaque paramètre sur la période 1994-2008. Afin d'éviter des interprétations erronées des résultats, seules les valeurs qui sont statistiquement significatives ont été retenues. Indépendamment de la signification statistique, l'ordre de grandeur de ce changement par rapport à la valeur initiale du paramètre doit être examiné pour interpréter correctement chaque tendance mise en évidence.

## Le statut acido-basique

Le pH est une des premières caractéristiques du sol étudiée dans le cadre d'un état de fertilité. En effet, il est une expression des conditions physico-chimiques qui président en partie à la structuration du sol (porosité pour l'eau et pour l'air), à l'activité microbienne (humification et minéralisation de la matière organique) et à la disponibilité des éléments majeurs ou des oligoéléments (Colinet *et al.*, 2005).

Comme illustré à la figure 12 et au tableau 3, la régionalisation du  $pH_{KCl}$  est bien marquée en relation avec les matériaux parentaux et les pratiques culturales. Globalement, une partie des **sols sous cultures** en Wallonie (Région herbagère, Ardenne, Haute-Ardenne et Région jurassique) se situe sous la valeur optimale de 6,5. La Famenne, avec plus de 75 % des sols présentant un  $pH_{KCl}$  sous la valeur optimale de 6,5, est également en situation plus défavorable. Les valeurs de  $pH_{KCl}$  les plus élevées se rencontrent là où le chaulage a été pratiqué le plus intensivement ainsi que lorsque le sol présente une alcalinité naturelle. Par exemple, au sein de certaines régions agricoles, des différences sont observées en relation avec les principaux types de sols. En Famenne et en Condroz (figure 13), les sols limoneux à charge calcareuse ou à charge de silexite se caractérisent par un pH légèrement plus élevé que les sols développés sur le substrat psammitique. En Région jurassique, les sols sur calcaire bajocien sont relativement moins acides que les autres sols. Dans certaines situations, la nature du substrat ou de la charge caillouteuse exerce donc une action particulièrement déterminante sur le pH du sol.

L'étude de l'évolution du statut acido-basique des sols sous cultures montre une relative stabilité des valeurs du  $pH_{KCl}$  pour toutes les régions agricoles, voire une légère augmentation, de l'ordre de 1,7 à 6,1 % sur 15 ans, pour 5 régions agricoles dont la Campine hennuyère, la Famenne et la Région herbagère. Ces tendances indiquent que les agriculteurs entretiennent leurs sols par des chaulages réguliers pour

Le pH est traditionnellement mesuré par la méthode à l'eau ou au KCl. Les mesures de  $pH_{eau}$  et de  $pH_{KCl}$  sont très proches pour des pH basiques, par contre une différence de 0,5 à 1 unité est généralement observée pour les pH acides de par l'acidité d'échange. La valeur optimale du  $pH_{KCl}$  des sols sous cultures est de 6,5. Lorsque le  $pH_{KCl}$  est supérieur à 7,0, des problèmes de disponibilité en certains éléments peuvent être rencontrés. La figure 11 illustre la zone de  $pH_{eau}$  où l'élément est le plus disponible pour la plante. Par exemple, le phosphore est le plus disponible entre  $pH_{eau}$  6,0 et 8,0 ( $pH_{KCl}$  ~5,0 et ~7,0). En condition trop acide ou trop basique, le phosphore est retenu respectivement par les oxydes d'aluminium et par le carbonate de calcium. Un  $pH_{KCl}$  inférieur à 6,0 est indicateur d'une certaine désaturation du complexe d'échange, voire pour les  $pH_{KCl}$  inférieurs à 5,0, une certaine toxicité du sol liée à la présence d'oxydes d'aluminium et de fer. Toutes ces conditions sont peu propices au bon développement de la culture en place.

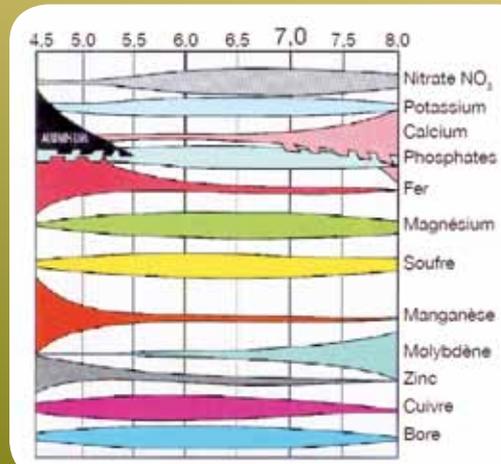


Figure 11 : Schéma d'assimilabilité des éléments nutritifs par les végétaux en fonction du  $pH_{eau}$  du sol (Truog in Merelle, 1998).

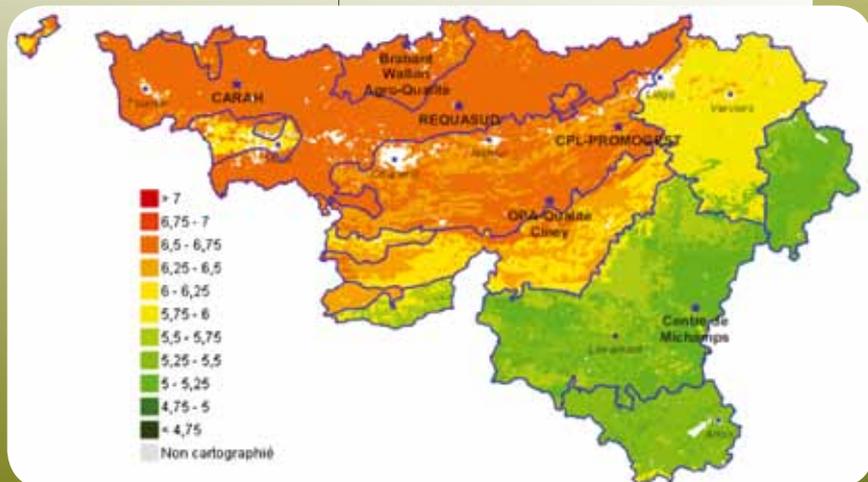


Figure 12 : Valeur moyenne du  $pH_{KCl}$  des sols sous cultures en Wallonie – période 2003-2008.

Tableau 3

pH<sub>KCl</sub> des sols sous cultures pour les différentes régions agricoles en Wallonie. Paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population (période 2003-2008) et évaluation des tendances (période 1994-2008).

Région	Statistiques des données 2003-2008										Tendance 1994-2008 (%)
	N	Moyenne	Ecart-type	P95	P90	P75	P50	P25	P10	P5	
Ardenne	1399	5,4	0,56	6,4	6,2	5,8	5,4	5,0	4,7	4,5	-
Campine hennuyère	288	6,3	0,47	7,1	6,9	6,7	6,3	6,1	5,8	5,5	↗ 6,1
Condroz	13404	6,5	0,48	7,2	7,1	6,9	6,6	6,3	5,9	5,7	↗ 1,7
Fagne	327	6,3	0,52	7,1	6,9	6,7	6,4	6,0	5,7	5,4	-
Famenne	1244	6,1	0,50	6,9	6,8	6,5	6,2	5,8	5,4	5,2	↗ 5,1
Haute Ardenne	127	5,2	0,40	5,8	5,7	5,5	5,2	4,9	4,8	4,7	-
Herbagère	1924	6,1	0,54	7,0	6,9	6,5	6,2	5,8	5,4	5,2	↗ 5,0
Jurassique	718	5,4	0,72	6,8	6,5	5,9	5,4	4,9	4,5	4,4	-
Limoneuse	34122	6,6	0,49	7,3	7,2	7,0	6,7	6,3	6,0	5,7	↗ 1,7
Sablo-Limoneuse	12554	6,5	0,60	7,4	7,3	7,0	6,5	6,1	5,7	5,5	-
Toutes régions	66107	6,5	0,57	7,3	7,2	6,9	6,6	6,2	5,8	5,5	-

Tendance : augmentation ou diminution en pourcent de la valeur du paramètre sur la période 1994-2008.

maintenir un pH optimal pour la croissance des plantes.

Les terres sous prairies se caractérisent quant à elles par un taux de matière organique important avec, pour conséquence, un pouvoir tampon plus élevé et une réaction plus lente au processus de chaulage. En outre, la couverture du sol est permanente et se caractérise par une activité racinaire durant l'essentiel de l'année. Des acides organiques sont donc libérés durant de lon-

gues périodes entraînant une plus grande acidité du milieu. Enfin, les plantes prairiales sont majoritairement des graminées pour lesquelles le pH du sol peut être plus faible qu'en grandes cultures. Le pH<sub>KCl</sub> optimum pour les terres sous prairies permanentes est de 5,5 à 6,0.

Dans l'ensemble, comme illustré par la figure 14 et le tableau 4, les terres les plus acides sous cultures le sont également sous prairies (Ardenne, Haute Ardenne,

Région jurassique) avec le même ordre de grandeur. Dans ces régions, les sols trop acides concernent 50 à 75 % des valeurs rencontrées. La nature « plus acide » des matériaux parentaux et les conditions climatiques expliquent notamment cette distribution. Les différences entre les terres sous cultures et sous prairies se marquent plus pour les autres régions agricoles, avec une différence de 0,5 à 1 unité de pH séparant en moyenne les deux occupations. Comme pour les sols sous cultures, environ 50 % des valeurs observées sont sous le seuil de 5,5.

La tendance générale, sur quinze années d'observation, est plutôt à la stabilisation des valeurs rencontrées. On note une légère acidification des terres en Région limoneuse et en Haute Ardenne. C'est également pour cette dernière région que la moyenne sur la période 2003-2008 est la plus faible et inférieure au seuil de 5,5.

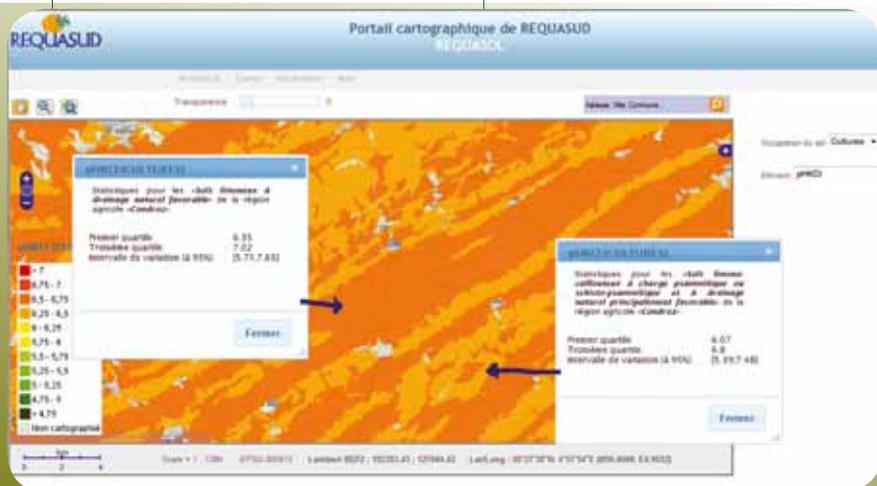


Figure 13 : Extrait de la carte du pH<sub>KCl</sub> des sols sous cultures centrée sur le Condroz.

## Le statut organique

Le rôle et l'importance de la matière organique sont au cœur des principaux débats sociétaux actuels, notamment en relation avec la nouvelle proposition de directive cadre sur la protection des sols, à l'étude depuis 2006 et toujours en attente d'approbation finale au moment de la parution de

cette brochure. La matière organique du sol représente l'indicateur principal de la qualité des sols, non seulement pour les fonctions agricoles, que ce soit en termes de production ou d'économie, mais également pour les fonctions environnementales telles que la séquestration du carbone, la qualité de l'air et la qualité des eaux. En effet, la matière organique et l'activité biologique qui en découle ont une influence majeure sur les propriétés physico-chimiques des sols. L'agrégation et la stabilité de la structure du sol augmentent avec le contenu en carbone des sols. Cela a des conséquences directes sur la dynamique de l'eau et la résistance à l'érosion par l'eau et le vent. Le carbone des sols affecte également la dynamique et la biodisponibilité des principaux éléments nutritifs. Enfin, la matière organique influence également le devenir des polluants (pesticides et métaux lourds) dans le sol en intervenant dans les processus de rétention et de dégradation. C'est pourquoi, vu l'importance de ce paramètre, l'état de fertilité des sols en relation avec la matière organique est traité dans le chapitre 6 de cette brochure.

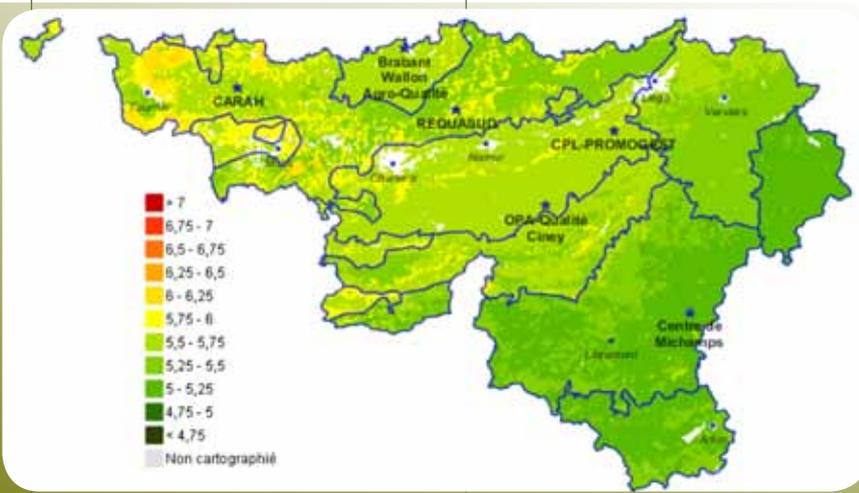


Figure 14 : Valeur moyenne du  $pH_{KCl}$  des terres sous prairies permanentes en Wallonie – période 2003-2008.

Tableau 4

$pH_{KCl}$  des terres sous prairies permanentes pour les différentes régions agricoles en Wallonie. Paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population (période 2003-2008) et évaluation des tendances (période 1994-2008).

Région	Statistiques des données 2003-2008										Tendance 1994-2008 (%)
	N	Moyenne	Ecart-type	P95	P90	P75	P50	P25	P10	P5	
Ardenne	3866	5,3	0,42	6,0	5,8	5,5	5,2	5,0	4,8	4,6	-
Campine hennuyère	43	6,0	0,47	6,8	6,7	6,3	6,0	5,7	5,4	5,2	-
Condroz	4094	5,6	0,45	6,4	6,2	5,9	5,6	5,3	5,1	4,9	-
Fagne	364	5,7	0,43	6,5	6,3	5,9	5,6	5,4	5,2	5,1	-
Famenne	1496	5,7	0,45	6,5	6,3	6,0	5,7	5,4	5,2	5,0	-
Haute Ardenne	1061	5,2	0,34	5,8	5,7	5,5	5,2	5,0	4,8	4,7	↘ -2,8
Herbagère	4929	5,5	0,39	6,1	6,0	5,8	5,5	5,3	5,0	4,8	-
Jurassique	396	5,3	0,56	6,3	6,1	5,6	5,2	4,8	4,6	4,6	-
Limoneuse	2629	5,8	0,53	6,8	6,5	6,2	5,8	5,5	5,2	5,0	↘ -4,1
Sablo-Limoneuse	1255	5,7	0,62	6,9	6,6	6,1	5,6	5,3	5,0	4,8	-
Toutes régions	20133	5,5	0,49	6,4	6,2	5,8	5,5	5,2	4,9	4,8	-

Tendance : augmentation ou diminution en pourcent de la valeur du paramètre sur la période 1994-2008.

## Le statut nutritif, les éléments majeurs

Comme détaillé dans la deuxième synthèse sur l'état de fertilité des sols (Colinet *et al.*, 2005) et dans le dossier scientifique de l'état de l'environnement wallon de 2006-2007 (Genot *et al.*, 2007), le phosphore, le magnésium et le potassium sont trois éléments indispensables et irremplaçables de la nutrition des plantes. De plus, le phosphore est un élément qui participe également à l'eutrophisation des eaux de surface ; il a donc une connotation environnementale à intégrer dans l'interprétation des données disponibles en Wallonie. C'est pourquoi, l'état des terres en phosphore disponible est également traité dans le chapitre 6 de cette brochure.

Les teneurs observées en potassium pour les terres cultivées et les prairies sont présentées respectivement aux tableaux 6 et 7. Les teneurs observées en magnésium pour les terres cultivées et les prairies sont présentées respectivement aux tableaux 8 et 9. Les figures 15 et 16 montrent la répartition spatiale des teneurs moyennes en potassium, magnésium ainsi que le rapport K/Mg pour ces deux types d'occupation du sol.

Globalement, les teneurs en **potassium disponible** dans les sols sous cultures sont assez homogènes sur l'ensemble de la Wallonie à l'exception de la Région herbagère où les teneurs sont nettement plus élevées et de la Haute Ardenne où les teneurs sont un peu plus faibles. En prairies, les teneurs les plus élevées se rencontrent en Ardenne et les teneurs les plus faibles en Haute Ardenne. A l'échelle de la Wallonie, les teneurs moyennes des sols sous cultures sont proches de celles observées pour les sols sous prairies permanentes, à l'exception des Régions herbagère et jurassique où les teneurs rencontrées dans les sols sous cultures sont nettement plus élevées qu'en prairies et de l'Ardenne où la situation est inversée. Au sein des régions agricoles, on observe généralement une plus grande variabilité des teneurs entre UTSR en sols sous prairies en comparaison aux sols sous cultures. Le potassium disponible dans l'horizon de surface peut, certes, être mis

**Le potassium** est un élément majeur pour la nutrition des plantes cultivées, par son rôle en tant que facteur de résistance des plantes aux maladies et aux périodes de sécheresse et également dans l'élaboration des rendements. En prairies, les graminées sont de grandes consommatrices de potassium, particulièrement au printemps. Le potassium, même présent en quantité suffisante dans le sol, peut ne pas être disponible pour la plante lorsqu'une trop grande partie du complexe d'échange est occupée par le magnésium. Cette **carence induite** est particulièrement importante en prairies et conduit à une fragilisation de la graminée. Dans le même sens, un excès relatif du potassium peut conduire à des antagonismes provoquant une diminution des teneurs dans la plante en magnésium, sodium et calcium.

Dans les sols, le potassium disponible a deux origines principales :  
1/ l'altération ou la minéralisation des constituants minéraux ou organiques,  
2/ les apports anthropiques et les restitutions par le bétail.

Dans ces apports, il ne faut pas négliger la part liée aux effluents d'élevage qui, outre l'azote nécessaire à la croissance des plantes, contiennent notamment du phosphore, du potassium et du magnésium (tableau 5).

Tableau 5

Teneurs moyennes en P, K et Mg des effluents d'élevage exprimées en kg/T MS

(source : base de données REQUASUD).

	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O			MgO		
	N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type
Fumier de bovin	219	17,5	7,2	219	41,7	12,5	207	8,7	3,2
Fumier sec de bovin	109	37,6	20,4	109	48,1	19,4	109	14,0	6,1
Lisier de bovin	75	31,5	25,7	75	83,3	70,1	71	16,4	9,8
Fumier de porc	12	14,5	5,5	12	23,2	7,4	12	6,0	2,0
Lisier de porc	53	66,0	39,2	53	85,2	46,8	36	26,2	11,8
Fientes séchées	43	54,1	32,6	43	38,5	12,0	29	16,5	8,1

en relation avec les principaux types de sols mais il est également très nettement lié à la gestion des parcelles. La fertilisation des prairies est en étroite liaison avec le mode d'exploitation (prairies pâturées, fauchées...) et le niveau d'intensification (fertilisation, charge en bétail, nombre de coupes...). C'est pourquoi des différences plus importantes peuvent apparaître pour les sols sous prairies par rapport aux sols sous cultures.

La Haute Ardenne se démarque des autres régions agricoles au niveau des tendances observables sur 15 ans avec une très nette diminution des teneurs en potassium disponible, aussi bien pour les sols sous cultures (-52 %) que sous prairies (-65 %). Ces diminutions représentent une baisse des teneurs moyennes de respectivement environ 9 et 10 mg/100 g de terre

sèche. Le calcul des indices de nutrition sur les fourrages produits indique des teneurs inférieures à la normale en potassium à partir de la 2<sup>e</sup> coupe. Lors de la première coupe, l'herbe de printemps utilise le potassium provenant des effluents épandus à la sortie de l'hiver. Par contre en été et en automne, il y aurait une baisse de teneur (Mathot *et al.*, 2009). Ceci confirmerait une tendance vers la carence en potassium en Haute Ardenne. Il serait intéressant de confronter les données avec les pratiques des agriculteurs pour essayer de mieux comprendre cette diminution importante des réserves en potassium des sols de cette région. Il est établi qu'il y a une diminution importante de la consommation d'engrais chimiques dans toutes les régions, il faudrait donc voir comment sont pris en compte les engrais de ferme en Haute Ardenne et

Tableau 6

Potassium disponible (en mg/100 g de terre sèche) des terres sous cultures pour les différentes régions agricoles en Wallonie.

Paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population (période 2003-2008) et évaluation des tendances (période 1994-2008).

Statistiques des données 2003-2008											Tendance 1994-2008 (%)
Région	N	Moyenne	Ecart- type	P95	P90	P75	P50	P25	P10	P5	
Ardenne	1399	20,8	9,12	37,0	32,6	25,8	19,7	14,2	10,4	8,4	-
Campine hennuyère	288	18,1	5,90	27,9	25,4	21,7	17,7	14,0	10,7	8,9	-
Condroz	13404	18,8	6,23	30,5	26,8	22,1	18,0	14,6	11,8	10,2	-
Fagne	327	19,2	8,17	35,5	32,2	22,8	17,8	13,5	10,2	8,9	-
Famenne	1244	21,1	8,21	35,6	31,8	25,4	20,0	15,4	11,9	10,4	-
Haute Ardenne	127	16,0	9,94	34,1	26,4	21,0	13,8	8,5	6,0	5,0	↘ -52,5
Herbagère	1924	25,5	11,64	45,7	40,0	32,0	24,2	16,8	12,2	9,8	-
Jurassique	718	19,9	8,84	37,0	32,8	25,2	18,3	13,5	9,9	7,3	-
Limoneuse	34115	19,4	5,88	30,2	27,0	22,6	18,6	15,3	12,8	11,3	-
Sablo-Limoneuse	12554	19,3	6,42	31,2	27,6	22,4	18,3	14,9	12,2	10,7	↗ 6,5
Toutes régions	66100	19,5	6,58	31,6	27,8	22,8	18,5	15,1	12,3	10,7	-

Tendance : augmentation ou diminution en pourcent de la valeur du paramètre sur la période 1994-2008.

Tableau 7

Potassium disponible (en mg/100 g de terre sèche) des terres sous prairies pour les différentes régions agricoles en Wallonie.

Paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population (période 2003-2008) et évaluation des tendances (période 1994-2008).

Statistiques des données 2003-2008											Tendance 1994-2008 (%)
Région	N	Moyenne	Ecart- type	P95	P90	P75	P50	P25	P10	P5	
Ardenne	3866	25,3	11,67	46,0	40,7	32,2	23,4	16,6	11,7	9,5	↗ 20,2
Campine hennuyère	43	16,6	9,50	32,9	31,0	21,5	13,4	10,0	6,8	6,5	-
Condroz	4094	18,1	9,19	36,4	30,4	23,1	16,3	11,4	8,1	6,7	-
Fagne	364	19,4	10,37	43,0	31,7	23,2	17,1	12,4	9,0	7,2	-
Famenne	1496	20,4	9,82	40,4	33,1	25,0	18,4	13,5	9,8	8,2	↗ 24,9
Haute Ardenne	1061	13,2	7,10	28,0	23,3	16,2	11,6	8,0	6,3	5,5	↘ -64,9
Herbagère	4929	17,6	10,47	37,9	31,4	22,0	14,6	10,2	7,8	6,7	↘ -18,7
Jurassique	396	15,9	8,37	32,6	26,0	18,7	13,9	10,6	8,0	7,0	-
Limoneuse	2629	20,8	10,88	41,2	35,4	26,2	18,4	12,9	9,2	7,7	↘ -5,0
Sablo-Limoneuse	1255	18,8	9,75	37,7	31,9	24,0	17,0	11,7	8,2	6,7	-
Toutes régions	20133	19,6	10,73	40,4	34,1	25,1	17,2	11,7	8,4	7,0	-

Tendance : augmentation ou diminution en pourcent de la valeur du paramètre sur la période 1994-2008.

Tableau 8

Magnésium disponible (en mg/100 g de terre sèche) des terres sous cultures pour les différentes régions agricoles en Wallonie.

Paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population (période 2003-2008) et évaluation des tendances (période 1994-2008).

Région	Statistiques des données 2003-2008										Tendance 1994-2008 (%)
	N	Moyenne	Ecart-type	P95	P90	P75	P50	P25	P10	P5	
Ardenne	1399	14,7	6,02	25,9	23,0	18,1	13,9	10,3	7,8	6,4	↗ 33,1
Campine hennuyère	288	11,8	5,00	22,8	18,1	14,0	10,8	8,5	6,4	5,7	↗ 34,1
Condroz	13404	13,0	4,69	21,7	19,0	15,4	12,2	9,7	7,9	6,9	↗ 13,4
Fagne	327	16,8	5,60	27,0	23,9	20,1	16,3	12,6	9,9	9,2	-
Famenne	1244	15,2	5,69	26,0	22,6	18,0	14,1	11,2	9,1	8,1	↗ 18,1
Haute Ardenne	127	14,7	7,16	29,0	25,8	18,7	12,1	9,5	7,6	5,9	-
Herbagère	1924	15,7	5,82	26,4	22,9	18,2	14,7	11,9	9,7	8,3	↗ 13,7
Jurassique	718	12,3	5,80	23,9	20,3	15,3	11,1	8,1	6,0	4,5	↗ 26,5
Limoneuse	34115	12,0	4,11	20,0	17,5	14,1	11,3	9,1	7,6	6,9	↗ 14,7
Sablo-Limoneuse	12554	12,8	4,92	22,5	19,6	15,4	11,9	9,3	7,5	6,6	↗ 23,6
Toutes régions	66100	12,6	4,66	21,5	18,8	15,0	11,8	9,4	7,7	6,8	-

Tendance : augmentation ou diminution en pourcent de la valeur du paramètre sur la période 1994-2008.

Tableau 9

Magnésium disponible (en mg/100 g de terre sèche) des terres sous prairies permanentes pour les différentes régions agricoles en Wallonie.

Paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population (période 2003-2008) et évaluation des tendances (période 1994-2008).

Région	Statistiques des données 2003-2008										Tendance 1994-2008 (%)
	N	Moyenne	Ecart-type	P95	P90	P75	P50	P25	P10	P5	
Ardenne	3866	18,9	7,37	32,7	28,5	22,8	17,6	13,6	10,6	9,1	↗ 25,0
Campine hennuyère	43	14,4	7,14	26,4	25,0	20,5	11,6	8,7	7,5	6,6	-
Condroz	4094	21,1	7,25	34,5	30,3	25,0	20,0	16,0	12,8	11,0	↗ 18,9
Fagne	364	20,4	6,64	31,4	28,9	24,6	20,2	15,3	12,0	10,7	-
Famenne	1496	21,7	6,93	33,9	30,4	25,7	20,8	16,6	13,8	12,0	↗ 23,6
Haute Ardenne	1061	18,1	6,94	31,3	27,8	21,6	17,0	12,9	10,6	9,2	-
Herbagère	4929	22,9	8,31	37,8	33,5	27,3	21,7	17,0	13,6	11,4	↗ 9,7
Jurassique	396	17,8	8,12	31,2	28,7	23,2	15,9	11,6	8,7	7,0	↗ 30,8
Limoneuse	2629	21,0	6,06	30,0	30,0	25,5	20,7	16,6	13,3	11,1	↗ 22,0
Sablo-Limoneuse	1255	18,1	6,48	30,0	27,7	22,3	17,6	13,4	9,8	7,9	↗ 22,8
Toutes régions	20133	20,7	7,53	33,8	30,0	25,1	19,8	15,4	11,9	10,1	-

Tendance : augmentation ou diminution en pourcent de la valeur du paramètre sur la période 1994-2008.

si une relation peut être mise en évidence avec la production laitière. Les fourrages exportant beaucoup de potassium, il faudrait également voir si ces exportations ont augmentées suite à l'accroissement du nombre de fauches. Ce ne sont là que des pistes de réflexion qui nécessitent une analyse plus profonde qui ne fait pas l'objet de cette publication. Pour les sols sous prairies, c'est également une région pour laquelle on a observé une tendance à l'acidification et une des rares régions où les teneurs en magnésium des sols sous cultures et sous prairies n'augmentent pas. Quoique moins marquée, cette tendance à la diminution du potassium disponible dans les sols sous prairies est également observée en Région herbagère. A l'opposé, en Ardenne et en Famenne, on constate une augmentation importante, de l'ordre de 20 à 25 % des teneurs en potassium des terres sous prairies.

Tout comme pour le potassium disponible, les teneurs en **magnésium** s'interprètent en relation avec la capacité d'échange cationique. Une première obser-

**Une carence induite** est caractérisée par le fait que l'élément nutritif en cause est présent dans le sol, mais son assimilation par la plante est contrariée, soit le plus souvent par un blocage dû à un pH défavorable, soit, plus rarement, à la suite d'un déséquilibre entre des éléments minéraux ou organiques (exemple K/Mg), ou à des conditions climatiques empêchant momentanément l'assimilation de l'élément dans certains sols.

Le **complexe argilo-humique** ou **complexe d'échange** est l'appellation utilisée pour désigner la fraction solide du sol qui, du fait de charges électriques libres, permet de fixer réversiblement des éléments minéraux ionisés. Cette fraction est essentiellement composée d'argile et d'humus. La mesure des charges libres est la capacité d'échange qui peut être cationique (CEC) (charges négatives pouvant adsorber des cations à charge positive), ou anionique (charges positives pouvant adsorber des anions à charge négative).

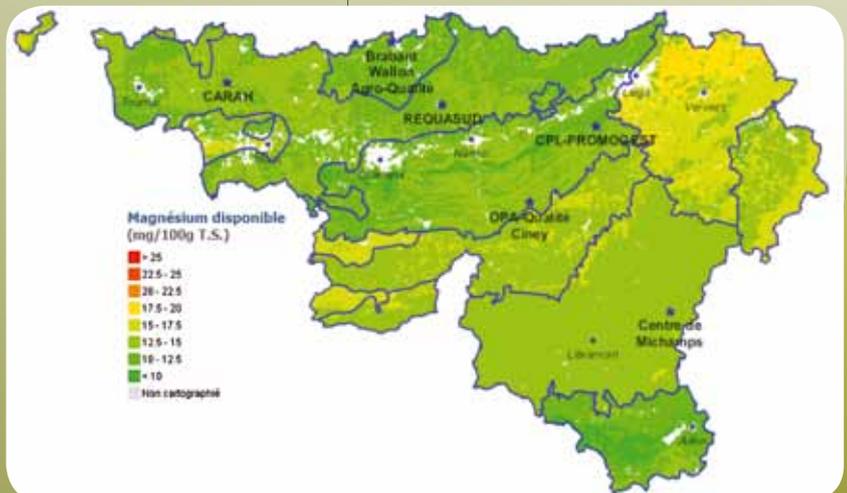
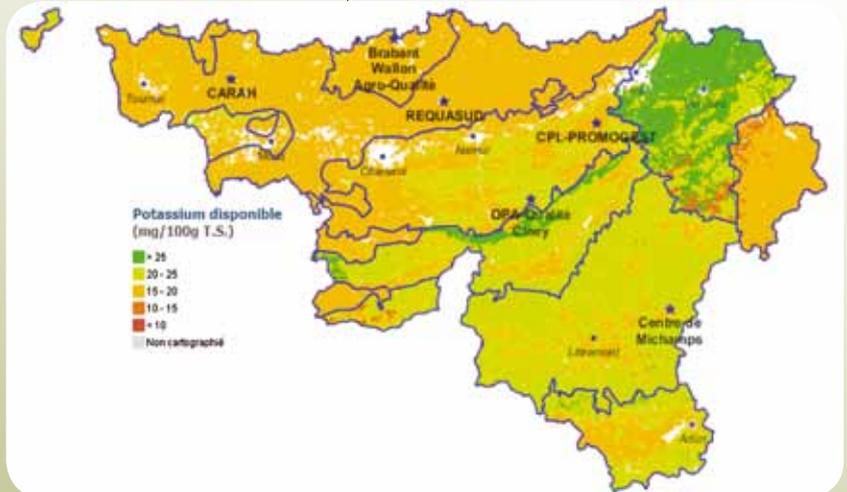


Figure 15 : Valeur moyenne du potassium disponible et du magnésium des terres sous culture en Wallonie et rapport K/Mg – période 2003-2008.

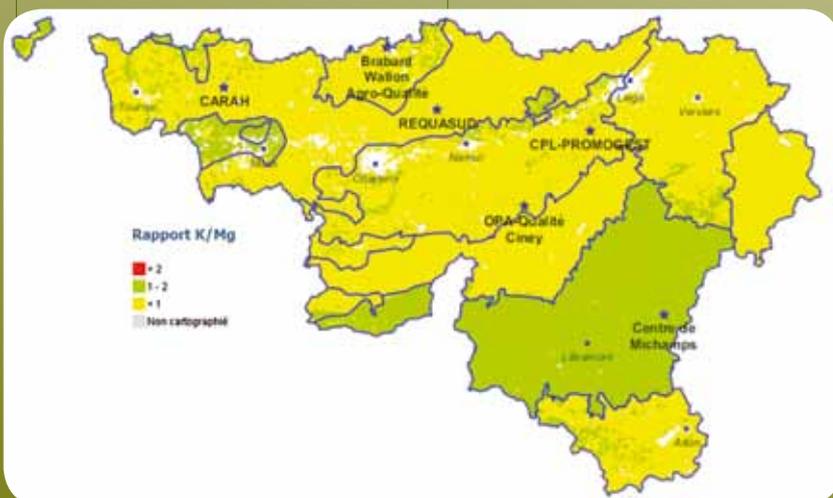
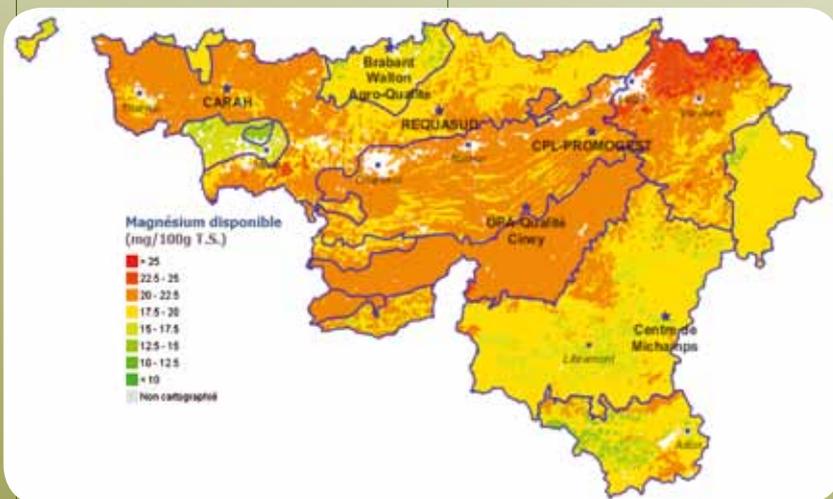
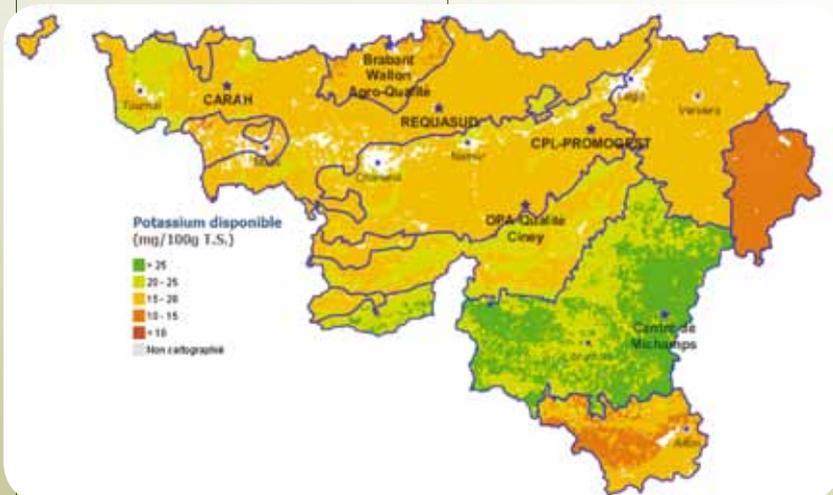


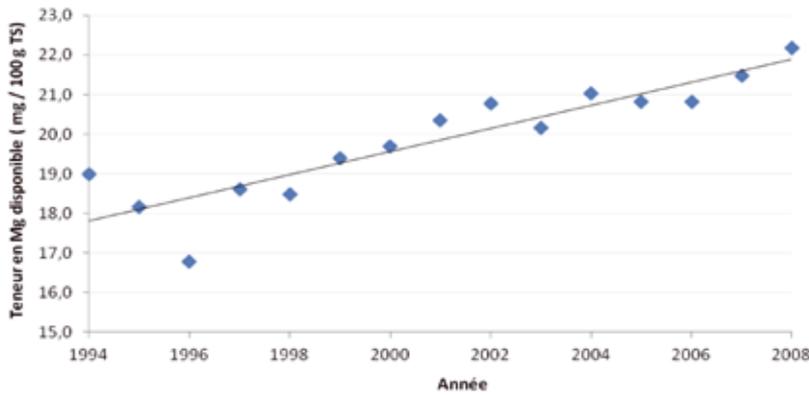
Figure 16 : Valeur moyenne du potassium disponible et du magnésium des terres sous prairies permanentes en Wallonie et rapport K/Mg – période 2003-2008.

Le magnésium disponible fait également partie des éléments indispensables à la croissance des plantes ; il est notamment un élément constitutif de la chlorophylle. Dans les sols sous prairies permanentes, la teneur en magnésium est à suivre particulièrement en raison de l'importance de cet élément dans l'alimentation du bétail. Les sols de prairies doivent donc être suffisamment pourvus en magnésium et, comme évoqué précédemment, également présenter des équilibres K/Mg et Ca/Mg optimaux.

Le magnésium disponible présent dans les échantillons de terre a deux origines principales : l'altération des matériaux constitutifs du sol (certaines argiles, dolomies, marnes dolomitiques...) et les apports d'origine anthropique (amendements tels que les chaux magnésiennes, engrais minéraux et effluents d'élevage).

La comparaison des données indique que les teneurs en magnésium des terres sous prairies sont plus élevées que celles sous cultures, au contraire du potassium. En effet, la moyenne, toutes régions confondues, est de 20,7 mg/100 g sous prairies et de 12,6 mg/100 g sous culture. Cette différence est généralisable à toutes les régions avec des différences plus ou moins marquées selon les cas. Ceci se marque, en prairies, par un rapport K/Mg inférieur à 1 pour la majorité des régions agricoles en Wallonie, à l'exception de l'Ardenne, sachant que l'optimum du rapport K/Mg se situe entre 1 et 2. Si ce rapport est inférieur à 1 ou supérieur à 2, c'est-à-dire si l'on a respectivement un excès de magnésium ou un excès de potassium, cela représente une situation défavorable pour la croissance des plantes. L'excès de magnésium constaté ici par rapport au potassium disponible risque d'induire, dans certaines prairies wallonnes, une carence en potassium avec le risque d'une fragilisation de la graminée qui ne trouvera pas dans le sol le potassium dont elle a besoin même si celui-ci est présent. Cette observation est d'autant plus importante que, en sols sous prairies comme sous cultures, la tendance est sur l'ensemble de la Wallonie à une augmentation nette des teneurs en magnésium

### Valeur moyenne de Mg par année en sols sous prairies en Région limoneuse



### Valeur moyenne de Mg par année en sols sous cultures en Région sablo-limoneuse

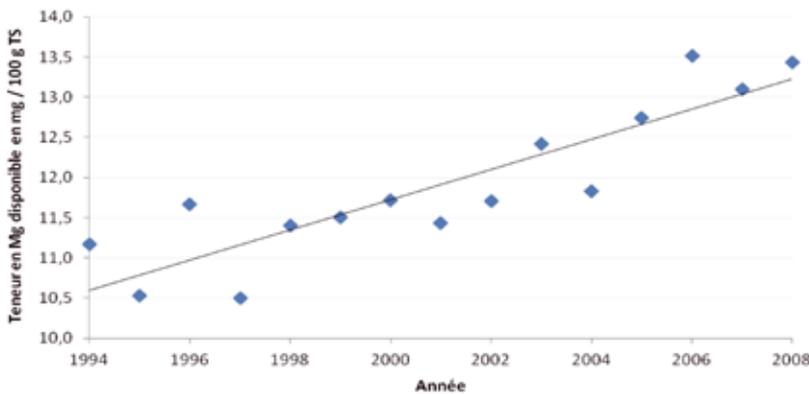


Figure 17 : Exemples de tendances à l'augmentation des teneurs en magnésium disponible des sols sous cultures/prairies en Régions sablo-limoneuse et limoneuse.

disponible au cours de ces quinze dernières années (tableaux 8, 9 et figure 17).

Il est délicat de tenter d'interpréter cette augmentation des teneurs en magnésium disponible qui peut avoir de nombreuses sources. Il est probable que la cause principale vienne du fait que les agriculteurs recourent plus régulièrement au chaulage par utilisation d'amendements calcaire-magnésiens plutôt que par une chaux classique. Néanmoins, d'autres hypothèses peuvent également être envisagées, telles que les apports d'engrais minéraux NPK qui contiennent la plupart du temps une petite fraction de magnésium dans la matière de charge de l'engrais, ainsi que les apports liés aux effluents d'élevage qui contiennent,

outre de l'azote, du phosphore, du magnésium et du potassium.

Il serait également possible, dans une moindre mesure, que dans des sols déjà bien pourvus en potassium, ce dernier soit lessivé vers les horizons plus profonds et cela d'autant plus si la quantité de magnésium sur le complexe de sorption est importante. Ceci justifierait également la tendance à l'augmentation du magnésium au contraire du potassium pour lequel un maintien global des teneurs est observé, à l'exception des diminutions importantes en Haute Ardenne, tant en prairies qu'en cultures et en Région herbagère pour les sols sous prairies en Ardenne et Famenne.

Au vu de l'ensemble de ces données, il semblerait opportun d'envisager un changement des pratiques, principalement en prairies, pour rééquilibrer le rapport K/Mg en enrayant cette augmentation du magnésium sur le complexe d'échange. Il est donc très important de diminuer les apports de magnésium sans augmenter les apports de potassium pour y parvenir.

Au sein des régions agricoles, la variabilité est légèrement plus élevée en sols sous prairies qu'en sols sous cultures. Cette variabilité intrarégionale est à mettre en relation avec des pratiques agricoles variées ainsi qu'avec la nature des sols (taux de matière organique, capacité d'échange cationique...) et des substrats qui peuvent éventuellement fournir du magnésium.

## Le statut nutritif, les oligoéléments

Parmi les éléments essentiels au développement végétal, on distingue les éléments majeurs (N, P, K), secondaires (Ca, Mg, S) et les oligoéléments (Bo, Fe, Cu, Mn, Mo et Zn). D'autres éléments sont considérés comme utiles mais non indispensables (Na, Al, Si, Cl, Co...).

Il n'existe pas de norme universelle d'interprétation des teneurs en oligoéléments disponibles dans les sols, les comparaisons étant rendues difficiles à cause de différences entre protocoles de détermination des teneurs disponibles et entre contextes climatiques et environnements pédologiques, ou encore à cause des spécificités des relations élément-végétal. En attendant davantage de recherches sur les seuils de carence en oligoéléments dans les sols de Wallonie, le constat se limitera à un état spatialisé des niveaux de teneurs, avec identification des situations présentant les niveaux les plus contrastés. A posteriori, il serait également intéressant de combiner ces observations avec des analyses de plantes, mais cette information n'est pas encore disponible à l'échelle de la Wallonie et des régions agricoles.

Les oligoéléments ne font pas l'objet d'analyses systématiques par les laboratoires du réseau. Il faut généralement qu'il

Il y a suspicion de carence pour que l'agriculteur demande cette analyse. Cela implique qu'il y a nettement moins de résultats analytiques pour ces éléments dans la base de données que pour les éléments majeurs. Afin de pouvoir interpréter correctement les résultats présentés, et ainsi éviter les interprétations hasardeuses, une colonne « densité d'échantillonnage (D. E.) » exprimée en nombre d'échantillons par 100 ha, a été ajoutée dans chacun des tableaux des oligoéléments. Cela permet de donner un aperçu de la représentativité des données par région agricole.

Etant donné le volume relativement faible d'analyses effectuées avant 2003, il est également délicat de rechercher des tendances d'évolution temporelle des teneurs en oligoéléments dans les sols cultivés et les prairies. C'est pourquoi aucune tendance ne sera présentée dans cette partie.

Les résultats des analyses effectuées sur les sols agricoles wallons (figure 18 à 21 et tableaux 10 à 13) indiquent :

1/ des différences marquées entre sols sous cultures et sols sous prairies pour les quatre éléments, les cultures présentant des niveaux de teneurs inférieurs aux prairies ;

Les besoins en oligoéléments sont très dépendants de l'espèce végétale considérée. Les caractéristiques principales liées aux rôles des oligoéléments dans la plante et aux symptômes de carences sont résumées ci-dessous (d'après [http://www.kali.ch/f/images/pdf/symptome/symptome\\_f\\_low.pdf](http://www.kali.ch/f/images/pdf/symptome/symptome_f_low.pdf)) :

**Le fer** est nécessaire à la synthèse de la chlorophylle et entre dans la composition de certains enzymes. Sa carence s'accompagne de chloroses des jeunes feuilles qui peuvent aller jusqu'à leur dépérissement. Les carences en fer se rencontrent sur des sols riches en calcium, à faible teneur en matière organique et à régime hydrique perturbé.

**Le manganèse** est un activateur d'enzymes dans la formation de la chlorophylle, dans la photosynthèse, dans l'élaboration des protéines et de la vitamine C. Les carences se traduisent par des taches sur les feuilles âgées (céréales, betteraves...) ou jeunes (pommes de terre et légumineuses), entre les nervures. Les risques sont plus élevés sur sols à pH supérieur à 7 ou riches en humus et les sols sableux très humifères.

**Le cuivre** entre dans la composition de différents enzymes. Il favorise la synthèse des hydrates de carbone et des protéines et évite une dégradation précoce de la chlorophylle. Les carences induisent chlorose et blanchissement de la pointe des feuilles et la torsion des feuilles. Les sols carencés sont généralement légers, très humifères et à pH élevé.

**Le zinc** est un activateur d'enzymes et favorise la synthèse de la chlorophylle et des hormones de croissance. Les symptômes -chlorose des jeunes feuilles- apparaissent en général sous ensoleillement intense. Les carences peuvent s'observer sur sols combinant pH et apports de phosphore élevés.

2/ une différenciation claire entre les régions agricoles :

a/ les teneurs en fer disponible sont plus faibles en Région jurassique et en Ardenne ;

b/ les teneurs en manganèse dans les sols sous cultures sont plus élevées en Fagne, en Famenne et en Condroz que dans les autres régions et plus faibles en Ardenne et en région Sablo-Limoneuse ;

c/ les teneurs en manganèse dans les prairies sont très élevées en Région jurassique, en Fagne, en Famenne et en Ardenne, élevées en Condroz et Région herbagère et plus faibles au nord du sillon sambro-mosan ;

d/ les teneurs en cuivre sont plus faibles en Région jurassique et plus élevées en Région herbagère ;

Tableau 10

Cuivre disponible (en mg/kg de terre sèche) des sols sous cultures et sous prairies permanentes pour les différentes régions agricoles en Wallonie.

Paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population – période 2003-2008.

Occup	Région	N	Moyenne	Ecart-type	P95	P90	P75	P50	P25	P10	P5	D.E.
Cultures	Ardenne	224	2,4	1,03	4,5	3,5	3,0	2,3	1,7	1,5	1,0	1,7
Cultures	Campine hennuyère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultures	Condroz	4449	2,5	0,86	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,5	5,5
Cultures	Fagne	232	2,5	0,79	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,5	5,0
Cultures	Famenne	826	2,9	1,13	5,0	4,5	3,5	2,5	2,0	1,5	1,5	4,4
Cultures	Haute Ardenne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultures	Herbagère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultures	Jurassique	43	2,2	0,60	3,0	3,0	2,5	2,0	1,6	1,5	1,5	0,5
Cultures	Limoneuse	1076	2,8	0,92	4,5	4,0	3,0	2,5	2,3	2,0	1,5	0,5
Cultures	Sablo-Limoneuse	204	3,1	1,52	7,0	4,5	3,4	2,5	2,3	2,0	1,9	0,6
Cultures	Toutes régions	7083	2,6	0,96	4,2	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,5	1,8
Prairies	Ardenne	518	2,8	1,26	5,5	4,5	3,5	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5
Prairies	Campine hennuyère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prairies	Condroz	1801	3,1	1,27	5,5	4,5	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	2,9
Prairies	Fagne	208	3,2	1,02	5,3	4,5	3,5	3,0	2,5	2,0	2,0	1,4
Prairies	Famenne	885	3,5	1,52	6,0	5,5	4,0	3,5	2,5	2,0	1,5	1,6
Prairies	Haute Ardenne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prairies	Herbagère	62	5,6	1,75	8,3	8,2	7,0	5,5	4,5	3,0	2,5	0,1
Prairies	Jurassique	32	2,5	0,68	3,5	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,5	0,1
Prairies	Limoneuse	630	4,0	1,59	7,0	6,0	4,7	3,6	3,0	2,5	2,2	1,0
Prairies	Sablo-Limoneuse	330	3,1	1,24	5,6	4,8	3,7	2,9	2,3	1,8	1,5	1,7
Prairies	Toutes régions	4472	3,3	1,43	6,0	5,0	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0

Tableau 11

Fer disponible (en mg/kg de terre sèche) des sols sous cultures et sous prairies permanentes pour les différentes régions agricoles en Wallonie.

Paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population – période 2003-2008.

Occup	Région	N	Moyenne	Ecart-type	P95	P90	P75	P50	P25	P10	P5	D.E.
Cultures	Ardenne	213	287,6	88,31	461,0	411,0	340,0	280,0	219,0	180,0	160,0	1,6
Cultures	Campine hennuyère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultures	Condroz	4424	305,0	83,12	453,0	414,0	351,5	292,0	246,0	213,0	195,0	5,5
Cultures	Fagne	227	316,0	113,34	514,0	450,0	344,0	294,0	246,0	213,0	202,0	4,9
Cultures	Famenne	814	296,3	87,70	452,0	407,0	338,0	286,0	231,0	199,0	183,0	4,3
Cultures	Haute Ardenne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultures	Herbagère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultures	Jurassique	43	253,0	70,69	407,0	357,0	279,0	235,0	212,0	184,0	162,4	0,5
Cultures	Limoneuse	1028	328,0	87,34	480,0	435,0	378,5	315,0	266,0	231,0	216,0	0,5
Cultures	Sablo-Limoneuse	110	319,0	120,36	552,0	486,5	378,0	293,0	244,0	192,0	174,0	0,3
Cultures	Toutes régions	6885	307,5	87,41	462,0	420,0	354,0	295,0	247,0	212,0	193,0	1,8
Prairies	Ardenne	497	454,0	184,61	814,0	690,0	549,0	419,0	322,0	253,2	214,0	0,5
Prairies	Campine hennuyère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prairies	Condroz	1668	551,4	176,20	881,0	779,0	648,5	532,5	431,0	342,0	293,0	2,7
Prairies	Fagne	200	551,9	175,50	868,0	791,0	664,5	531,5	415,5	347,0	304,0	1,3
Prairies	Famenne	862	512,2	170,50	802,0	735,0	614,0	488,5	386,0	309,0	282,0	1,5
Prairies	Haute Ardenne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prairies	Herbagère	44	507,7	118,51	733,0	665,0	584,5	481,5	416,0	386,0	384,0	0,1
Prairies	Jurassique	32	389,7	139,00	645,0	536,0	482,5	373,0	278,7	247,7	196,1	0,1
Prairies	Limoneuse	204	608,4	200,90	1019,0	893,0	696,9	577,0	457,0	377,0	348,0	0,3
Prairies	Sablo-Limoneuse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prairies	Toutes régions	3530	529,4	181,44	874,0	766,0	631,0	509,0	401,0	312,0	275,0	0,8

e/ les teneurs en zinc sont plus faibles en Région jurassique et en Fagne et plus élevées en Région herbagère.

3/ des différences entre les principaux types de sols au sein des régions agricoles ; on peut citer pour exemples, du sud au nord, les différences entre :

- a/ les sols sableux et les sols argileux en Région jurassique,
- b/ les sols limoneux peu caillouteux et les sols plus caillouteux en Ardenne,
- c/ les sols à charge schisto-gréseuse de la partie sud de la Région herbagère et les sols plus diversifiés de la partie nord,
- d/ les sols sur calcaire, les sols argileux et les sols à charge schisto-psammitique en Famenne ;
- e/ les sols schisto-psammitiques et les autres sols du Condroz,
- f/ les sols sableux et sablo-limoneux et les sols limoneux du nord du sillon Sambre-et-Meuse.

La texture et la nature de la charge caillouteuse apparaissent comme étant des facteurs de différenciation significatifs des teneurs en oligoéléments dans les sols. On peut dès lors supposer que l'influence du fond pédogéochimique y est encore perceptible malgré des dizaines d'années de pratiques agricoles.

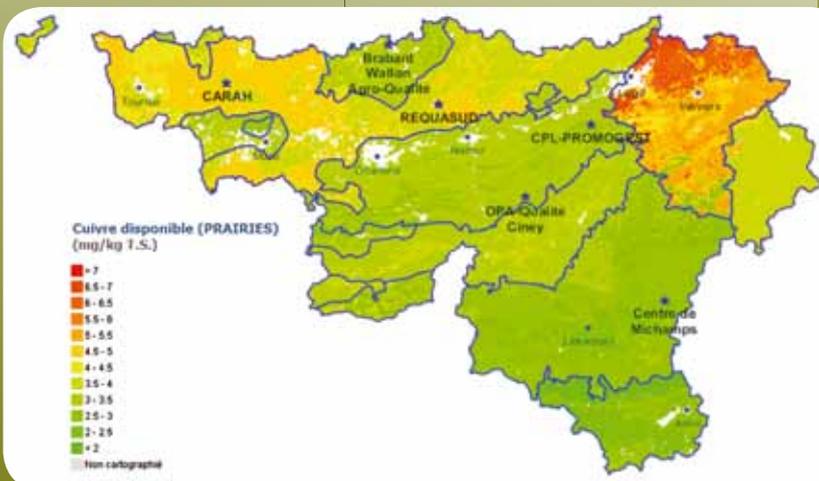
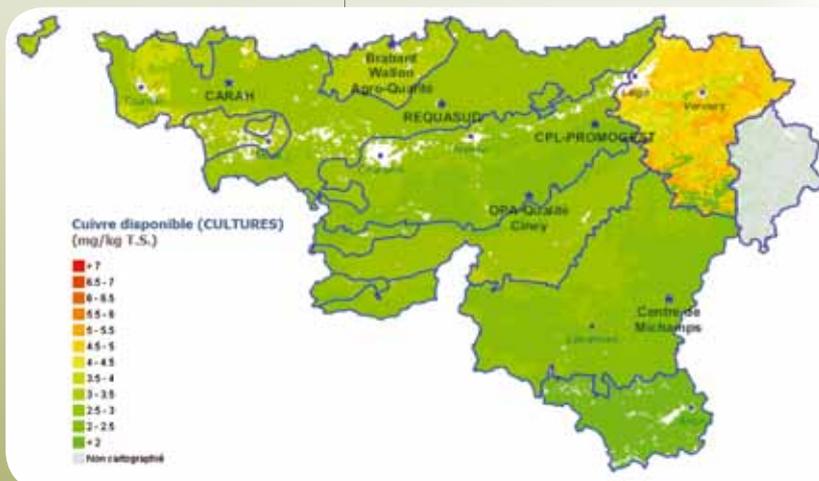


Figure 18 : Valeur moyenne du cuivre disponible des sols sous cultures et sous prairies – période 2003-2008.

Tableau 12

Manganèse disponible (en mg/kg de terre sèche) des sols sous cultures et sous prairies permanentes pour les différentes régions agricoles en Wallonie.

Paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population – période 2003-2008.

Occup	Région	N	Moyenne	Ecart-type	P95	P90	P75	P50	P25	P10	P5	D.E.
Cultures	Ardenne	224	172,8	95,70	356,0	309,0	224,0	151,0	100,5	73,5	69,0	1,7
Cultures	Campine hennuyère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultures	Condroz	4449	214,2	73,35	337,0	302,0	258,0	212,0	163,0	122,0	103,0	5,5
Cultures	Fagne	232	222,8	62,53	343,0	304,0	258,5	225,0	179,5	144,0	119,0	5,0
Cultures	Famenne	823	222,8	104,21	422,0	348,0	279,0	205,0	150,0	108,0	92,0	4,3
Cultures	Haute Ardenne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultures	Herbagère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultures	Jurassique	43	192,3	67,86	315,0	271,0	234,0	188,0	146,0	118,0	103,0	0,5
Cultures	Limoneuse	1084	194,8	44,79	270,0	251,0	221,0	194,0	167,0	136,0	122,0	0,5
Cultures	Sablo-Limoneuse	202	174,0	66,96	273,0	244,0	210,0	170,4	133,0	89,1	75,0	0,6
Cultures	Toutes régions	7084	209,7	75,48	338,0	299,0	250,0	205,0	160,0	119,0	99,0	1,8
Prairies	Ardenne	517	280,3	140,95	551,0	458,0	362,0	259,0	175,0	121,0	95,5	0,5
Prairies	Campine hennuyère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prairies	Condroz	1753	239,6	87,22	396,0	352,1	287,0	227,0	178,0	139,0	120,2	2,8
Prairies	Fagne	205	282,2	97,97	475,0	412,0	339,0	271,0	218,0	162,0	138,0	1,3
Prairies	Famenne	885	308,0	141,53	617,0	488,0	360,0	276,0	214,0	167,3	142,1	1,6
Prairies	Haute Ardenne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prairies	Herbagère	57	250,8	140,52	445,0	424,0	350,0	265,0	130,0	65,0	47,0	0,1
Prairies	Jurassique	32	316,6	176,93	794,0	533,5	332,0	260,5	201,0	188,0	177,0	0,1
Prairies	Limoneuse	314	187,0	70,78	330,0	263,6	215,0	175,0	143,0	112,0	96,5	0,5
Prairies	Sablo-Limoneuse	46	155,7	61,40	297,8	236,1	191,5	151,4	106,3	90,1	83,5	0,2
Prairies	Toutes régions	3813	258,6	117,31	475,0	402,0	310,0	239,0	179,0	136,0	115,0	0,8

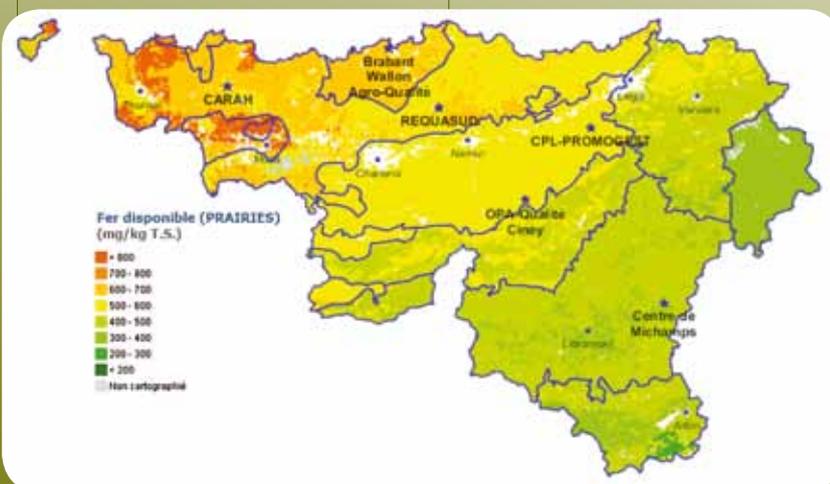
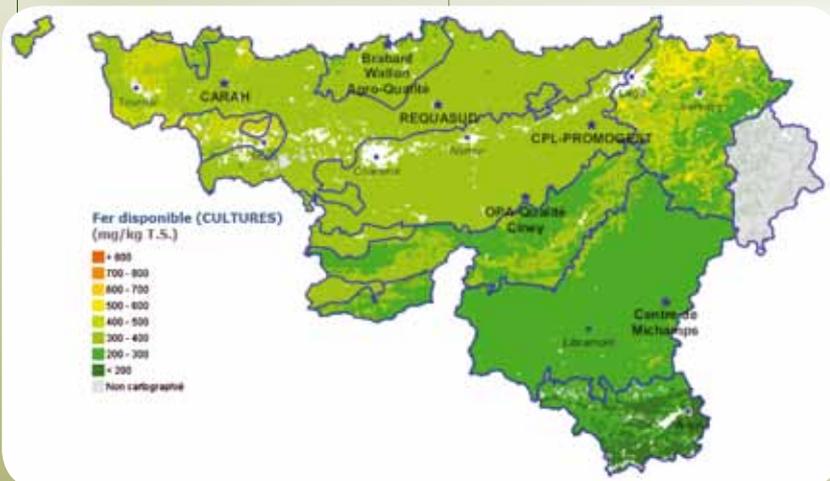


Figure 19 : Valeur moyenne du fer disponible des sols sous cultures et sous prairies – période 2003-2008.

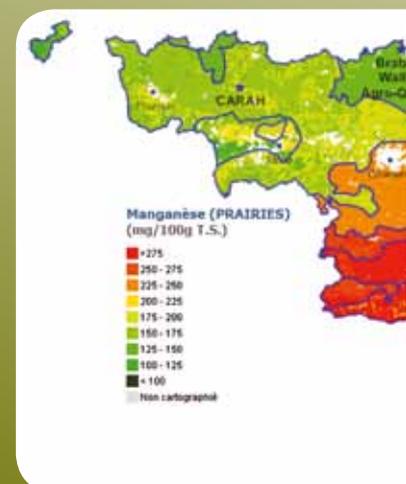
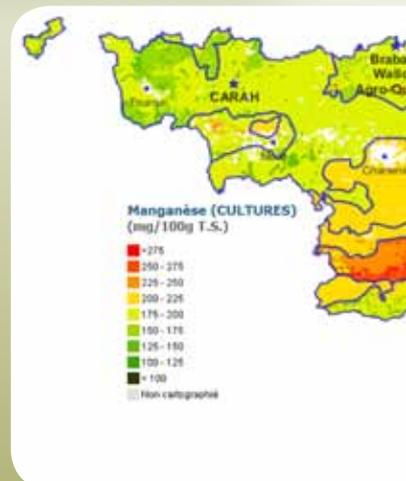


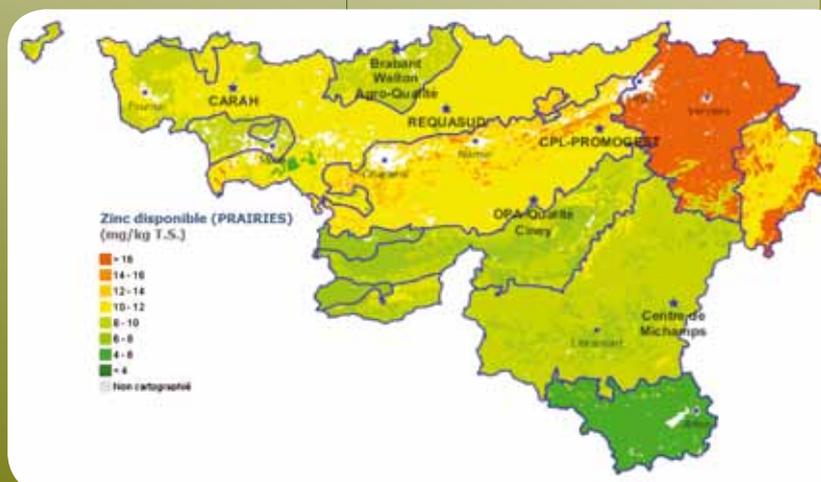
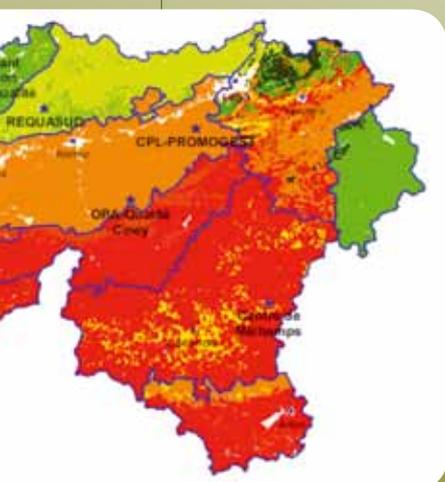
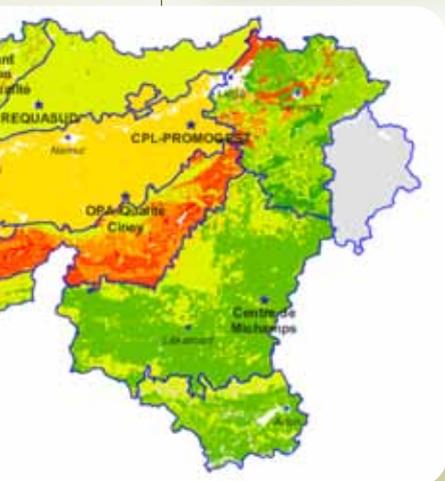
Figure 20 : Valeur moyenne du manganèse disponible des sols sous cultures et sous prairies – période 2003-2008.

Tableau 13

Zinc disponible (en mg/kg de terre sèche) des sols sous cultures et sous prairies permanentes pour les différentes régions agricoles en Wallonie.

Paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population – période 2003 – 2008.

Occup	Région	N	Moyenne	Ecart-type	P95	P90	P75	P50	P25	P10	P5	D.E.
Cultures	Ardenne	224	6,9	4,53	16,5	10,0	7,5	6,0	4,5	3,5	3,5	1,7
Cultures	Campine hennuyère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultures	Condroz	4449	6,7	4,13	14,0	11,0	7,5	5,5	4,5	3,5	3,0	5,5
Cultures	Fagne	232	4,9	2,17	8,5	7,5	6,0	4,5	3,5	2,5	2,0	5,0
Cultures	Famenne	826	5,8	3,08	11,5	9,5	7,0	5,0	4,0	3,0	2,5	4,4
Cultures	Haute Ardenne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultures	Herbagère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultures	Jurassique	43	5,0	2,84	8,5	7,5	5,5	4,5	3,5	2,5	2,2	0,5
Cultures	Limoneuse	1082	7,6	4,78	16,0	11,0	8,0	6,5	5,0	4,5	4,0	0,5
Cultures	Sablo-Limoneuse	192	6,2	3,55	13,7	9,8	7,1	5,4	4,0	3,0	2,7	0,5
Cultures	Toutes régions	7075	6,7	4,37	14,5	10,5	7,5	5,5	4,5	3,5	3,0	1,8
Prairies	Ardenne	518	8,4	4,62	15,5	12,5	9,5	7,5	5,5	4,5	3,5	0,5
Prairies	Campine hennuyère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prairies	Condroz	1783	10,5	6,04	22,0	17,5	12,5	9,0	6,5	5,0	4,0	2,9
Prairies	Fagne	208	7,3	3,52	14,0	11,0	8,0	6,5	5,0	4,5	4,0	1,4
Prairies	Famenne	885	7,7	4,02	15,5	12,0	9,0	6,5	5,0	4,0	3,5	1,6
Prairies	Haute Ardenne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prairies	Herbagère	57	30,6	14,22	61,0	56,5	36,0	27,0	21,5	17,0	10,5	0,1
Prairies	Jurassique	32	5,4	2,13	10,5	7,8	6,9	5,0	3,8	3,2	3,0	0,1
Prairies	Limoneuse	331	11,3	6,76	24,6	20,6	13,3	9,5	7,1	5,2	4,2	0,5
Prairies	Sablo-Limoneuse	37	9,5	9,49	40,0	14,7	9,0	6,9	5,1	2,5	2,1	0,2
Prairies	Toutes régions	3857	9,7	6,37	22,0	16,5	11,3	8,0	6,0	4,5	4,0	0,8



des sols sous cultures et sous prairies – période 2003-2008.

Figure 21 : Valeur moyenne du zinc disponible des sols sous cultures et sous prairies – période 2003-2008.

# 6

## PERSPECTIVES D'UTILISATION DE LA BASE DE DONNÉES

### Le sol, des fonctions multiples mais menacées

Le sol remplit de nombreuses fonctions interdépendantes, d'ordre économique (production agricole et forestière, source de matières premières), environnemental (stockage et épuration de l'eau, rétention des polluants, biodiversité), ou socio-culturel (support d'activités humaines, patrimoine historique et paysager).

Le sol contient tous les éléments nécessaires à la vie : air, eau, nutriments (N, P, K, Ca, oligoéléments...). Il joue un rôle primordial dans le cycle des eaux continentales en conditionnant le ruissellement et l'infiltration. Il peut jouer un rôle de filtration/rétention/épuration dans les flux de matières qui l'impliquent ou, au contraire, transmettre leurs contaminants aux eaux qui le traversent ou aux organismes qui s'y développent. Le sol est également un élément important du cycle biogéochimique du carbone, en jouant le rôle de puits ou de source de gaz à effet de serre.

En 2002, la Commission Européenne (CE, 2002) a établi une liste des menaces sur les sols les plus préoccupantes, qui résultent des activités humaines. A l'échelle humaine, en effet, le sol doit être considéré comme une ressource non renouvelable. Les menaces principales ciblées par l'Europe sont : la diminution de la matière organique, l'érosion, le tassement, l'imperméabilisation, les inondations et glissements de terrain, les contaminations, la salinisation et la réduction de la biodiversité. On peut toutefois y ajouter l'acidification et la diminution de la fertilité, ou encore les atteintes à la qualité de l'air ou de l'eau.

Les questions relatives au niveau de fertilité chimique des sols ont été largement abordées au chapitre précédent. Ce chapitre illustre l'intérêt de disposer de bases de données temporelles sur l'état des sols

pour les aspects spécifiques liés aux rôles de la matière organique, ainsi qu'à celui des sols agricoles dans l'eutrophisation des eaux de surface.

### La matière organique dans les sols

#### DÉFINITIONS

*"La matière organique du sol est composée d'éléments organiques (racines, feuilles, excréments), d'organismes vivants (bactéries, champignons, vers de terre et autres éléments de la faune du sol) et d'humus, produit final stable de la décomposition des éléments organiques dans le sol par l'action lente des organismes du sol. Elle est constamment accumulée et décomposée, libérant du carbone dans l'atmosphère sous forme de CO<sub>2</sub> et le recapturant grâce au processus de photosynthèse"* (CE, 2002).

La matière organique, ou plutôt les matières organiques du sol (MOS) car leur composition est très diversifiée en nature et en stabilité, jouent un rôle central dans la qualité des sols et le maintien de leurs fonctions clés. Les MOS présentent des fonctions nutritives directes et indirectes,

des fonctions structurales, climatiques ou encore des fonctions biocénétiques, à savoir un rôle de moteur de l'activité biologique. Les MOS favorisent l'action des organismes vivants et ainsi la création d'un milieu structuré dont les pores permettent une meilleure circulation de l'air et de l'eau. Elles améliorent la stabilité de la structure et favorisent la rétention de l'eau par les phases colloïdales. Les groupements fonctionnels des molécules organiques augmentent la capacité d'échange cationique et donc l'effet de rétention potentiel des éléments, fussent-ils nutritifs ou potentiellement polluants. La capacité de résistance du sol aux processus de dégradation est également améliorée.

#### STATUT ORGANIQUE DES SOLS

Actuellement, l'évaluation du statut organique du sol se fait par la mesure du taux de carbone organique total, parfois couplé à une mesure du taux d'azote total (environ une analyse d'azote pour trois de carbone). La mesure des taux de carbone et d'azote permet le calcul du rapport C/N illustrant les conditions de minéralisation de la matière organique. Idéalement, il serait utile, outre ces données, de pouvoir

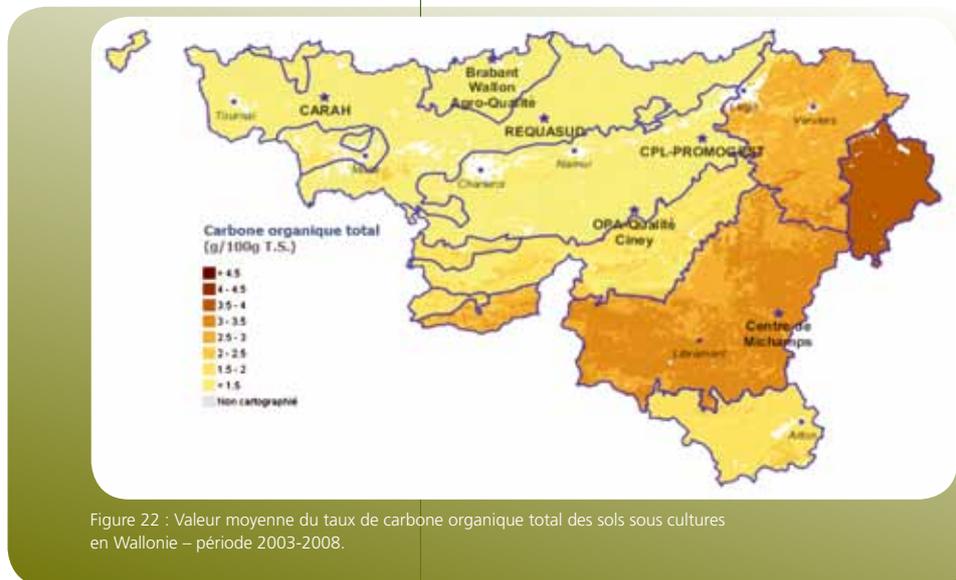


Figure 22 : Valeur moyenne du taux de carbone organique total des sols sous cultures en Wallonie – période 2003-2008.

Tableau 14

Taux de carbone organique total (en %) des sols sous cultures pour les différentes régions agricoles en Wallonie.

Paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population (période 2003-2008) et évaluation des tendances (période 1994-2008).

Région	Statistiques des données 2003-2008										Tendance 1994-2008 (%)
	N	Moyenne	Ecart-type	P95	P90	P75	P50	P25	P10	P5	
Ardenne	1396	3,1	0,74	4,3	4,0	3,5	3,1	2,7	2,3	1,9	-
Campine hennuyère	282	1,1	0,35	2,0	1,6	1,2	1,1	0,9	0,9	0,8	-
Condroz	13377	1,4	0,38	2,2	1,9	1,6	1,3	1,2	1,1	1,0	-
Fagne	321	1,8	0,62	3,2	2,7	2,0	1,7	1,4	1,2	1,1	-
Famenne	1243	2,0	0,69	3,3	2,9	2,4	1,8	1,5	1,3	1,2	-
Haute Ardenne	127	3,7	0,92	5,4	5,0	4,2	3,5	3,1	2,8	2,8	-
Herbagère	1924	2,2	0,85	3,7	3,4	2,7	1,9	1,5	1,3	1,2	↘ -12,9
Jurassique	718	1,7	0,72	3,0	2,6	2,0	1,6	1,3	1,0	0,9	↘ -15,3
Limoneuse	33882	1,2	0,30	1,8	1,6	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	↘ -6,5
Sablo-Limoneuse	12324	1,2	0,39	2,0	1,7	1,3	1,1	1,0	0,9	0,9	-
Toutes régions	65594	1,4	0,52	2,5	1,9	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	-

Tendance : augmentation ou diminution en pourcent de la valeur du paramètre sur la période 1994-2008.

évaluer le stock de matière organique libre dans l'horizon de surface, c'est-à-dire susceptibles de fournir des éléments nutritifs. Cette évaluation n'étant pas envisageable dans le cadre d'une analyse de routine, des recherches sont menées à l'Unité de Science du Sol de l'ULg - Gembloux Agro-Bio Tech pour évaluer cette donnée par une méthode alternative, la spectroscopie proche infrarouge (Genot *et al.*, 2011a).

Sous prairies, l'analyse du carbone organique total telle que conduite actuellement surestime généralement le stock de matière organique libre en relation avec le nombre très important de racines vivantes présentes dans le sol. Pour cette raison, la situation des sols sous prairies permanentes n'est pas présentée ici.

La figure 22 illustre les taux de carbone organique total des sols sous cultures en Wallonie. Le tableau 14 présente les principales statistiques des taux de carbone organique total en Wallonie pour les sols sous cultures.

L'analogie entre la distribution des taux de carbone dans les sols cultivés et le relief général en Wallonie est perceptible et permet de confirmer l'existence d'un lien entre

les taux de carbone et le climat. Les valeurs moyennes et médianes en carbone suivent, en effet, un gradient de richesse croissant du nord-ouest au sud-est, des bas plateaux limoneux aux hauts plateaux ardennais. Plus au sud, en Région jurassique, les taux moyens sont inférieurs à ceux observés en Ardenne. Un climat froid et humide est à priori moins favorable à une décomposition rapide de la matière organique. Il ne faut toutefois pas négliger l'aspect lié à l'intensification des productions agricoles qui est également liée aux spécificités du cadre physique (géologie, relief, climat...) de chaque région agricole. La variabilité des résultats entre régions agricoles et au sein même des régions, voire au sein des principaux types de sols, peut trouver son origine dans la diversité des pratiques culturales (historique, profondeur de labour, apports ou non des matières organiques, restitution des résidus de récoltes...) d'une région agricole, d'une exploitation, voire d'une parcelle à l'autre aussi bien que dans la variabilité des conditions stationnelles des parcelles : type de sol, topographie, exposition, microclimat... Par exemple, en Ardenne, sur des sols limoneux à charge caillouteuse, on rencontre à la fois des

parcelles anciennement sous prairies et des parcelles récemment retournées ; les taux de carbone de la couche arable sont, de ce fait, sensiblement différents d'une parcelle à l'autre.

C'est en Régions limoneuse, sablo-limoneuse et en Campine hennuyère que les sols présentent les taux de carbone les plus faibles. Entre 25 et 50 % des sols ont, en effet, un taux de carbone inférieur au seuil minimal de 1,1 %. En Régions jurassique et herbagère et dans une moindre mesure en Région limoneuse, on observe une diminution du taux de carbone variant de 6 à 15 % sur 15 ans pour ces régions. Parmi ces trois régions, c'est essentiellement en Région limoneuse que cette observation doit interpellé étant donné qu'il s'agit d'une région pour laquelle les taux de carbone sont parmi les plus faibles en Wallonie. Bien que cette tendance ne représente qu'une diminution d'environ 0,08 g/100 g de carbone sur 15 ans pour cette région, il faut souligner que le taux moyen de carbone se rapproche très fort du seuil minimal de 1,1 % et que si la tendance à la baisse continue, cela pourrait devenir problématique.

Le contenu organique des sols est un indicateur de base de la qualité de ceux-ci. La base de données **REQUASUD** a été exploitée par divers auteurs (van Wesemaele, Beheydt...) pour estimer les stocks de carbone dans les sols cultivés. Pour passer de concentrations à des stocks, d'autres paramètres sont nécessaires mais pas toujours disponibles comme la densité apparente ou l'importance de la charge en cailloux. La base de données est également limitée à l'horizon labouré, alors qu'une part non négligeable de carbone peut résider plus profondément dans le profil. Néanmoins, la base de données de **REQUASUD** est un outil précieux d'estimation de la situation actuelle des sols cultivés et des sols sous prairies en raison du grand nombre de données et du fait que la grande majorité des situations pédoclimatiques sont couvertes. Nous restons toutefois réservés sur les comparaisons avec les bases de données plus anciennes et leurs limites d'interprétation.

Dans le futur, avec la probable mise en application de la Directive cadre sur la protection des sols adoptée en première lecture en novembre 2007 par les députés européens, la question du maintien d'un statut organique des sols compatible avec ses fonctions agronomiques et environnementales est amenée à redevenir un enjeu crucial. Que ce soit pour les questions de stockage/déstockage du carbone en lien avec les changements climatiques globaux, pour le recyclage des déchets des villes et des industries pour compenser la limitation des ressources en engrais minéraux, pour la gestion du cycle de l'eau à l'échelle des bassins versants et, notamment, prévenir les risques liés à l'érosion et au ruissellement. En outre, l'émergence des biocarburants et l'exacerbation de la compétition entre usages énergétiques de la biomasse végétale et sa restitution au sol pose des questions évidentes de durabilité. Comme l'écrivait déjà si bien le professeur Manil, en son temps : "Vaste comme le monde, vieux comme le monde, le sujet durera autant que le monde".

## Le phosphore dans les sols

Le phosphore est un élément indispensable pour la croissance des plantes, qui est apporté via la fertilisation minérale ou organique. Cependant, outre son intérêt agronomique, le phosphore peut engendrer des problèmes environnementaux, étant donné son rôle dans l'eutrophisation des eaux de surface. Il est donc essentiel de maintenir un niveau de phosphore suffisant pour la croissance des plantes, tout en limitant ces teneurs afin d'éviter des pertes importantes vers l'environnement.

Le phosphore mesuré en routine par les laboratoires membres de **REQUASUD** est basé sur une extraction à l'acétate d'ammonium et l'EDTA en milieu acide. Il s'agit du phosphore dit disponible pour les plantes, qui est principalement constitué des ions  $\text{HPO}_4^{2-}$  et  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  de la solution du sol et des formes du phosphore faiblement liées au complexe d'échange.

L'état des sols en phosphore est présenté aux figures 23 et 24 et tableaux 15 et 16. Toutes régions confondues, la moyenne est de 9,0 mg P/100 g pour les sols sous cultures. Cependant, ce chiffre est à relati-

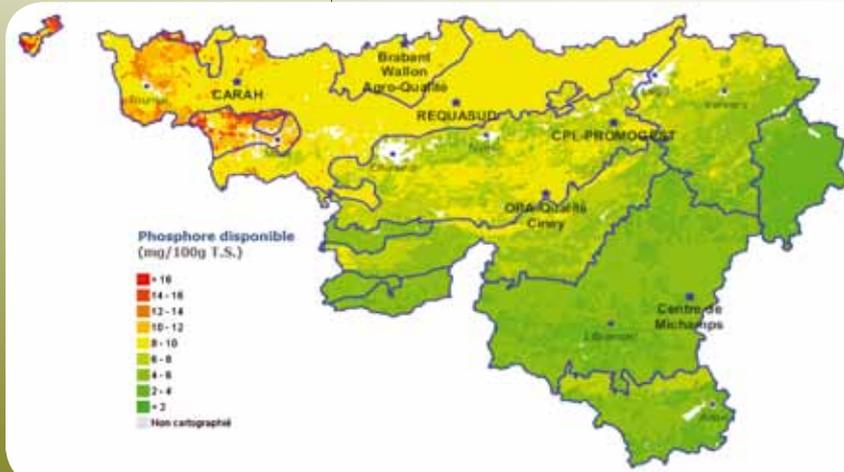


Figure 23 : Valeur moyenne des teneurs en phosphore des sols sous cultures en Wallonie – période 2003-2008.



Figure 24 : Valeur moyenne des teneurs en phosphore des sols sous prairies permanentes en Wallonie – période 2003-2008.

Tableau 15

Teneur en phosphore (en mg/100 g de terre sèche) des sols sous cultures pour les différentes régions agricoles en Wallonie.

Paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population (période 2003-2008) et évaluation des tendances (période 1994-2008).

Statistiques des données 2003-2008											Tendance 1994-2008 (%)
Région	N	Moyenne	Ecart- type	P95	P90	P75	P50	P25	P10	P5	
Ardenne	1399	4,2	2,12	8,3	6,9	5,0	3,8	2,8	2,1	1,7	-
Campine hennuyère	288	10,1	4,27	17,7	16,4	12,5	9,2	7,1	5,5	4,4	-
Condroz	13403	6,8	3,45	13,3	11,4	8,8	6,3	4,2	2,8	2,2	↘ -20,4
Fagne	327	5,2	3,33	12,1	9,5	6,7	4,6	2,8	2,0	1,5	↘ -49,0
Famenne	1244	5,4	3,40	11,6	9,6	6,9	4,6	2,9	2,0	1,6	↘ -12,1
Haute Ardenne	127	3,3	1,37	5,3	4,5	3,6	3,0	2,6	2,3	1,9	-
Herbagère	1924	8,1	4,90	16,9	14,6	11,0	7,4	4,2	2,6	1,9	↗ 26,6
Jurassique	718	4,2	2,55	9,4	7,4	5,5	3,5	2,3	1,5	1,2	-
Limoneuse	34115	9,8	4,45	17,9	15,5	12,3	9,2	6,7	4,8	3,8	-
Sablo-Limoneuse	12554	10,6	5,40	21,0	17,6	13,2	9,6	6,8	4,8	3,7	-
Toutes régions	66099	9,0	4,73	17,7	15,0	11,5	8,3	5,6	3,7	2,8	-

Tendance : augmentation ou diminution en pourcent de la valeur du paramètre sur la période 1994-2008.

Tableau 16

Teneur en phosphore (en mg/100 g de terre sèche) des sols sous prairies permanentes pour les différentes régions agricoles en Wallonie.

Paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population (période 2003-2008) et évaluation des tendances (période 1994-2008).

Statistiques des données 2003-2008											Tendance 1994-2008 (%)
Région	N	Moyenne	Ecart- type	P95	P90	P75	P50	P25	P10	P5	
Ardenne	3866	5,0	2,33	9,5	8,0	6,1	4,5	3,3	2,5	2,1	-
Campine hennuyère	43	10,7	5,15	19,6	18,4	14,0	10,6	6,7	4,9	3,6	-
Condroz	4094	5,3	3,17	11,5	9,5	6,8	4,7	3,0	2,1	1,6	↘ -26,2
Fagne	364	4,7	2,96	10,2	8,4	6,4	4,1	2,5	1,7	1,4	↘ -31,9
Famenne	1496	4,5	2,60	9,5	8,0	6,0	4,0	2,6	1,8	1,4	-
Haute Ardenne	1061	3,2	1,56	6,2	5,1	3,8	2,9	2,3	1,7	1,4	-
Herbagère	4929	5,1	3,29	11,7	9,5	6,6	4,2	2,7	1,8	1,3	-
Jurassique	396	3,5	2,10	7,4	6,2	4,5	2,9	1,9	1,4	1,2	-
Limoneuse	2629	8,8	5,35	19,1	16,0	11,6	7,7	5,0	3,0	2,3	↘ -19,3
Sablo-Limoneuse	1255	8,5	5,57	19,2	15,8	11,4	7,3	4,2	2,7	2,0	-
Toutes régions	20133	5,6	3,86	13,2	10,6	7,2	4,6	3,0	2,1	1,6	-

Tendance : augmentation ou diminution en pourcent de la valeur du paramètre sur la période 1994-2008.



viser car les moyennes diffèrent fortement d'une région à l'autre. Globalement, un gradient du nord vers le sud et d'ouest vers l'est (figure 23) est présent. Les valeurs de phosphore les plus élevées sont observées en Régions limoneuse, sablo-limoneuse et en Campine hennuyère tandis que les valeurs sont faibles en Ardenne, Haute Ardenne et en Région jurassique. La gestion de la fertilisation minérale et organique peut être à l'origine de ces disparités régionales, de même que des différences de substrats géologiques. En effet, les valeurs les plus élevées (N-O de la Wallonie) sont situées dans les zones d'élevage intensif, de porcins entre autres. Les régions au nord du sillon sambro-mosan, où les risques d'entraînement du phosphore par ruissellement et les teneurs sont élevés, sont donc les plus à risque du point de vue des pertes vers l'environnement et nécessitent une gestion raisonnée de cet élément, contrairement au sud où la problématique est principalement d'ordre agronomique. De plus, des variabilités importantes au sein des régions (coefficient de variation > 50 %) ont pu être observées et s'expliquent par une fertilisation plus ou moins intensive et par la richesse relative des matériaux parentaux présents (Renneson *et al.*, 2010).

Ces tendances sont similaires tant pour les prairies que pour les cultures même si, de manière générale, les teneurs en phosphore disponible sont plus importantes sous

cultures que sous prairies. Ces différences sont le reflet d'une fertilisation minérale plus importante sous cultures.

Une bonne croissance des plantes et des rendements acceptables nécessitent des teneurs dans les sols suffisantes. Des seuils agronomiques ont ainsi été définis en fonction de la texture et du  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  du sol (Genot *et al.*, 2011b). En comparaison à ces seuils, en cultures, 15 % des teneurs sont considérées comme insuffisantes et 38 % comme excessives, tandis qu'en prairies, ces teneurs équivalent respectivement à 19 et 16 % des moyennes par principaux types de sols. La proportion de sols enrichis en prairies est donc moindre qu'en cultures. Dans le cas de données inférieures aux valeurs seuils, un risque de carence pour les cultures pourrait survenir. Ces comparaisons aux seuils agronomiques ont été possibles par la prise en compte du type de sol dans l'établissement des cartes. En effet, ces seuils étant fonction de la texture, une connaissance de celle-ci est nécessaire à la détermination des seuils. Préalablement, un seuil global de 4,6 mg/100 g était considéré sans prendre en compte les spécificités du sol. Une connaissance des moyennes par principaux types de sols a permis d'améliorer cette évaluation, notamment en sols lourds. En effet, ces sols estimés plus pauvres en phosphore disponible sont suffisamment pourvus pour une croissance adéquate, contrairement à ce qui était mis

en évidence préalablement. Par exemple, en Ardenne, les teneurs moyennes en phosphore disponible des sols sous cultures sont de 4,2 mg/100 g, ce qui indiquerait que plus de la moitié des cultures sont carencées en phosphore, or les rendements sont tout à fait bons dans les parcelles concernées. Il faut également prendre en compte que dans certains sols, comme c'est le cas en Ardenne, le stock de phosphore organique est important, ce qui représente un bon réservoir et qui implique que les faibles teneurs en phosphore disponible ne sont pas un problème.

Après l'apogée de consommation des engrais phosphatés dans les années 60, une diminution importante a été observée (diminution de 80 % entre 1980 et 2009 selon l'UNIFA). Cette diminution de consommation peut être attribuée principalement à l'augmentation du prix des engrais, mais également à la prise en compte des bilans prévisionnels et à une prise de conscience environnementale.

- Tout d'abord, ces dernières années, une augmentation très importante du prix des engrais a été observée. Celle-ci est, en partie, imputable à la limitation de la ressource mondiale de roches phosphatées. On estime à une centaine d'années les réserves actuelles de phosphore sur la planète. L'aspect financier a, bien entendu, motivé beaucoup d'agriculteurs à limiter les apports de phosphore, voire à réaliser l'impasse sur la fertilisation de leurs parcelles.
- Depuis de nombreuses années il y a eu recentrage de la fertilisation sur base d'un bilan prévisionnel dans lequel l'accent est mis sur la balance entre les besoins et les apports.
- Enfin, une certaine sensibilisation du public sur les effets néfastes du phosphore sur l'environnement a été réalisée depuis quelques années, le phosphore étant responsable au même titre que l'azote de l'eutrophisation des eaux de surface.

La comparaison des teneurs moyennes sur les périodes 1997-2002 et 2003-2008 a permis de montrer une disparition de la classe la plus haute (16-18 mg P/100 g). Ces valeurs les plus élevées étaient alors rencon-

trées pour les sols sous cultures en Régions limoneuse et sablo-limoneuse, à l'extrême nord-ouest du pays. La disparition de ces classes de teneurs extrêmes sous-entend une diminution générale des teneurs en P dans les sols qui reflète cette diminution des apports d'engrais phosphatés minéraux. L'analyse des tendances de 1994 à 2008 confirme cette évolution. Une diminution des teneurs du sol a été mise en évidence de façon significative en Condroz et en Fagne tant pour les cultures que pour les prairies, en sols sous cultures en Famenne et sous prairies en Région limoneuse (tableaux 15 et 16). En Région herbagère, par contre, une augmentation des teneurs est observée pour les sols sous cultures, malgré le fait que cette région soit celle où les apports phosphatés minéraux sont les plus faibles (d'après données enquêtes D'GARNE). Ces tendances pourraient être expliquées par des apports importants d'engrais organiques, liés à la densité du bétail et à l'apport de phosphore via les aliments pour bétail. Cette hypothèse pourrait se vérifier par le fait que c'est dans cette région que la teneur moyenne en potassium, également présent dans les effluents, est la plus élevée pour les sols sous cultures sur la période 2003-2008. Cependant, aucune tendance significative n'a pu être mise en évidence pour le potassium dans cette région suite aux grandes variations annuelles des teneurs moyennes enregistrées.

Il est primordial de réaliser un suivi continu des teneurs de phosphore dans les sols afin d'éviter une diminution excessive des teneurs dans les sols sensibles, et d'éventuelles pertes de rendements. Cependant, cette diminution est cohérente avec une volonté de limiter les pertes de phosphore d'origine agricole vers les eaux de surface pour limiter le phénomène d'eutrophisation de ces eaux.

D'autres indicateurs ont été développés pour améliorer la gestion des risques environnementaux liés au phosphore. Un des plus utilisés ces dernières années est le **taux de saturation en phosphore**. Il s'agit d'un indicateur développé aux Pays-Bas qui estime la part des sites de fixation du phosphore réellement occupés par cet élément

(Sonnet *et al.*, 2010). Cet indicateur permet d'évaluer la potentialité du phosphore à être libéré vers l'environnement. Il a été adapté et est utilisé en routine dans de nombreux pays dont le Canada et les Etats-Unis car il présente l'avantage d'être bien corrélé aux pertes en phosphore. Dans les pays scandinaves, un indicateur plus complexe reprenant les caractéristiques du milieu comme la pente, la couverture du sol ou les teneurs en phosphore a été développé. Il s'agit de l'indice de **risque de pertes en phosphore**. Bien que complet, cet indicateur est difficile à utiliser en routine et demande un calibrage complexe et difficile à mettre en place. Il est donc généralement considéré comme un indicateur utilisable à l'échelle de la parcelle uniquement. Dans certains pays, le phosphore extrait à l'eau joue également le rôle d'indicateur environnemental.

Dans les prairies, un **indice de nutrition du phosphore** peut être utilisé. Il s'agit d'une analyse foliaire visant à déterminer l'écart entre le niveau de nutrition optimum et l'état de nutrition de l'herbe dans la prairie. Le calcul des indices de nutrition sur les fourrages indique généralement des teneurs suffisantes en phosphore (Mathot *et al.*, 2009). Cet indicateur permet d'éviter un apport excédentaire d'engrais par rapport aux besoins de l'herbe.

**L'eutrophisation** est un enrichissement de l'eau en éléments nutritifs engendrant un développement excessif d'algues et une diminution de l'oxygène dissout pouvant aller jusqu'à l'anoxie. Actuellement, cette problématique touche une grande partie de l'Europe et est en partie attribuable au phosphore d'origine agricole perdu par ruissellement et érosion. De nombreuses mesures de gestion du phosphore d'origine domestique et industrielle (systèmes de déphosphatation dans les stations d'épuration, interdiction des phosphates dans les lessives...) ont permis de diminuer les concentrations observées dans les cours d'eau. Il convient également de mettre en place ou de maintenir une gestion raisonnée du phosphore et de l'azote d'origine agricole afin de répondre aux objectifs de la Directive cadre Eau (2000/60/CE).

## Les éléments traces dans les sols

Les éléments traces (ET) dans les sols sont définis par rapport à la composition moyenne de l'écorce terrestre et regroupent tous les éléments dont les concentrations sont inférieures à 0,1% (Baize, 1997). Certains d'entre eux, les oligoéléments, sont indispensables au fonctionnement biologique (Mo, Ni, Cu, Zn, B...) et la plupart peuvent s'avérer toxiques à des teneurs élevées. Il en va de même pour d'autres éléments traces dont le caractère indispensable n'est pas démontré (Cd, Hg, Pb...).

Les ET sont au centre d'enjeux environnementaux importants dans les terres de cultures car tous les intrants qui sont apportés aux sols, volontairement (fertilisants, chaulages, fumiers, traitements phytosanitaires, épandages de lisiers, composts, boues de stations d'épuration) ou non (retombées atmosphériques, contaminations accidentelles...), en contiennent et leur accumulation peut augmenter les risques de contamination de la chaîne alimentaire ou des eaux de surface. En effet, même si la plupart des ET classiquement étudiés sont peu mobiles, certaines formes de ceux-ci sont biodisponibles ou susceptibles de migrer dans la solution du sol. Les formes particulières peuvent en outre être entraînées par érosion vers les cours d'eau, où des conditions d'oxydo-réduction différentes de celles des sols bien aérés peuvent modifier sérieusement la mobilité des ET.

L'analyse des ET n'est pas la plus simple à mettre en œuvre, mais depuis quelques années, **REQUASUD** a également harmonisé les méthodes d'analyse des ET visés par la réglementation relative à l'épandage des boues en agriculture. La validité des résultats et la compétence analytique des laboratoires du réseau sont régulièrement suivies par l'organisation des essais interlaboratoires. Grâce à cela, **REQUASUD** commence à constituer une base de données spécifique à ces éléments, qui pourra être exploitée à diverses fins de cartographie ou d'état régional de la qualité des terres.

## 7 CONCLUSION

Cette brochure constitue la troisième synthèse des résultats d'analyses de terre établie grâce à la base de données du réseau **REQUASUD** et couvre la période 2003-2008. Les deux premières concernaient les périodes 1994-1997 et 1998-2002. Cette synthèse régionale permet de donner une autre dimension aux analyses effectuées à l'échelle de la parcelle agricole. Sur base des résultats enregistrés au cours de ces quinze années d'analyses, une étude des principales tendances observables par région agricole a également été effectuée et constitue une nouveauté de cette synthèse.

Les résultats présentés pour la période 2003-2008 illustrent l'état de fertilité des sols en fonction de leur occupation et du milieu naturel pour les principales propriétés de sol étudiées dans le cadre du suivi de la fertilité des parcelles. Par exemple, concernant l'évaluation du statut acido-basique, une partie des sols cultivés en Wallonie (Région herbagère, Ardenne, Haute Ardenne et Région jurassique) se situent sous la valeur optimale de 6,5. De plus, des différences pour les propriétés étudiées existent au sein d'une même région agricole, en relation notamment avec l'origine des matériaux parentaux, les modes d'exploitation des sols et les niveaux d'intensification. C'est ainsi qu'en prairies

les teneurs les plus élevées en potassium se rencontrent en Ardenne, alors qu'en sols sous cultures elles sont assez homogènes sur toute la Wallonie. De même, les teneurs en magnésium des sols sous prairies sont généralement plus élevées que celles des sols sous cultures, contrairement aux teneurs en potassium ; avec la conséquence d'un rapport K/Mg défavorable en prairies pour la majorité des régions agricoles et le risque d'une mauvaise disponibilité du potassium pour la plante.

Parallèlement à l'état de fertilité des sols pour la période 2003-2008, l'étude réalisée sur la période 1994-2008 a permis de dégager les principales évolutions des propriétés de sol au cours de ces 15 années. Les différenciations intrarégionales n'ont pas été considérées dans cette approche, une seule tendance par paramètre et par occupation du sol a été évaluée. Le paramètre ayant évolué de la manière la plus significative pour les deux occupations de sol est le magnésium disponible qui augmente significativement dans la majorité des régions agricoles. Différentes hypothèses ont été émises pour expliquer cette situation (apport de chaux magnésienne, complément magnésien pour la fertilisation des prairies...) et l'accent a été mis sur les risques d'une trop forte teneur en magnésium dans les sols, par les carences induites qu'elle provoque. Pour les autres paramètres suivis, la tendance est généralement vers une stabilisation des valeurs au cours de ces quinze années mais avec quelques régions agricoles pour lesquelles des évolutions très importantes sont constatées. L'exemple du potassium qui diminue drastiquement en Haute Ardenne est évocateur de ces situations.

Le contexte économique et environnemental actuel incite les agriculteurs à revoir leur stratégie de fertilisation. S'il est évident que le raisonnement doit être plus axé sur les besoins de la plante que sur un redressement de l'offre du sol, il est cependant essentiel que cela n'induisse pas un appau-

vrissement des sols et l'apparition, qui sera alors de plus en plus fréquente, de facteurs limitant. L'équilibre de l'offre du sol doit être maintenu. L'analyse classique de terre avec la finalité d'un conseil de fumure précis, couplée à de nouvelles approches comme l'évaluation ponctuelle de la richesse de la solution du sol (Parmentier, 2011) ou les indices de nutrition minérale (Mathot *et al.*, 2009) permet d'apporter la juste quantité de chaque élément au moment le plus opportun et ainsi de garantir le potentiel de production tout en maintenant l'équilibre de l'offre du sol.

L'analyse de terre n'est pas une finalité en soi ; elle doit nécessairement être accompagnée d'un conseil de fumure adapté. Grâce au développement de nouvelles procédures dans le réseau **REQUASUD**, ces conseils sont affinés par rapport aux périodes couvertes par les brochures précédentes ; par exemple :

- le géoréférencement des parcelles, voire des zones homogènes au sein de celles-ci, améliore la localisation et permet une exploitation plus fine de la base de données ;
- l'estimation de la capacité d'échange cationique (CEC) des sols par la technique infrarouge constitue un pas important dans l'interprétation des résultats ;
- le couplage des résultats analytiques avec les données de la Carte Numérique des Sols permet de disposer de paramètres précieux pour affiner les conseils de fumure.

L'objectif premier du conseil de fumure est d'adapter au mieux la fumure aux besoins des végétaux. Cependant, l'heure étant à la protection des sols et au suivi dans le temps de leur qualité, la fertilisation est influencée par le souci d'une gestion parcimonieuse des intrants agricoles. Il n'est donc pas étonnant de voir évoluer le raisonnement, quitte à changer de méthode d'interprétation si cela s'impose.

Ainsi, selon ARVALIS (Institut du végétal), l'engrais P ou K a davantage pour mission principale de bien alimenter la culture que d'enrichir le sol (COLLECTIF, 2011). En effet, les sols les plus pauvres seraient

capables d'atteindre de hauts niveaux de production dès qu'ils reçoivent de l'engrais, même si ces apports ne contribuent pas à les enrichir analytiquement. Dans le même ordre d'idées, l'efficacité des forts enrichissements consécutifs à de longues périodes de surfertilisation serait parfois de courte durée. Cette façon de voir la fertilisation va à l'encontre de la notion d' « effet vieille grasse » qui visait à obtenir un sol riche pour garantir un rendement maximum. C'est également dans ce contexte que des méthodes permettant d'évaluer la richesse de la solution du sol à des moments-clés de la culture se développent au sein du réseau **REQUASUD** en partenariat avec l'ULg, le CRA-W et Rosier (Parmentier, 2011).

Dans un contexte plus large, le maintien d'un statut organique des sols compatible avec ses fonctions agronomiques et environnementales constitue un autre enjeu crucial et d'actualité. L'estimation des stocks de carbone organique dans les sols correspond à une demande sociétale, scientifique et politique. La base de données **REQUASUD** a déjà fait l'objet de plusieurs demandes d'extraction des données relatives au carbone organique total qui ont abouti à des publications scientifiques (Letpens et al., 2004 ; Van Wesemael et al., 2004). La matière organique constitue en effet une source importante d'éléments nutritifs pour les plantes et joue un rôle essentiel dans la rétention en eau, l'immobilisation de certains polluants et la lutte contre l'érosion. Il est nécessaire de maintenir les usages et les pratiques qui ont permis la constitution de stocks importants de carbone dans les sols et de préserver les stocks existants à long terme.

Enfin dans un avenir proche, le respect de normes environnementales fera de plus en plus partie des conditions d'octroi des aides au secteur agricole. Mais une politique de limitation intempestive des intrants ne va pas sans risque de perte de fertilité des sols ; d'où l'intérêt de disposer d'une base de données comme celle de **REQUASUD** pour suivre l'évolution des paramètres qui déterminent non seulement la fertilité des sols, mais également les risques de détérioration de l'environnement.

## BÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Baltus C., Feltz C., Veron P. & Lejeune P. 2007. *La carte d'occupation du sol de Wallonie - version 1*, 9 p., document consultable sur le site : [http://cartographie.wallonie.be/NewPortailCarto/PDF/notice\\_COSW.pdf](http://cartographie.wallonie.be/NewPortailCarto/PDF/notice_COSW.pdf).

Baize D. 1997. *Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). Références et stratégies d'interprétation*. INRA Éditions, Paris. 410 p.

CE 2002. *Communication de la commission au conseil, au parlement européen, au comité économique et social et au comité des régions : Vers une stratégie thématique pour la protection des sols*.

Colinet G., Toussaint B., Laroche J., Goffaux M.-J., Oger R. 2005. *Base de données sols de REQUASUD – 2<sup>ème</sup> synthèse*. 36 p.

COLLECTIF 2011. *Fertilisation PK : raisonner pour agir*. Edition ARVALIS Institut du végétal. 44 p.

Dagnelie P. 2007. *Statistique théorique et appliquée. Tome 1. Statistique descriptive et bases de l'inférence statistique*. Bruxelles, De Boeck, 511 p.

Diab-Sas M. 1991. L'échantillonnage d'un sol : une opération plus délicate qu'il n'y paraît. *Cultivar*, 289, 71-74.

Institut National de Statistique, *Enquête agricole de mai 2009*.

Genot V., Colinet G. & Bock L. 2007. *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*. 78 p.

Genot V., Colinet G., Bock L., Vanvyve D., Reusen Y. & Dardenne P. 2011a. Near infrared reflectance spectroscopy for estimating soil characteristics valuable in the diagnosis of soil fertility. *JNIRS*, 19 (2), 117-138.

Genot V., Renneson M., Bock L., Colinet G., Goffaux M.-J., Cugnon T., Coutisse P., Lizin P., Blondiau L.-M., Vanvyve D., Lambert R., Toussaint B., Courtois P. & Balon J. 2011b. *Un conseil de fumure raisonné. Le cas du phosphore*. REQUASUD, 26p.

Guide ISO 43-1 : 1997 : Essais d'aptitude des laboratoires par intercomparaison - Partie 1: Développement et mise en oeuvre de systèmes d'essais d'aptitude.

Lakanen E. & Erviö R., 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agraria Fennica*, 123, 223-232.

Laroche J., Oger R. 1998. *Base de données sols : première synthèse*. 24 p.

Legrain X., Bah B.B., Engels P., Colinet G. & Bock L. 2007. *Légende de la Carte Numérique des Sols de Wallonie - version 2*. 54 p.

Legrain X., Demarcin P., Colinet G. & Bock L. 2011. *Révision de la Carte Numérique des Sols de Wallonie. Troisième rapport intermédiaire*. 11 p.

Letpens S., Van Orshoven J., Van Wesemael B., Perrin D., Roelandt C. (2004). The inventory-based approach for prediction of SOC changes following land use change. *BASE*, 8 (2), 141-146.

Mathot M., Vermeiren E. & Lambert R. 2009. *Indices de nutrition minérale et ensilage d'herbes : évaluation et validation de leur utilisation pour la détection des déficiences en prairies*. Rapport final de la recherche collective (subvention 2741/1), 22 p.

Merelle F., 1998. *L'analyse de terre aujourd'hui*. Nantes, France : Édition GEMAS.

Norme NF X 31-100:1992 : Qualité des sols – échantillonnage – Méthode de prélèvement d'échantillons de sols.

Norme ISO 5725-2:1994 (F) : Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure -- Partie 2: Méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée.

Norme ISO 7870-1:2007 : Cartes de contrôle -- Partie 1: Lignes directrices générales.

Norme ISO 10381-2:2002 : Qualité du sol -- Échantillonnage -- Partie 2: Lignes directrices pour les techniques d'échantillonnage.

Norme ISO 17043 :2010 : Évaluation de la conformité — Exigences générales concernant les essais d'aptitude.

Parmentier J.-M. 2011. *Concept de raisonnement de la fertilisation basé sur le suivi analytique de la solution du sol (DIP)*. Les 10èmes rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse. Poster et résumé, 2 p.

Renneson M., Dufey J., Bock L., Colinet G. 2010. Effects of parent material and land use on soil phosphorus forms in Southern Belgium. In: Gilkes, R.J. & Prakongkep, N. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1-6 August 2010, Brisbane (Australia). pp. 40-43.

Roebroek H., 2009. *Le prélèvement : quels acquis méthodologiques ?* 9èmes rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de Terre. 25-26 novembre 2009. COMIFER-GEMAS, Blois, France.

Schvartz C., Muller J.-C. & Decroux J. 2005. *Guide de la fertilisation raisonnée*. Editions France Agricole. 414 p.

Sonnet P., Houben D., Meunier C. & Pereira B. 2010. *Etat des lieux du taux de saturation en phosphore des sols agricoles de la Région wallonne et perspectives d'évolution compte tenu des apports de matière organique (acronyme SATUPHOS)*. Convention DGARNE-UCL. Rapport final.

Van Wesemael B., Letpens S., Roelandt C. & Van Orshoven J. 2004. Changes in soil carbon stocks from 1960 to 2000 in the Belgian cropland areas. *BASE*, 8 (2), 133-139.

édité et distribué par :

ASBL **REQUASUD**  
rue de Liroux, 9  
B - 5030 Gembloux  
Belgique

Dépôt légal : D/2012/8689/1

Conception graphique : Benoît Toussaint /  
[www.tobenotobe.be](http://www.tobenotobe.be) (Filigrane group)



## Base de données sols de **REQUASUD**



### Laboratoires de services directs

#### > La Hulpe (Brabant Wallon)

ASBL **Brabant Wallon Agro-qualité**  
Centre provincial de l'agriculture et de la Ruralité

responsable **F. Demeuse**  
contact **P. Coutisse**  
rue St Nicolas, 17  
1310 La Hulpe  
tél. 02 656 09 70  
fax 02 652 03 06  
labo.lahulpe@skynet.be

#### > Ath (Hainaut)

ASBL **CARAH**  
Laboratoires du CARAH

responsable **M. Van Koninckxloo**  
contact **L-M. Blondiau**  
rue Paul Pastur, 11  
7800 Ath  
tél. 068 26 46 90  
fax 068 26 46 99  
blondiau@carah.be

#### > Tinlot-Scry (Liège)

ASBL **CPL-PROMOGEST**  
Laboratoire de la Province de Liège

responsable **D. Vanvyve**  
rue de Dinant, 110  
4557 Tinlot-Scry  
tél. 085 24 38 00  
fax 085 24 38 01  
spaa@provincedeliege.be

#### > Bastogne (Luxembourg)

ASBL **IQUALUX**  
Centre de Michamps

responsable **R. Lambert**  
contact **J-P. Sacré**  
Michamps  
6600 Bastogne  
tél. 061 21 08 20  
fax 061 21 08 40  
centredemichamps@uclouvain.be

#### > Ciney (Namur)

ASBL **OPA-Qualité Ciney**  
Avec le concours de l'Office Provincial Agricole de la Province de Namur

responsable **P. Courtois**  
contact Labo **J. Roulet**  
contact Agro **J. Balon**  
Domaine St Quentin  
Rue de St Quentin, 12  
5590 Ciney  
tél. 081 77 68 16  
fax 083 21 81 18  
jenny.roulet@province.namur.be

### Laboratoire d'encadrement référentiel

#### Analyses de terre

**Unité de Science du Sol** (ULg GxABT)

responsable **L. Bock**  
contact **G. Colinet**  
Avenue Maréchal Juin, 27  
5030 Gembloux  
tél. 081 62 25 42  
fax 081 61 48 17  
gilles.colinet@ulg.ac.be

### Coordination générale de l'ASBL **REQUASUD**

**Cellule de coordination de REQUASUD** (CRA-W)

Rue de Liroux, 9  
5030 Gembloux  
responsable **Marie-Julie Goffaux**  
tél. 081 62 65 90  
fax 081 62 65 59  
requasud@cra.wallonie.be

**Base de données centralisée** (CRA-W)

responsable **Robert Oger**  
rue de Liroux, 9  
5030 Gembloux  
tél. 081 62 65 74  
fax 081 62 65 59  
ogier@cra.wallonie.be

ASBL **REQUASUD**

contact **Marie-Julie Goffaux**  
Rue de Liroux, 9  
5030 Gembloux  
tél. 081 62 65 90  
fax 081 62 65 59  
requasud@cra.wallonie.be