



Base de données sols de **REQUASUD** 2^{ème} synthèse

Nous remercions également

L. Bock (Unité Sol, Ecologie,
Territoire - laboratoire de
géopédologie – FUSAGx) et

J-P. Destain (chaîne Nitrates de
l'asbl **REQUASUD**, département
Production végétale – CRA-W),
pour leurs conseils judicieux et
leurs relectures attentives.

Travail réalisé
avec la collaboration
des laboratoires
de la Chaîne
Minérale-sols,
les asbl Carah,
Céréales Plus, Iqualux,
Brabant Wallon
Agro-Qualité,
Agri-qualité et OPA
Qualité Ciney.

G. Colinet,

Unité Sol, Ecologie, Territoire
- laboratoire de géopédologie (FUSAGx)

J. Laroche,

Assistant au sein de l'Unité Sol, Ecologie,
Territoire - laboratoire de géopédologie
(FUSAGx) de 1993 à 2003

B. Toussaint,

Conseiller pour la qualité du milieu,
cellule de coordination de **REQUASUD**,
Laboratoire d'écologie des prairies (UCL)

M-J. Goffaux,

Coordinatrice de la cellule
de coordination de **REQUASUD**

M. Martinez,

Base de données de l'asbl **REQUASUD**

R. Oger,

Section biométrie, Gestion des
Données et Agrométéorologie (CRA-W)



Avec le soutien du
Ministère de la
Région wallonne,
Direction Générale
de l'Agriculture

2	■ Introduction
4	■ Méthodologie pour la constitution et l'exploitation d'une base régionale de données sols
4	Origine et nature des données
4	Modalités pratiques de l'échantillonnage
5	Analyses effectuées par la chaîne Minérale-sols
7	Contrôle et validation des données
9	Stratification et traitement des données
10	Spatialisation des données
11	■ Exploitation de la base de données sols de REQUASUD pour l'évaluation de l'état de fertilité des terres en région wallonne
11	Introduction
11	L'état de fertilité
11	Le statut acido-basique
14	Le statut organique
16	Le statut nutritif
16	a/ Le phosphore disponible
18	b/ Le potassium (K) disponible
20	c/ Le magnésium (Mg) disponible
22	d/ Le calcium (Ca) disponible
25	e/ Le cuivre (Cu) disponible
25	Interprétation et conseil de fumure
26	Les normes
27	La fumure d'entretien
27	La fumure de redressement
28	■ Perspectives d'utilisation agro-environnementale de la base de données
28	Affinement du conseil agronomique
28	Raisonnement à la parcelle, vers une agriculture de précision
29	Questions environnementales
29	Epandages de matières organiques
30	Erosion
30	Flux de gaz à effet de serre
31	■ Conclusion
32	■ Références bibliographiques

La gestion des sols agricoles repose sur une évaluation permanente de leur fertilité et de leur capacité à produire ou à supporter des cultures. La connaissance des propriétés physiques et chimiques des terres constitue un préalable au choix de spéculations, à l'affectation des parcelles et à la définition d'itinéraires phytotechniques respectueux de l'environnement. A ce titre, l'analyse de terre reste, à l'heure actuelle, un outil indispensable d'aide à la décision.

Dans le même ordre d'idées, le développement de l'agriculture de précision nécessite également la connaissance précise de l'état nutritif du sol et par conséquent l'analyse régulière de ce dernier. Dans ce cadre, les informations issues des cartes des sols numérisées pour l'ensemble de la Région wallonne pourront être associées à d'autres sources d'information, permettant de mieux caractériser les parcelles agricoles et ainsi d'exploiter au maximum les résultats d'analyse en vue d'établir des plans de fertilisation personnalisés.

En outre, la localisation précise ou *géo-référencement* des parcelles par GPS -*Global Positionning System*- ou à l'aide d'orthophotoplans permet d'envisager un suivi dans le temps de l'évolution des caractéristiques des sols. Qu'il s'agisse d'un sol agricole recevant des boues d'épuration ou d'un sol forestier, l'analyse régulière du sol s'impose pour la mise en place des démarches de traçabilité.

En Région wallonne, pour réaliser des analyses de terre, les gestionnaires et plus particulièrement les agriculteurs disposent d'un réseau de laboratoires réunis au sein de la chaîne Minérale-sols de **REQUASUD**. Le réseau **REQUASUD** a été créé afin de mettre à la disposition des

praticiens (agriculteurs, négociants, vulgarisateurs, ...) des moyens d'analyses et de conseils efficaces; le réseau a notamment pour but l'amélioration et la promotion de la qualité des produits et des analyses. Celles-ci sont assurées par le contrôle régulier des appareils et des méthodes d'analyse à l'aide d'essais interlaboratoires impliquant tous ses partenaires.

Le réseau **REQUASUD** dispose d'une base de données centralisée où sont rassemblés chaque année les résultats des analyses réalisées par les laboratoires. En ce qui concerne l'analyse des sols, elle comprend actuellement quelque 192.000 échantillons prélevés en Région wallonne. Cette base de données constitue donc un référentiel régional important qui permet de recadrer des situations ponctuelles dans un contexte plus général et par là d'en améliorer l'interprétation.

En amont des aspects décisionnels concernant la parcelle ou l'exploitation agricole, les résultats d'analyse sont exploités par la recherche agronomique qui étudie, entre autres, les effets des systèmes de culture sur l'élaboration du rendement et les modifications du milieu. En aval, c'est la conservation des ressources naturelles qui est concernée par les modalités de gestion agricole des terres.

Afin de sauvegarder la qualité du milieu, on demande à l'agriculture actuelle non seulement de maîtriser ses propres flux d'intrants, mais également de résorber les effluents organiques et minéraux provenant des villes, de l'agro-industrie et des zones d'élevage intensif. L'analyse de terre est là aussi incontournable pour établir des critères d'évaluation en vue d'un diagnostic agro-environnemental.

Le rôle fondamental du sol dans les problèmes environnementaux connaît un regain d'intérêt, que ce soit dans le cadre des flux de gaz à effet de serre, du recyclage des déchets au sein d'une agriculture durable, de la protection des aquifères, des migrations potentielles des

contaminants au sein des écosystèmes terrestres, de l'évaluation des risques d'inondation ou du maintien de la biodiversité. L'heure est à la recherche d'indicateurs de la qualité des sols. Là où BENOIT et PAPY (1998) parlent de la nécessité de concevoir une agronomie écologique, c'est-à-dire interdisciplinaire, l'actualité européenne met l'accent sur la surveillance et la protection des sols (CE, 2002). Or, cette dernière nécessite au préalable une bonne connaissance de l'état des sols, de leurs caractéristiques. Différentes initiatives existent pour la mise en place de réseaux de suivi de la qualité des sols (KING et MONTANARELLA, 2002 ; WARIN *et al.*, 2004). Dans cette perspective, les structures favorisant un suivi spatialisé de l'évolution des caractéristiques des sols

statistiques et de cartes, puis commentés. Des perspectives d'utilisation dans une optique davantage environnementale que l'aspect purement lié à la fertilité sont enfin abordées.

A l'instar de celui de la période 1994-1998, cet état des lieux repose sur des statistiques globales ou spatialisées, obtenues à partir d'informations référencées par un code postal. Le choix de la méthode de spatialisation a été conditionné par la nature des informations spatiales disponibles, notamment la carte des associations de sols à l'échelle de 1:500 000. Le niveau de détail le plus pertinent pour interpréter des variations spatiales sur les cartes présentées dans ce document relève dès lors de l'échelle des petites régions naturelles (quelques kilomètres carrés). Les cartes n'ont donc pas



répondent à un réel besoin de société.

Ce document, qui fait suite à une première synthèse réalisée en 1998, a pour objet de présenter une situation actualisée des terres agricoles (cultures et prairies), à partir des informations disponibles dans la base de données pour la période 1998-2002.

Cette note présente d'abord la méthodologie générale, avec un accent sur l'échantillonnage et la spatialisation des données, celle-ci ayant été adaptée par rapport à la première synthèse en raison de la disponibilité de données géographiques complémentaires. Les résultats sont ensuite présentés sous forme de tableaux

pour vocation de présenter les teneurs mesurées dans telle ou telle autre parcelle agricole.

En 1994, BOCK plaide en faveur d'un cadrage morphopédologique des analyses de terre, c'est-à-dire à la prise en compte des volumes naturels de sols, les horizons, et des relations entre les sols au sein des paysages pour améliorer l'interprétation des analyses. Sans remplacer les inventaires pédologiques traditionnels, les bases de données relatives aux analyses de terre permettent néanmoins de fournir des éléments objectifs pour l'interprétation de l'état de fertilité aussi bien dans un contexte de fertilisation que de conservation des ressources naturelles (WALTER *et al.*, 1997).

1. Méthodologie pour la constitution et l'exploitation d'une base régionale de données sols

1.1. Origine et nature des données

L'utilisation d'une base de données constituée d'analyses de terre pose un certain nombre de questions sur la représentativité des échantillons, sur les conditions dans lesquelles ceux-ci ont été prélevés, sur la possibilité d'exploiter des informations locales dans le cadre de synthèses régionales et sur les techniques de spatialisation de ces informations. Ces questions ne sont pas spécifiques à la base de données du réseau **REQUASUD** ; ALAERTS *et al.* (1982) ainsi que SCHVARTZ *et al.* (1997) y ont été confrontés également auparavant.

En général, les analyses sont effectuées à la demande d'agriculteurs, de gestionnaires ou de particuliers qui recherchent des éléments d'aide à la décision pour la gestion de leurs parcelles, notamment pour établir un plan de fertilisation. Dans certains cas, l'analyse de terre est envisagée comme le dernier recours pour trouver une solution dans des situations à problèmes. Les données provenant de ces situations peuvent donc être en partie biaisées (présence de valeurs extrêmes), mais elles ne représentent heureusement qu'un faible pourcentage de l'effectif global. Quoiqu'il en soit, la base de données ne peut être considérée comme un inventaire systématique au niveau de la Région wallonne, mais plutôt comme une enquête relative à une partie du territoire agricole. L'importance de la demande en analyses varie selon les endroits et la qualité de représentation d'une région dépend de l'affectation des terres. Le nombre élevé de données constitue toutefois une garantie par rapport à la représentativité des situations rencontrées.

Avant d'aborder le traitement des données proprement dit, certains rappels relatifs à l'échantillonnage sont utiles. L'échantillonnage du sol est une étape essentielle dans le processus qui doit aboutir à l'établissement d'un conseil de fertilisation. De tous les facteurs susceptibles d'affecter l'incertitude des résultats, il est certainement celui qui est le moins bien pris en considération. Or, dans certaines parcelles agricoles, un échantillonnage inadapté risque d'ôter toute signification pratique au résultat de l'analyse.

Le problème majeur réside en effet dans la représentativité des échantillons. Ainsi, dans le cas de prélèvements de sol, quelques centaines de grammes prélevés représentent parfois plusieurs hectares de terre ayant une masse de plusieurs milliers de tonnes. L'échantillonnage doit donc être effectué avec une rigueur extrême selon des règles et des conventions bien établies.

Dans le cadre de l'analyse de terre, l'échantillonnage proprement dit suppose la prise en compte de différents éléments, à savoir : la configuration et la taille de la parcelle, la nature et la distribution des sols dans celle-ci, les modalités et outils de prélèvement, la détermination du nombre de points de prélèvement, le choix de la période optimale de prélèvement en fonction du problème à étudier, la conservation de l'échantillon jusqu'à l'analyse.



1.1.1. Modalités pratiques de l'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage doit permettre d'obtenir un échantillon représentatif de toute la parcelle, ce qui suppose :

- que le nombre d'échantillons ponctuels (ou carottes) soit suffisant,
- qu'il existe un protocole d'échantillonnage qui veille à ne pas introduire de biais,
- que la parcelle échantillonnée soit plus ou moins uniforme et de taille raisonnable.

Un sol cultivé est un milieu hétérogène dans lequel la teneur en éléments nutritifs peut varier considérablement dans l'espace. Il est, par conséquent, important de prélever un nombre suffisant de carottes de manière à fournir une estimation précise de la valeur moyenne des paramètres dans la zone étudiée. Ainsi, pour des petites parcelles (maximum 3 ha) relativement homogènes, il est nécessaire de prélever au moins 15 à 20 carottes et de bien les mélanger avant de constituer un échantillon composite destiné aux analyses. Même si certains paramètres sont moins variables que d'autres à l'échelle de la parcelle, on admet généralement que le poids de l'échantillon composite doit

être d'au moins 500 g. Dans les champs de plus grande superficie, il est nécessaire de prélever des carottes supplémentaires. On admet cependant que l'augmentation du nombre de carottes ne doit pas être proportionnelle à la taille de la parcelle. Pratiquement, au-delà du seuil de 3 ha, ce nombre devrait rester plus ou moins proportionnel à la racine carrée de la surface (Norme AFNOR x31-100 et Anonyme, 2003). Il peut toutefois varier en fonction des objectifs poursuivis ou de la nature des sols.

La technique la plus simple pour obtenir un échantillon représentatif d'un champ est de le parcourir en zigzag ou selon les diagonales et de prélever des carottes au hasard en s'assurant d'une répartition la plus homogène possible des points de prélèvement sur la parcelle. Cette technique relativement simple d'échantillonnage est en général suffisante pour des zones dont l'hétérogénéité spatiale est peu marquée. Elle possède cependant l'inconvénient de laisser à l'échantillonneur le choix des points de prélèvement, ce qui peut être à l'origine de biais liés à la subjectivité de la démarche.

Normalement, la superficie la plus grande qui puisse être représentée par un seul échantillon composite est largement conditionnée par le degré d'hétérogénéité des sols. Il est donc toujours préférable dans ce cas de diviser la parcelle en suivant, si possible, un découpage pré-existant, un historique d'occupation ou, à défaut, en fonction de la reconnaissance *a priori* de gradients (texture, teneur en eau du sol, différences de rendements). Les zones qui ont anciennement été occupées par des prairies constituent une des principales sources de variation dans les teneurs en éléments nutritifs des sols cultivés. Il en va de même des zones qui auraient été soumises à des pratiques culturales différentes (épandage d'éléments nutritifs ou d'amendements organiques ou minéraux). La stratégie d'échantillonnage et la fixation d'une taille maximale doit donc tenir compte de toutes ces situations particulières, tout en considérant également la topographie ou les différences de texture du sol.



Pour que les échantillons soient représentatifs, ils doivent également être prélevés à la même profondeur de sol que celle qui est normalement travaillée. Dans le cas des analyses portant sur les éléments nutritifs, cette profondeur est de 15 cm pour la prairie et de 25 cm pour les sols labourés, mais elle peut varier en fonction de la culture et du substrat. Elle doit représenter la partie du sol où s'effectue l'absorption la plus intense des éléments nutritifs par les racines. Le prélèvement des échantillons s'effectue de préférence à l'aide d'une tarière tubulaire. Il est également possible d'utiliser une bêche : dans ce cas, il est plus difficile d'obtenir des sous-échantillons de taille uniforme et ayant les mêmes caractéristiques. Les échantillons composites sont constitués à partir du mélange des carottes qui peut être réalisé dans un seau ou un autre contenant propre. Toutes les précautions doivent être prises afin de s'assurer de l'homogénéité du mélange et de l'absence de toute source de contamination extérieure à l'échantillon. Les échantillons doivent être séchés le plus rapidement possible (à l'air ou en ventilation forcée) afin d'en stabiliser les propriétés. L'expédition des échantillons aux laboratoires d'analyse doit, de préférence, être réalisée à l'aide de sacs de plastique accompagnés d'une feuille d'information précisant les conditions d'échantillonnage

et les caractéristiques des parcelles où ceux-ci sont prélevés.

1.1.2. Analyses effectuées par la chaîne Minérale-sols

L'analyse chimique classique concerne uniquement la terre dite "fine", constituée des agrégats de taille inférieure ou égale à 2 mm. Les déterminations les plus fréquemment demandées portent sur l'état de fertilité, c'est-à-dire le pH, le carbone organique total (COT) et les macro-éléments disponibles pour les plantes. D'autres déterminations qui ont pour but d'affiner le diagnostic de fertilité (azote total, oligo-éléments disponibles, capacité d'échange cationique, texture) ou de poser un diagnostic environnemental (nitrates, concentrations en "métaux lourds") sont d'usage moins courant. La masse de leur information au sein de la base de données est, de ce fait, moins importante. Ces éléments ne seront dès lors abordés dans cette synthèse que sous l'angle des perspectives.

Tableau 1

Protocoles en usage dans le réseau REQUASUD, unités et modes d'expression.

Indicateurs	Méthode	Unité/Expression
Statut acido-basique		
pH KCl	KCl 0,1 N; rapport sol (g)/solution (ml) : 2/5	Pas d'unité ; une décimale
Statut organique		
COT	Carbone oxydable selon la méthode Walkley-Black x 1,30 ou carbone organique total par combustion sèche (NF ISO 10694 : 1995)	% C ou g/100g de terre fine sèche (TS) ; une décimale
NT	Azote total par la méthode Kjeldahl modifié (NF ISO 11261:1995)	% N ou g/kg de terre fine sèche (TS) ; une décimale
Statut nutritif		
P, Ca, Mg, K Oligo-éléments	Eléments extractibles à l'acétate d'ammonium-EDTA à pH4,65 (LAKANEN, ERVIO, 1971)	mg P, Ca, Mg, K/100g de terre fine sèche (TS) ou mg Fe, Mn, Cu, Zn/kg de terre fine sèche (TS) ; une décimale
Potentiel de rétention		
CEC	Capacité d'échange cationique à pH 7,0 (NF X31-130 : 1993)	Cmol/kg ou méq/100g ; une décimale
Qualité environnementale		
Métaux lourds	Eléments solubles dans l'eau régale (NF ISO 11466 : 1995)	mg/kg de terre fine sèche (TS)

Les indicateurs qui seront discutés au chapitre 2 traduisent l'état des terres en terme de statut acido-basique, organique et nutritif.

• statut acido-basique

Le pH du sol est une mesure de l'activité des ions d'hydrogène dans la solution du sol. La concentration en protons détermine le caractère acide (pH < 7), neutre ou alcalin (pH > 7) du sol. Le pH joue un rôle important dans la disponibilité des nutriments mais également dans celle des éléments toxiques. Les grandes cultures présentent souvent un optimum de croissance dans la gamme des pH comprise entre 6.0 et 7.0.

Il existe différentes méthodes de

mesure du pH (pH_{eau} , pH_{KCl} , pH_{CaCl_2} , ...) qui font varier la nature de la solution d'échange et le rapport quantitatif sol/solution. La méthode utilisée dans le cadre du réseau REQUASUD figure au tableau 1.

Tableau 2

limites de répétabilité et de reproductibilité des méthodes d'analyses

Analyse	Unité	r	R
pH	sans	0,1	0,3
COT	g/100g TS	0,1	0,2
Ca _{disponible}	mg/100g TS	11,4	31,9
P _{disponible}	mg/100g TS	0,8	4,4
Mg _{disponible}	mg/100g TS	0,6	2,0
K _{disponible}	mg/100g TS	1,2	2,8
Cu _{disponible}	mg/kg TS	0,3	0,8

• statut organique

La matière organique est un indicateur de la qualité des sols. Composée d'un mélange variable d'éléments diversement décomposés et diversement réactifs, elle en est un constituant essentiel. La matière organique contribue, entre autres, à la nutrition minérale des plantes, à la structuration de l'environnement racinaire et la stabilisation des agrégats, à la capacité d'échange et de rétention des éléments, au pouvoir tampon des sols par rapport à une acidification, ...

Le carbone organique total (COT), calculé à partir de la teneur en carbone oxydable, est un paramètre plus souvent mesuré que la quantité de matière organique (MO), car plus facile à mettre en oeuvre dans un laboratoire. On considère généralement que la matière organique dans les sols agricoles contient en moyenne 50% de carbone et la conversion COT - MO est aisée. Toutefois, ce taux de conversion de 2 n'est pas unanimement admis et d'autres facteurs sont parfois utilisés. Pour éviter des confusions imputables à l'usage d'un facteur arbitraire, il est dès lors préférable de commenter et interpréter les résultats exprimés en COT.

L'azote total (NT) dans le sol est essentiellement sous forme organique, ce qui explique que l'on en fasse un indicateur du statut organique des terres. Outre les aspects quantitatifs purs, l'azote intervient dans l'état qualitatif de la matière organique au travers du rapport C/N. Les méthodes en usage dans le réseau REQUASUD pour COT et NT figurent au tableau 1.

• statut nutritif

La fertilité chimique du sol comprend, outre COT et NT, les nitrates et les éléments nutritifs qui sont en solution ou retenus sur le complexe d'échange du sol. Parmi ces éléments, P et K sont des éléments majeurs ou macro-éléments, Ca et Mg, des éléments nutritifs secondaires,



Cu, Zn et Mn des éléments mineurs ou oligo-éléments. Dans les sols agricoles, Ca est l'élément dominant sur le complexe d'échange. Les autres cations principaux, qui forment ce que l'on appelle communément les bases échangeables sont Mg, K et Na. La fertilité s'apprécie en terme de quantité de ces éléments mais également en fonction de leurs proportions relatives. Un niveau très élevé d'un des cations peut en effet réduire la disponibilité d'un autre pour les plantes.

L'extraction et la détermination de la fraction assimilable par la plante d'un élément nutritif s'effectue par l'action de solutions réactives qui tentent de reproduire celle des racines. De nombreux protocoles existent plus ou moins adaptés à l'élément à mesurer et au type de plante étudié. La chaîne Minérale-sols de **REQUASUD** a pris l'option d'un extractif unique (tableau 1), ce qui facilite les comparaisons.

Selon le paramètre étudié, de nombreux protocoles peuvent donc exister dans la littérature. Les laboratoires du

réseau **REQUASUD** présentent toutefois un ensemble de méthodes harmonisées, réduisant par là cette source de biais.

Tout résultat d'analyse est entaché d'une variabilité que l'on peut attribuer à l'erreur de mesure (justesse et fidélité) et à l'hétérogénéité interne de l'échantillon. La répétabilité et la reproductibilité traduisent l'incertitude associée aux résultats produits par un ou plusieurs laboratoires. Les ordres de grandeur de ces paramètres de fidélité ont été déterminés à partir des résultats des essais interlaboratoires (EIL) réalisés au sein du réseau **REQUASUD** depuis 2000.

Les limites de répétabilité et de reproductibilité calculées en terme d'amplitude figurent au tableau 2. En pratique, elles correspondent aux différences maximales admissibles entre les résultats obtenus pour un même échantillon par un laboratoire (r) ou par plusieurs laboratoires différents (R). Ces seuils correspondent aux percentiles 95 des différences observées lors des EIL, c'est-à-dire que 95% des différences observées leur sont inférieures.

.....
*En résumé, l'analyse de terre, telle que la pratiquent les laboratoires du réseau **REQUASUD**, concerne une parcelle ou une partie de parcelle, porte sur la couche arable (0 - 25 cm) en terres cultivées (cultures en rotation, potager) ou sur l'horizon de surface (0 - 15 cm) en prairie permanente. L'échantillon est de type composite car constitué du regroupement de nombreux prélèvements individuels réalisés sur la surface de la parcelle de façon à couvrir sa variabilité spatiale. L'analyse de terre la plus courante comporte différentes déterminations (pH_{KCl} , carbone organique total, éléments*



échangeables et phosphore "disponible") réalisées, le plus souvent, dans l'objectif d'établir un conseil de fumure. Dans certains cas, le menu d'analyse intègre également des déterminations portant sur les caractéristiques physiques (texture), synthétiques (capacité d'échange cationique) ou sur des propriétés plus particulières (teneurs en oligo-éléments, ...).

1.2. Contrôle et validation des données

La base de données de la chaîne Minérale-sols du réseau **REQUASUD** rassemble les résultats d'analyses fournis par les laboratoires depuis 1994 et comporte, à l'heure actuelle, un volume de données correspondant à plus de 192.000 échantillons récoltés en région wallonne. Des informations relatives à la période 1988-1993 sont également disponibles mais ne sont pas intégrées à cette analyse.

Sachant que ces données peuvent représenter une grande diversité de situations ou de conditions de prélèvement, l'exploitation de ces informations dans le cadre de synthèses régionales suppose la mise en place de règles strictes pour garantir l'homogénéité des résultats (même méthode d'analyse, mêmes unités, même façon de décrire les échantillons). Dans le réseau, cette homogénéité peut être garantie par le fait que tous les laboratoires

Tableau 3

Répartition des échantillons par région agricole et par type d'occupation, pour la période 1994-2002.

Région agricole ⁽¹⁾	Région sablo-limoneuse	Région limoneuse	Campine hennuyère	Condroz	Région herbagère (Liège)	Région herbagère (Fagne)	Famenne
Cultures en rotation	10 093	50 505	747	26 689	3 568	438	2 897
Prairies permanentes	1 797	5 032	168	7 529	13 631	365	2 701
Prairies temporaires	368	309	0	652	214	19	400
Potagers	817	2 623	119	1 208	208	22	247
Pelouses	942	670	47	119	35	1	13
Forêts	4	4	0	2	36	0	23
Arboriculture	996	951	31	216	21	2	4
Autres	698	1 513	12	142	428	3	6
Toutes occupations	15 715	61 607	1 124	36 557	18 141	850	6 291
% ⁽²⁾	9.3	36.6	0.7	21.7	10.8	0.5	3.7
SAU (ha) ⁽³⁾	265 105	328 806	1 245	134 233	57 532	15 221	62 067
Intensité d'échantillonnage ⁽⁴⁾	5.7	18.7	90.3	27.2	31.5	5.6	10.1

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

⁽²⁾ % : pourcentage par rapport au nombre total de déterminations

⁽³⁾ SAU : surface agricole utile de l'année de référence (Source Institut National de statistique, 1996)

⁽⁴⁾ Intensité d'échantillonnage : nombre d'échantillons analysés par 100 ha de SAU

travaillent selon des méthodes standardisées. Les résultats sont donc générés par les mêmes procédures d'analyse et ils sont exprimés de la même façon (mêmes unités). La reproductibilité des résultats des analyses est également évaluée dans le réseau via l'organisation périodique d'essais interlaboratoires. La collecte des données repose aussi sur une harmonisation des standards utilisés pour le transfert et la description des caractéristiques des échantillons.

Malgré ces précautions, la collecte d'un volume aussi important de données soulève le problème de la présence inévitable de valeurs aberrantes résultant

d'erreurs au niveau de l'identification des échantillons, de l'analyse proprement dite, de la retranscription ou encore du transfert des données. Chaque résultat qui parvient à la base de données est, par conséquent, soumis à une procédure rigoureuse de validation avant d'y être intégré. L'acceptation des résultats d'une analyse repose sur la confrontation des valeurs des paramètres analytiques à des limites de conformité et à la vérification de la cohérence des éléments du signalétique.

Cette procédure peut être résumée comme suit :

- La fiche de renseignements (signalétique) qui est associée à chaque échantillon permet de réaliser une stratification de la base de données en fonction de l'origine géographique, de l'occupation du sol ou du type de culture.

- Pour chaque échantillon, les différentes valeurs analytiques sont comparées aux distributions des différentes populations résultant de la stratification des résultats déjà présents dans la base ; il y sera accepté s'il est "statistiquement" conforme à cette population. Cette étape vise à écarter les valeurs aberrantes, mais est assez souple pour conserver des valeurs extrêmes qui peuvent se présenter dans la pratique et dont l'élimination pourrait tronquer la distribution de la population et compromettre une interprétation correcte des paramètres statistiques (biais) qui peuvent être calculés à partir de celle-ci.

- Pratiquement, les limites de conformité ou de rejet sont calculées pour correspondre à des seuils de probabilité de 1/1000 et de 1/10000.

- Les limites sont recalculées périodiquement en fonction de l'enrichissement de la base de données par l'intégration de nouveaux échantillons.

Ardenne	Région jurassique	Haute Ardenne	Toutes régions	% (2)
3 159	2 200	187	100 483	59.7
9 958	1 846	3 166	46 193	27.4
4 184	856	108	7 110	4.2
1 159	428	139	6 970	4.1
281	23	7	2 138	1.3
65	9	63	206	0.1
87	3	28	2 339	1.4
25	12	14	2 853	1.7
18 918	5 377	3 712	168 292	100.0
11.2	3.2	2.2	100.0	
106 041	31 180	26 274	1 027 704	
17.8	17.2	14.1	16.4	

Il faut signaler ici que le nombre d'échantillons validés ne coïncide pas forcément avec le nombre d'observations disponibles pour chaque élément analysé puisque les analyses ne portent pas systématiquement sur les mêmes éléments.

Cette stratification des résultats en fonction des régions agricoles peut cependant, dans certaines circonstances, se révéler imprécise en raison du mode de référencement spatiale (code postal) des échantillons. Par exemple, lorsque des échantillons de terre proviennent d'une commune dont le territoire s'étale sur plusieurs régions agricoles, à défaut d'autres informations, les résultats des analyses

sont affectés à la région agricole dominante. Ainsi un échantillon prélevé dans une région agricole peut très bien être finalement attribué à une autre. Compte tenu du volume important d'informations disponibles, on peut cependant considérer que ces erreurs d'affectation n'ont qu'une influence réduite sur l'expression finale des résultats.

Le tableau 3 permet de constater plusieurs points :

- Globalement, toutes régions et toutes années confondues, la majorité des échantillons concernent les grandes cultures (59,7%) et les prairies permanentes (27,4 %). Les autres occupations du sol (prairies temporaires, jardins potagers, forêts, horticulture, ...) ne représentent qu'une part moins importante de l'ensemble des résultats.

- Toutes occupations confondues, les régions agricoles qui fournissent le plus d'échantillons sont, dans l'ordre décroissant : la Région limoneuse (36,6 %), le Condroz (21,7 %), l'Ardenne (11,2 %), la Région herbagère liégeoise (10,8 %), la Région sablo-limoneuse (9,3 %). Les autres régions fournissent chacune moins de 4 % des résultats. Il s'agit d'un reflet à la fois de la vocation agricole et de la superficie des différentes régions.

- L'intensité d'échantillonnage, c'est-à-dire le nombre d'échantillons analysés rapporté à la surface agricole utile (SAU) pour chaque région agricole, est un indice utile pour évaluer le niveau de représentativité spatiale de l'information mais également pour déterminer les régions pour lesquelles il y aurait lieu d'intensifier la politique d'échantillonnage. La valeur de la SAU observée en début de période (1996) a été prise comme valeur de référence.

L'interprétation de cette intensité d'échantillonnage doit cependant s'effectuer avec prudence, car il est possible que plusieurs échantillons concernant une même parcelle soient prélevés lors d'années culturales différentes. Quoiqu'il en soit, si l'on considère l'intensité moyenne calculée pour l'ensemble de la région wallonne, on constate que celle-ci atteint la valeur de 16 prélèvements par 100 ha et par an. L'examen du tableau 3 indique que les régions échantillonnées le plus intensément sont : la Campine hennuyère, la Région herbagère liégeoise et le Condroz. La Région sablo-limoneuse, la Famenne et la Région herbagère de la Fagne présentent les taux d'analyses rapportés aux superficies agricoles les plus faibles.

1.3. Stratification et traitement des données

Comme nous l'avons signalé précédemment, la base de données peut être stratifiée en fonction de différents critères des éléments du signalétique qui correspondent à des analyses ou à des modes de représentation particuliers : analyses spatiales (régions agricoles, limites administratives), analyses en fonction des caractéristiques des parcelles (occupation du sol, précédent cultural), analyses temporelles (années, périodes) ou combinaisons de ces différents types.

Une première illustration des stratifications possibles est présentée au tableau 3. Les échantillons pour lesquels les informations ont été validées ont été répartis par région agricole et par type d'occupation pour la période 1994-2002.

1.4. Spatialisation des données

A l'origine, lors du prélèvement, les échantillons sont référencés géographiquement par le code postal des localités des communes fusionnées. Les analyses référencées sous le même code postal sont regroupées ; différents paramètres statistiques sont alors calculés (effectif, moyenne, médiane, écart-type, percentiles, ...) pour la population des résultats associée à chaque code postal.

Au départ de ces résultats, différents documents, dont des cartes, peuvent être générés avec les limites communales voire des limites administratives plus larges (Province, Arrondissement, Région, ...) comme fond. L'utilisation des données statistiques calculées pour ce type de division administrative ne permet cependant pas d'effectuer une analyse spatiale fine. Ce mode d'expression des résultats ne tient pas compte, par exemple, de la diversité des sols au sein d'une commune ni de l'information qui peut être récupérée en associant, en fonction de leur proximité, des communes ayant des types de sols identiques. La ré-allocation de cette information à des unités géographiques plus pertinentes pour faciliter leur combinaison avec d'autres variables liées à l'environnement comme le réseau hydrographique, la météorologie ou la topographie est une étape indispensable pour l'exploitation de ce gisement de données.

Dans le cas de la base de données **REQUASUD**, une localisation plus précise des données statistiques à l'intérieur des unités administratives peut être obtenue en utilisant des informations issues des cartes des sols ou d'occupation du sol. L'échelle et le nombre d'unités de la carte des sols utilisée doivent être adaptés au niveau de précision qui peut être attendu en fonction de la nature des données de base. La Carte des Associations de Sols de la Belgique à l'échelle du 1/500.000

de R. MARÉCHAL et R. TAVERNIER (1971) constitue dans ce cas un compromis acceptable. L'opération de désagrégation consiste en réalité à transférer des données d'une unité géographique source (commune) vers une unité cible (association de sols), sachant que les unités cibles sont des subdivisions des unités sources. La méthode utilisée pour la construction des cartes de cette plaquette est réalisée en plusieurs étapes (figure 1) :

- Croisement de la carte des associations de sols avec la carte des régions agricoles afin de définir des unités cartographiques correspondant à des associations pédologiques régionales (APR) dont les caractéristiques sont plus homogènes et mieux adaptées aux spécificités des différentes régions.
- Croisement des APR avec les limites des communes afin de créer des unités intermédiaires auxquelles seront rattachées les statistiques calculées à partir de la base de données.
- Croisement de ces unités intermédiaires avec le parcellaire du SIGEC afin de déterminer la surface de chaque type d'occupations de sol les plus représen-

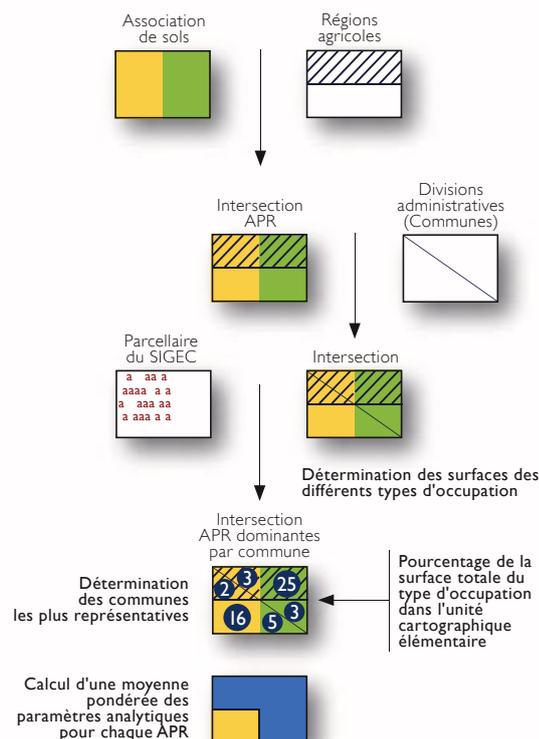
tatives de la base de données (cultures en rotation et prairies permanentes).

- Détermination des communes les plus représentatives de l'APR et de l'occupation de sol (pourcentages de la surface totale les plus élevés).
- Calcul d'une moyenne pondérée (nombre d'analyses, surface) des paramètres analytiques moyens suivi de l'agrégation des données dans les unités cibles (APR) et production des différentes cartes thématiques.

En raison du niveau d'échelle de la carte d'associations de sols (1:500.000) et du contenu sémantique des unités cartographiques, regroupements géographiques de sols qui présentent des caractères communs mais également des différences parfois importantes, les cartes n'ont pas pour vocation de prédire des teneurs pour une parcelle agricole donnée mais plutôt de fournir des ordres de grandeur probables à l'échelle de petites régions naturelles ou de terroirs.

Figure 1

Procédure de désagrégation spatiale des données communales aux associations pédologiques régionales.



2. Exploitation de la base de données sols de **REQUASUD** pour l'évaluation de l'état de fertilité des terres en région wallonne

2.1. Introduction

Afin de réaliser un constat de l'état de fertilité des terres en région wallonne, nous nous appuyons sur les résultats de différentes déterminations, à savoir le pH_{KCl} , la teneur en carbone organique total, la teneur en phosphore disponible, les teneurs en potassium, en calcium, en magnésium et en cuivre extraits à l'acétate d'ammonium-EDTA à pH 4,65.

Les résultats d'autres déterminations telles que l'analyse granulométrique ou la capacité d'échange cationique n'ont pas été exploités ici vu le nombre réduit

de données dont nous disposons pour la période concernée (1998-2002).

Dans la suite de ce document, l'évaluation de la fertilité des terres concerne les deux occupations du sol les mieux représentées (tableau 3) c'est-à-dire les grandes cultures et les prairies permanentes.

2.2. L'état de fertilité

2.2.1. Le statut acido-basique

Le pH, indicateur du caractère acide ou basique, constitue une caractéristique importante du sol qu'il convient de déterminer avant toute autre. En effet, il est une expression synthétique des conditions physico-chimiques qui président en partie à la structuration du sol (porosité pour l'eau, pour l'air), à l'activité microbienne (humification et minéralisation de la matière organique) et à la disponibilité

Carte 1

Valeur moyenne du pH_{KCl} des terres de culture en région wallonne – période 1998-2002

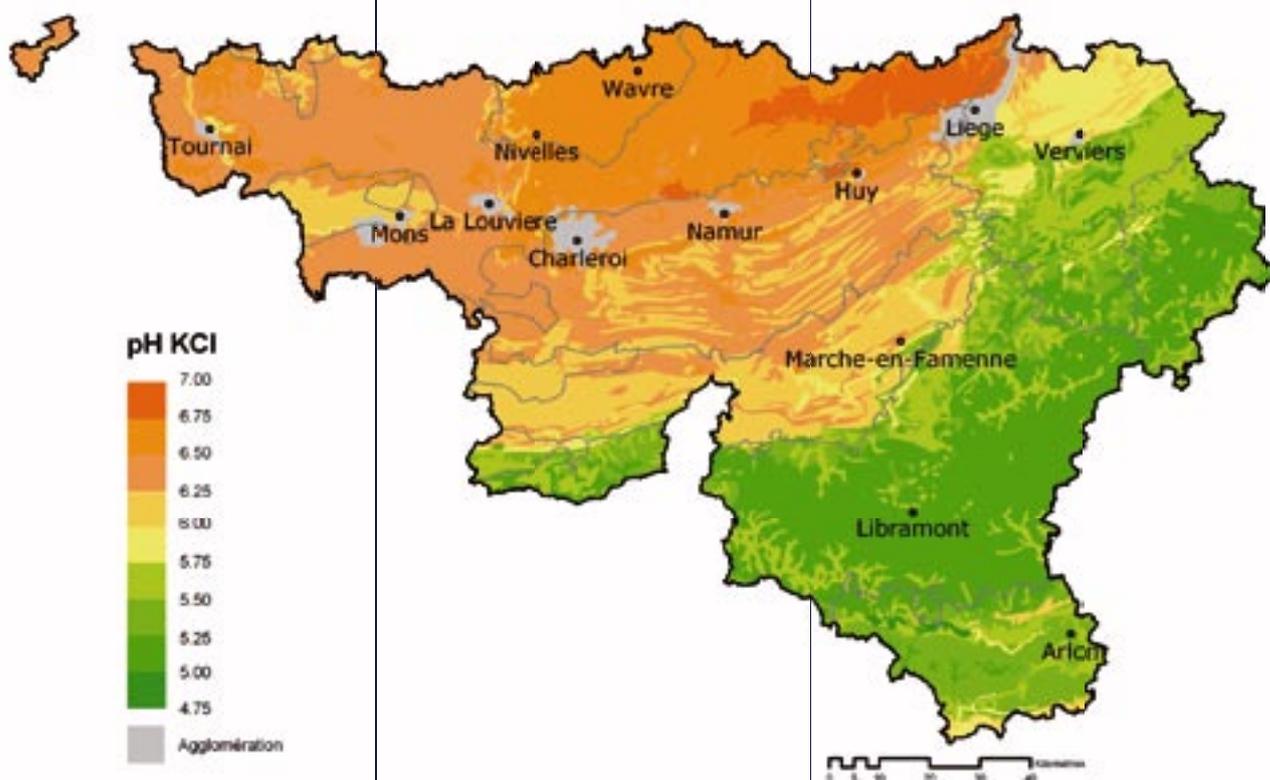


Tableau 4

pH_{KCl} des terres de culture pour les différentes régions agricoles wallonnes;
paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population; période 1998-2002

Région agricole	Effectif	P5*	P10	P25	P50	P75	P90	P95	Moyenne	Ecart-type
Rég. sablo-limoneuse	6172	5,6	5,8	6,2	6,5	6,9	7,1	7,3	6,5	0,5
Rég. limoneuse	32205	5,7	6,0	6,3	6,6	6,9	7,2	7,3	6,6	0,5
Campine hennuyère	378	5,5	5,7	5,9	6,1	6,3	6,6	6,7	6,1	0,4
Condroz	15020	5,6	5,8	6,2	6,5	6,8	7,1	7,2	6,5	0,5
Rég. herbagère (Liège)	2338	5,2	5,4	5,7	6,1	6,5	6,8	7,0	6,1	0,5
Rég. herbagère (Fagne)	264	5,4	5,6	5,9	6,3	6,5	6,8	6,9	6,2	0,5
Famenne	1723	5,0	5,3	5,7	6,1	6,5	6,8	6,9	6,1	0,6
Ardenne	1749	4,5	4,7	4,9	5,2	5,6	6,0	6,3	5,3	0,5
Haute Ardenne	102	4,8	4,8	5,0	5,3	5,5	5,7	5,8	5,3	0,3
Rég. jurassique	1493	4,4	4,6	5,0	5,6	6,3	6,6	6,8	5,6	0,8
Toutes régions	61444	5,3	5,7	6,1	6,5	6,8	7,1	7,2	6,4	0,6

Source : base de données sols de REQUASUD
* P5 = seuil pour lequel 5% des teneurs mesurées sont inférieures et 95 % sont plus élevées.

Tableau 5

pH_{KCl} des prairies permanentes pour les différentes régions agricoles wallonnes;
paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population; période 1998-2002

Région agricole	Effectif	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	Moyenne	Ecart-type
Rég. sablo-limoneuse	989	4,9	5,1	5,4	5,7	6,1	6,4	6,7	5,7	0,6
Rég. limoneuse	2964	5,1	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,7	5,9	0,5
Campine hennuyère	72	4,7	5,1	5,5	5,8	6,3	6,5	6,6	5,8	0,6
Condroz	4229	5,0	5,2	5,4	5,7	5,9	6,2	6,4	5,7	0,4
Rég. herbagère (Liège)	8560	4,9	5,0	5,3	5,5	5,8	6,0	6,2	5,5	0,4
Rég. herbagère (Fagne)	216	5,0	5,1	5,3	5,6	5,8	6,0	6,1	5,6	0,4
Famenne	1757	4,8	5,0	5,2	5,5	5,8	6,1	6,3	5,5	0,5
Ardenne	5964	4,6	4,7	5,0	5,2	5,5	5,7	5,9	5,2	0,4
Haute Ardenne	1769	4,7	4,8	5,0	5,2	5,5	5,7	5,7	5,2	0,3
Rég. jurassique	1266	4,5	4,6	4,8	5,1	5,6	6,0	6,3	5,2	0,5
Toutes régions	27786	4,7	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	6,3	5,5	0,5

Source : base de données sols de REQUASUD

des éléments majeurs ou des éléments en traces. La valeur agricole optimale du pH est dépendante à la fois de l'espèce végétale et des caractéristiques du sol (texture,...).

Pour rappel, la valeur minimum souhaitée du pH_{KCl} en terre de culture (si le sol est limoneux) est de 6,5. Lorsque le pH_{KCl} est égal ou supérieur à 7,0, des problèmes de disponibilité en certains éléments peuvent se poser et les pH_{KCl} inférieurs à 6,0 indiquent un milieu relativement désaturé, peu propice aux productions intensives.

Le chaulage a pour objet le maintien du pH proche de l'optimum. La quantité

- les plantes prairiales couvrent le sol en permanence et ont une activité racinaire durant la majeure partie de l'année, elles libèrent donc des acides organiques durant de longues périodes et sont en partie responsables d'une plus grande acidité du milieu (par rapport à une terre cultivée dans une même région et sur un même type de sol);

- les plantes prairiales sont majoritairement des graminées pour lesquelles le pH optimum du sol peut être plus faible que celui des plantes de grande culture (pH_{KCl} de 5,5 à 6,0).

Les tableaux 4 et 5 présentent les paramètres statistiques descriptifs de la population des pH_{KCl} des terres respectivement sous cultures et sous prairie

- Toutes régions confondues, on constate que 50 % des pH se trouvent sous la valeur de 6,5. Ce chiffre doit toutefois être relativisé en raison de la répartition inégale des observations par région agricole. En effet, si l'on tient compte du fait que la région limoneuse et le Condroz représentent les $\frac{3}{4}$ des mesures, les surfaces à pH inférieur à 6,5 sont largement majoritaires à l'échelle de la Région wallonne. Les pH les plus élevés se rencontrent où le chaulage a été pratiqué le plus intensivement notamment pour la culture de la betterave sucrière.

- Les valeurs médianes et moyennes observées dans les différentes régions décroissent du nord vers le sud et d'ouest en est. Une exception importante cependant



d'amendement à apporter au sol doit idéalement être évaluée en fonction de la masse de sol, de l'augmentation souhaitée de pH et du pouvoir tampon du sol. En pratique, le besoin en chaux peut être estimé par mesure du pH après addition de différents volumes de chaux (simulation du chaulage) ou par calcul à partir du pH et des teneurs en argile et en matière organique.

Les terres sous prairie permanente présentent certaines particularités par rapport aux terres de culture:

- vu leurs teneurs en matière organique plus élevées et donc un pouvoir tampon généralement plus important, le pH réagit plus lentement face à des apports modérés de chaux;

permanente dans les différentes régions agricoles wallonnes. Les cartes 1 et 2 présentent les valeurs moyennes par unité d'association pédologique régionale.

Commentaires

Les terres de cultures (tableau 4 et carte 1) :

- La Haute Ardenne se caractérise par un effectif très réduit; l'interprétation des chiffres est dans ce cas très délicate et n'a qu'une valeur indicative. On notera toutefois que cette valeur est égale à celle de l'Ardenne.

face à cette tendance générale, la Région jurassique où le pH moyen est plus élevé qu'en Ardenne (carte 1).

- L'écart-type qui mesure la variabilité des populations est relativement constant. La Région jurassique fait de nouveau exception, la variabilité de sa population est en effet supérieure à la variabilité générale, en raison de sols présentant des caractéristiques très différentes.

Dans certaines régions agricoles, les pH sont différents d'une association de sols à une autre: par exemple, en Région herbagère liégeoise où les sols du Nord (Pays de Herve) sont moins acides que les sols du Sud (sols "ardennais"), en

Famenne et en Condroz où les sols limoneux à charge calcaireuse se caractérisent par des pH légèrement plus élevés que les autres sols de cette région, en Région jurassique où les sols développés sur calcaire bajocien sont moins acides que les autres sols et en Région limoneuse où il existe un gradient de pH croissant d'ouest en est.

Dans certaines situations, la nature du substrat ou de la charge caillouteuse exerce une action particulièrement déterminante sur le pH du sol et explique en partie les variations constatées.

Les sols sous prairie permanente (tableau 5 et carte 2) :

- En Campine hennuyère et en Région herbagère (Fagne), l'effectif est trop limité pour permettre une interprétation objective des chiffres.
- D'une manière générale, la photographie de la situation des terres de prai-

ries est semblable à celle des terres de cultures à une unité de pH près. Toutes régions confondues, 50% des résultats sont inférieurs à la valeur seuil de 5,5.

- Dans certaines régions, la proportion des sols trop acides peut atteindre plus de 50%, voire 75 % (Ardenne, Région jurassique, Haute Ardenne). Ce qui ne veut pas dire qu'il n'y a pas de sols à pH trop élevés dans ces régions.

- La variabilité des résultats au sein des différentes régions agricoles est globalement assez semblable à celle des terres de culture (carte 2), à l'exception de la région sablo-limoneuse. La prise en compte de paramètres explicatifs complémentaires aux régions agricoles semble donc nécessaire pour une meilleure interprétation des résultats, car les valeurs de pH des terres sous prairie permanente ne sont pas distribuées au hasard, leur répartition est dépendante des zones agro-écologiques.

2.2.2. Le statut organique

Les matières organiques, qui sont constituées d'une multitude de composés diversement stables, jouent un rôle important dans le fonctionnement des sols. Elles conditionnent les propriétés physiques du sol en favorisant la création d'un milieu structuré dont les pores permettent une meilleure circulation de l'air et de l'eau. Elles stabilisent cette structure et favorisent la rétention de l'eau sur les surfaces colloïdales. Leur minéralisation s'accompagne d'une acidification qui permet l'altération des minéraux du sol. Ces deux processus augmentent la libération d'éléments nutritifs pour les plantes.

Carte 2

Valeur moyenne du pH_{KCl} des terres sous prairie permanente en région wallonne – période 1998-2002

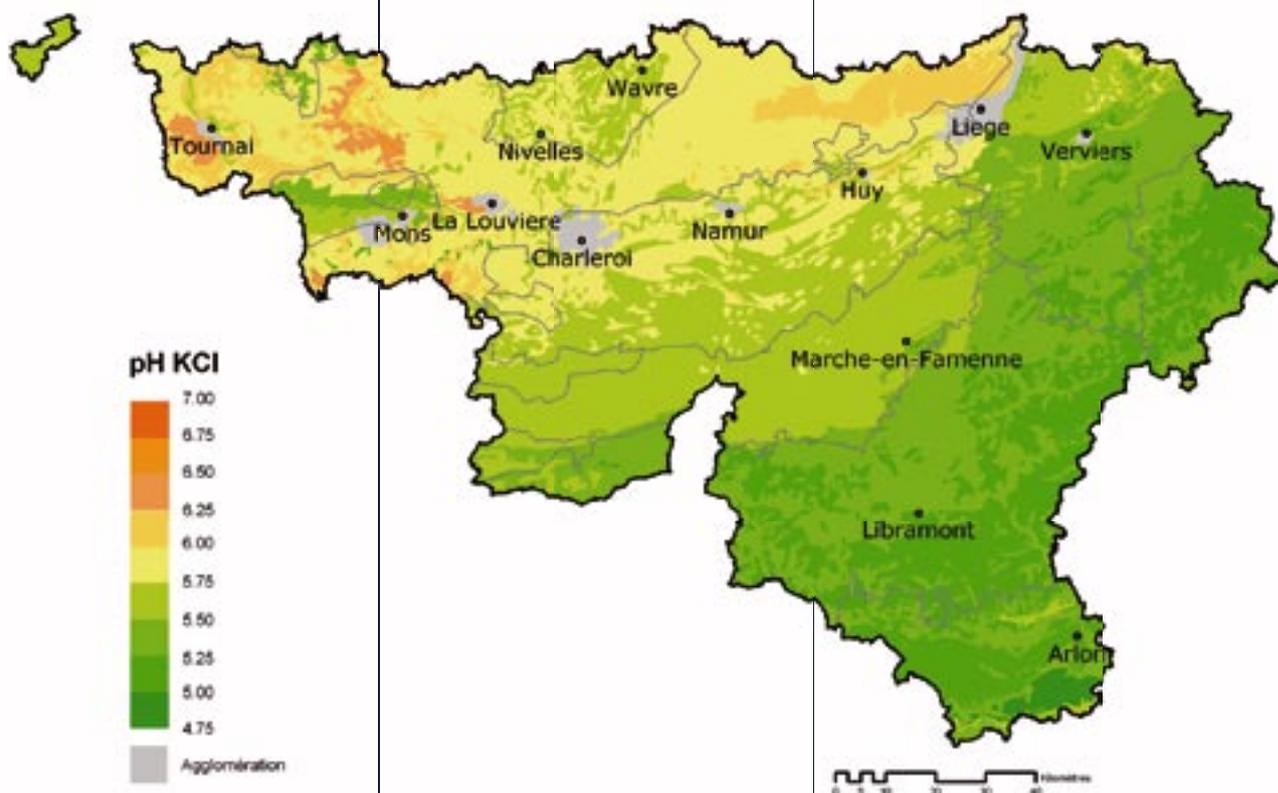


Tableau 6

Teneurs en carbone organique total (% COT) des terres de culture pour les différentes régions agricoles wallonnes; paramètres descriptifs de la distribution de la population, période 1998-2002.

Région agricole	Effectif	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	Moyenne	Ecart-type
Rég. sablo-limoneuse	6172	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,6	1,9	1,3	0,4
Rég. limoneuse	32210	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	1,3	0,4
Campine hennuyère	378	0,8	0,8	0,9	1,1	1,2	1,5	1,8	1,1	0,4
Condroz	15034	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3	1,5	0,4
Rég. herbagère (Liège)	2338	1,2	1,2	1,5	2,0	2,8	3,5	3,9	2,2	0,9
Rég. herbagère (Fagne)	264	1,2	1,3	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8	1,8	0,6
Famenne	1729	1,2	1,3	1,5	1,9	2,4	3,0	3,3	2,0	0,7
Ardenne	1750	1,7	2,1	2,7	3,1	3,6	4,0	4,3	3,1	0,8
Haute Ardenne	102	2,1	2,6	3,0	3,5	4,2	4,9	5,5	3,6	1,0
Rég. jurassique	1496	1,0	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7	3,3	1,8	0,7
Toutes régions	61473	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	2,1	2,8	1,5	0,6

Source : base de données sols de REQUASUD

Les colloïdes organiques améliorent la capacité d'échange cationique, donc de rétention des éléments nutritifs mais également de certains éléments "polluants", et le pouvoir tampon des sols, c'est-à-dire leur capacité à résister à une acidification. La matière organique est essentielle tant au niveau du maintien de la production agricole dans les parcelles cultivées que de la conservation de la qualité du milieu. Un état des lieux à l'échelle des régions agricoles est également un outil intéressant pour juger des besoins des sols en matière organique et pour adopter ainsi une politique cohérente à cette échelle en matière de gestion des effluents d'élevage ou d'autres matières organiques.

Dans les analyses qui servent de base aux conseils en matière de fertilité, l'évaluation des stocks en matières organiques prend généralement la forme d'une mesure du carbone organique total. Or, pour établir un conseil de fertilisation à la

parcelle agricole qui ne prenne en compte que les matières organiques directement "utiles", c'est-à-dire susceptibles de fournir des éléments nutritifs, l'information devrait correspondre à l'appréciation du stock d'humus et de matière organique libre, c'est-à-dire la matière organique morte et non liée aux particules minérales. Sous prairies permanentes, l'abondance du système racinaire fait qu'il est impossible de prélever un échantillon de terre sans prélever une partie des racines vivantes. Cela conduit généralement à une surestimation du taux des matières organiques. Pour cette raison, seule la situation des terres sous culture sera présentée ci-après.

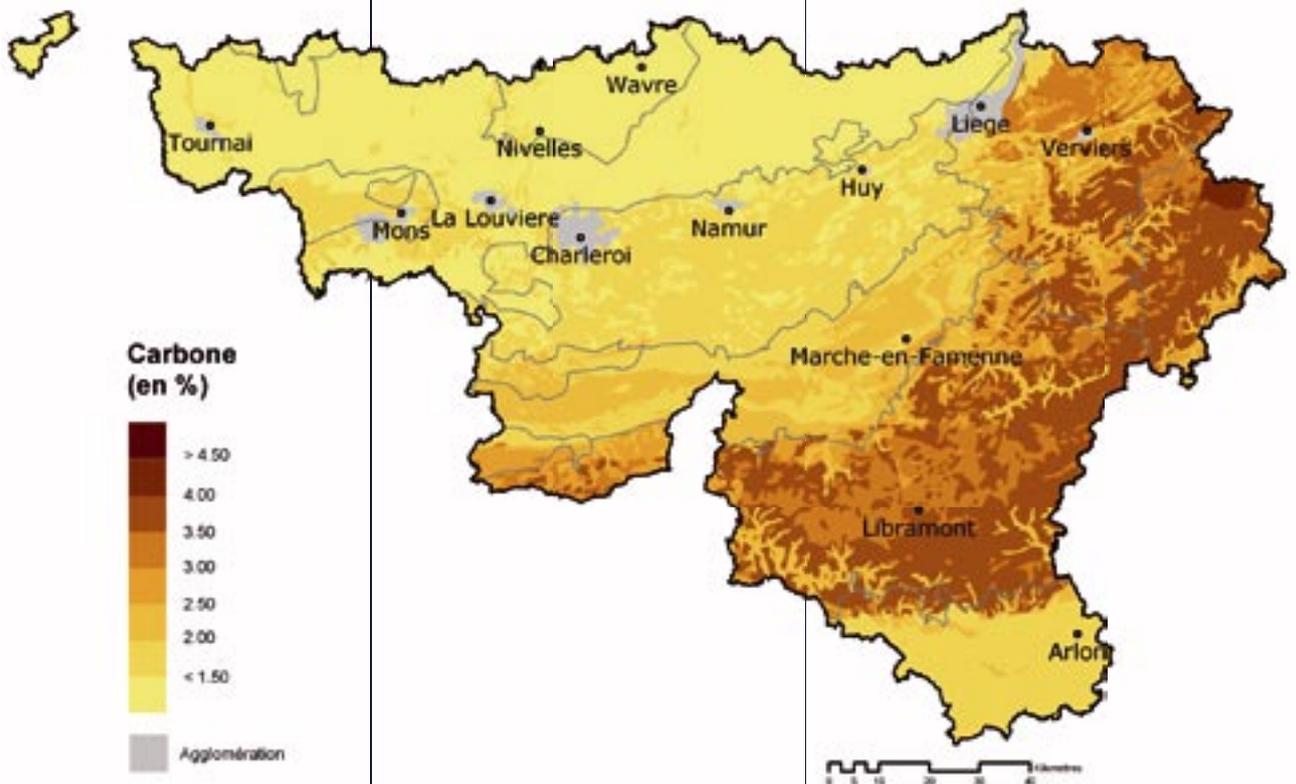
Les paramètres statistiques descriptifs des teneurs en carbone des terres sous culture dans les différentes régions agricoles sont présentés au tableau 6 et à la carte 3.

Commentaires

Comme on peut le constater au tableau 6 et sur la carte 3, le statut organique des terres présente une distribution et une variabilité à l'échelle de la région wallonne qui ne sont pas dues au hasard mais associées à des zones agro-écologiques. Ainsi, concernant les valeurs médianes et moyennes, nous pouvons observer globalement 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 teneurs moyennes sont inférieures à celles observées en Ardenne.

Carte 3

Teneur moyenne en carbone organique total des terres de culture en région wallonne – période 1998-2002



Cette tendance générale est également illustrée à la figure 2 qui reprend la teneur moyenne en carbone organique total pour chaque région agricole observée en région wallonne, ainsi que les écarts-types. L'analogie avec le relief général de la Région wallonne est perceptible et permet de supposer l'existence d'un lien entre les teneurs en carbone des sols cultivés et le climat. Un climat froid et humide est *a priori* moins favorable à une décomposition rapide de la matière organique. Dans l'explication, il ne faut toutefois pas laisser de côté l'intensification des productions agricoles qui est également intimement lié aux spécificités du cadre physique (géologie, relief, climat, ...) de chaque région.

En ce qui concerne la variabilité des résultats entre régions agricoles et au sein même des régions, voire au sein des

associations de sols, elle peut trouver son origine :

- dans la diversité des pratiques culturales (historique, profondeur de labour, apports ou non de MO, restitution des résidus de récoltes,...) d'une région agricole, d'une exploitation, voire d'une parcelle à l'autre;
- 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 qui sont cultivées depuis longtemps, des parcelles avec un passé culturel de prairies et des parcelles récemment retournées; les teneurs en carbone de la couche arable sont donc de ce fait sensiblement différentes d'une parcelle à l'autre.

2.2.3. Le statut nutritif

a/ Le phosphore disponible

Le phosphore est un élément d'une importance fondamentale dans la nutrition des plantes. Il exerce par conséquent une influence significative sur les récoltes tant sur le plan quantitatif que qualitatif (conservation,...). Le phosphore existe dans les sols sous différentes formes qui sont plus ou moins fortement fixées par les constituants minéraux et organiques. Le phosphore " disponible " ou " assimilable " par la plante est constitué principalement des ions HPO_4^{2-} et H_2PO_4^- de la solution du sol ou des formes faiblement liées au complexe d'échange.

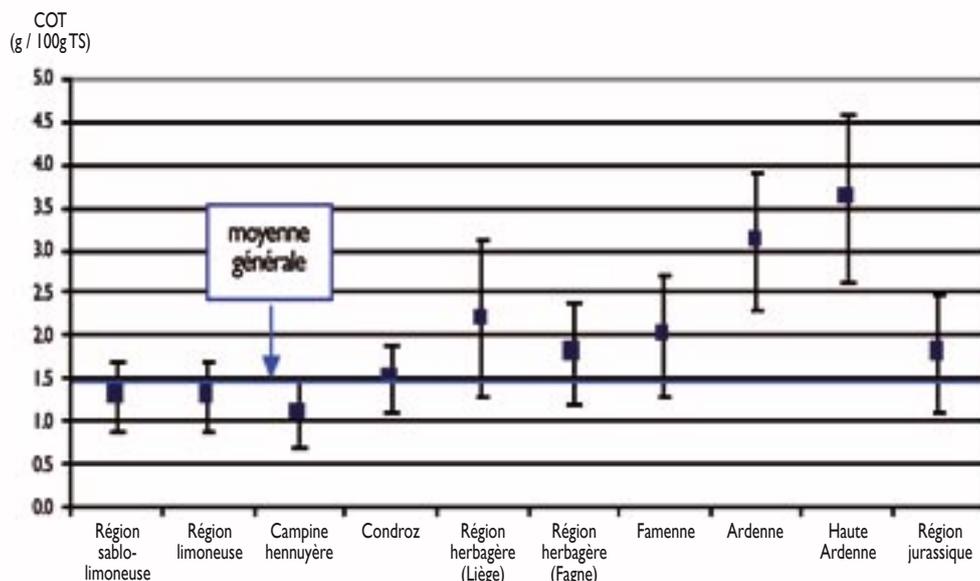


Figure 2
Teneurs moyennes en COT des sols de culture par région agricole (les barres correspondent aux écart-types de la population).



Commentaires

Les terres de cultures

La détermination de la teneur en phosphore du sol par les laboratoires membres de **REQUASUD**, basée sur une extraction par l'acétate ammonique et l'EDTA en milieu acide, permet d'évaluer la teneur en phosphore facilement accessible aux plantes.

Une vue de l'état des terres en phosphore disponible à l'échelle régionale est présentée dans les tableaux 8 et 9 ainsi que sur les cartes 4 et 5 pour les surfaces sous cultures et sous prairies.

La valeur minimum souhaitable étant de 5 mg P/100 g TS, l'analyse du tableau 7 montre que, toutes régions confondues, la proportion d'échantillons sous le seuil limite est proche de 25 %. Par rapport à la période 1994-1997, on observe à peu près le même niveau de teneurs moyennes et médianes. Par contre, il apparaît une diminution du nombre de situations à teneurs trop faibles.

Comme en 1997, un gradient décroissant apparaît du nord vers le sud et d'ouest vers l'est (carte 4).

Quant à la variabilité des teneurs en P des terres au sein des différentes régions, elle est en moyenne assez élevée (coefficient de variation > 50%) avec des pics en Région jurassique et en Région herbagère liégeoise. A l'origine de ces disparités se trouvent des facteurs naturels liés aux matériaux géologiques ainsi que des facteurs humains liés au mode de gestion de la fertilité des terres.

Carte 4

Teneur moyenne en phosphore disponible des terres de culture en région wallonne - période 1998-2002

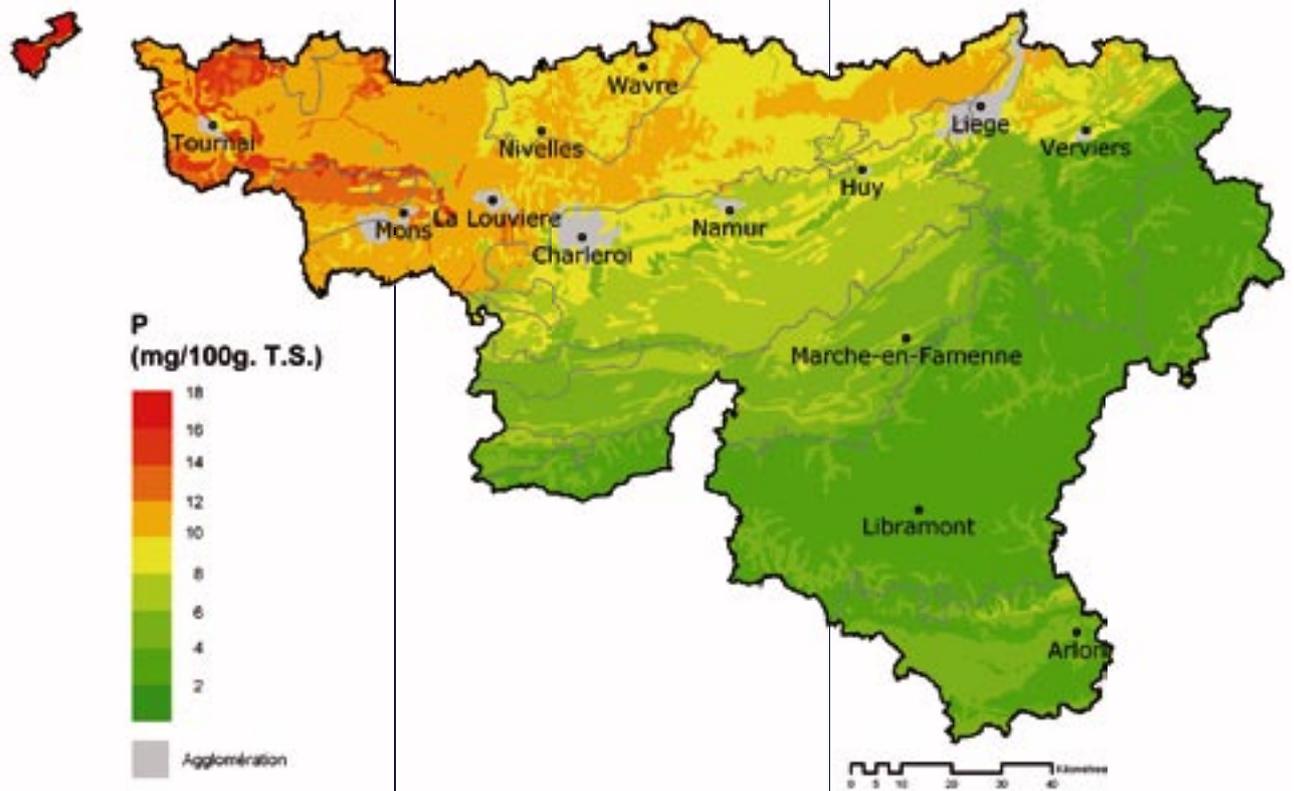


Tableau 7

Teneurs en phosphore disponible (en mg P/100g TS) des terres de culture pour les différentes régions

agricoles wallonnes; paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population; période 1998-2002.

Région agricole	Effectif	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	Moyenne	Ecart-type
Rég. sablo-limoneuse	6172	4,0	5,0	7,0	9,8	13,0	16,6	19,2	10,4	4,8
Rég. limoneuse	32210	4,0	5,0	7,0	9,5	12,7	16,2	19,0	10,2	4,6
Campine hennuyère	378	4,7	5,5	7,1	9,1	11,9	14,4	17,1	9,8	3,8
Condroz	15034	2,4	3,1	4,6	6,6	9,2	11,9	13,5	7,2	3,5
Rég. herbagère (Liège)	2338	1,5	2,2	4,0	7,0	10,4	14,4	17,1	7,8	4,9
Rég. herbagère (Fagne)	264	1,6	2,3	3,6	5,6	7,7	10,6	12,5	6,1	3,3
Famenne	1729	1,7	2,2	3,3	5,2	7,6	10,5	12,4	5,9	3,4
Ardenne	1750	1,7	2,0	2,7	3,6	5,0	6,8	8,5	4,1	2,1
Haute Ardenne	102	0,9	1,0	1,6	2,1	2,9	4,0	5,4	2,5	1,8
Rég. jurassique	1496	1,2	1,5	2,3	3,8	6,1	8,8	11,0	4,7	3,2
Toutes régions	61473	2,6	3,5	5,6	8,2	11,5	15,0	17,5	8,9	4,7

Source : base de données sols de REQUASUD

Carte 5

Teneur moyenne en phosphore disponible des terres sous prairie permanente en région wallonne – période 1998-2002

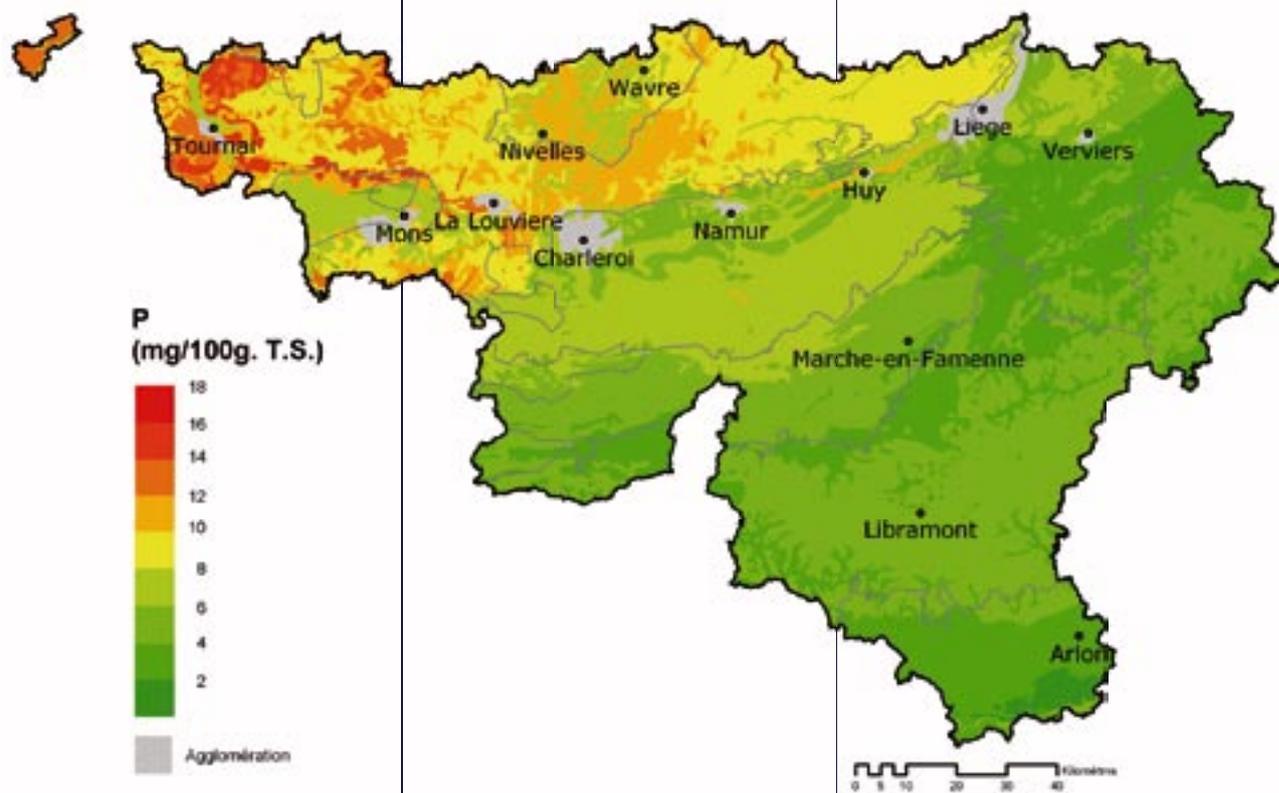


Tableau 8

Teneurs en phosphore disponible (en mg P/100g TS) des terres sous prairie permanente pour les différentes régions agricoles wallonnes; paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population; période 1998-2002.

Région agricole	Effectif	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	Moyenne	Ecart-type
Rég. sablo-limoneuse	989	2,0	2,7	4,1	7,0	11,0	15,1	18,1	8,2	5,3
Rég. limoneuse	2964	2,9	3,7	6,0	9,0	13,0	17,5	20,8	10,0	5,5
Campine hennuyère	72	2,0	2,4	4,6	8,8	12,2	16,6	18,4	9,3	6,4
Condroz	4239	1,5	2,1	3,3	5,3	7,9	10,8	13,0	6,0	3,7
Rég. herbagère (Liège)	8560	1,0	1,4	2,2	3,6	6,1	9,0	11,0	4,5	3,2
Rég. herbagère (Fagne)	217	1,8	2,1	3,1	4,9	7,5	10,5	12,1	5,7	3,3
Famenne	1760	1,2	1,6	2,5	4,0	6,3	9,2	11,2	4,8	3,1
Ardenne	5964	1,8	2,1	2,8	3,9	5,4	7,2	8,9	4,4	2,3
Haute Ardenne	1769	1,0	1,2	1,7	2,3	3,3	4,3	5,1	2,6	1,4
Rég. jurassique	1268	1,1	1,3	1,8	2,7	4,3	6,0	7,4	3,3	2,1
Toutes régions	27802	1,3	1,7	2,6	4,2	6,8	10,4	13,0	5,3	3,9

Source : base de données sols de REQUASUD

Les sols sous prairie permanente

Bien que les sols prairiaux soient plus riches en matière organique que les sols cultivés, les quantités de phosphore potentiellement libérables sont plus faibles. Cependant, le processus de minéralisation de la matière organique dépend de facteurs stationnels variables au cours du temps. L'offre de phosphore du sol évolue en cours de saison et par conséquent le niveau de richesse en phosphore à un moment donné doit être interprété en fonction d'autres caractéristiques du milieu. Pour les sols prairiaux plus que pour

les sols cultivés, la teneur en phosphore disponible doit être considérée comme un indice potentiel de disponibilité plutôt que comme une mesure de la fourniture réelle en phosphore.

Toutes régions confondues, la valeur médiane est de 4,2 mg P/100g TS (tableau 8). Cela signifie que plus de 50 % des échantillons se trouvent sous la valeur seuil de 5,0 mg. Ce chiffre est à relativiser car la situation est très différente d'une région agricole à l'autre. Ainsi, en Régions sablo-limoneuse et limoneuse, moins de 25 % des résultats se trouvent sous la valeur limite alors qu'en Région jurassique, plus de 75 % des prairies analysées sont concernées.

Les représentations cartographiques des teneurs en phosphore disponibles sont fort semblables pour les terres de culture et de prairies. On notera que le contraste interne aux régions agricoles du nord est davantage marqué pour les prairies que pour les cultures. L'ouest de la Région limoneuse présente des teneurs très élevées tandis que la Région sablo-limoneuse et la Campine hennuyère montrent les teneurs les plus faibles. Il faut toutefois noter que l'effectif des terres de prairies est relativement peu important en Campine hennuyère.

Tableau 9

Teneurs en potassium disponible (en mg K/100 g TS) des terres de culture pour les différentes

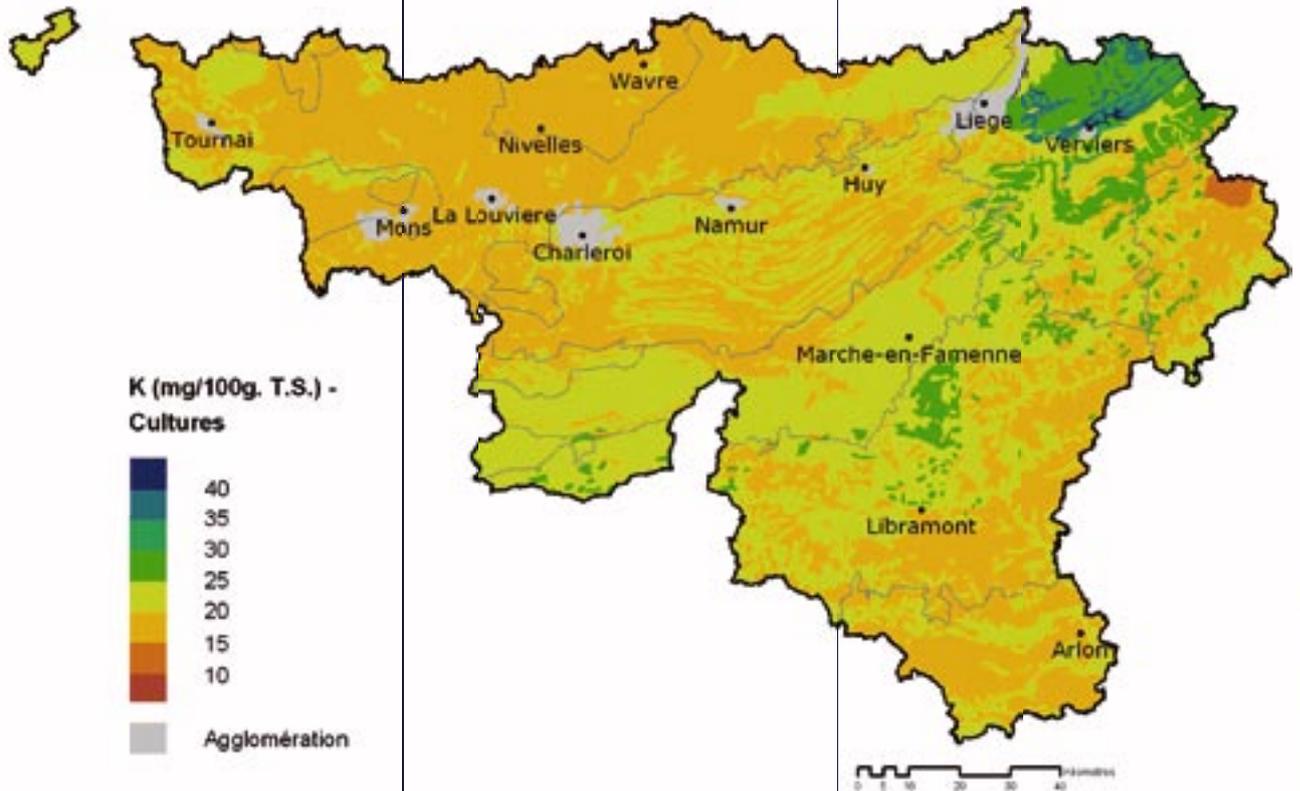
régions agricoles wallonnes; paramètres descriptifs de la distribution de la population, période 1998-2002

Région agricole	Effectif	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	Moyenne	Ecart-type
Rég. sablo-limoneuse	6172	11,0	12,2	15,0	18,0	22,0	26,3	30,0	18,9	6,0
Rég. limoneuse	32210	11,1	12,8	15,5	18,9	22,9	27,4	31,0	19,6	6,1
Campine hennuyère	378	8,7	10,5	13,5	17,2	21,3	25,8	28,5	17,8	6,0
Condroz	15034	10,3	11,9	14,7	18,1	22,2	27,0	30,2	19,0	6,2
Rég. herbagère (Liège)	2338	9,9	12,9	17,9	24,9	32,9	40,6	45,5	26,2	11,4
Rég. herbagère (Fagne)	264	9,0	10,5	14,0	18,2	22,6	29,3	34,1	19,2	7,6
Famenne	1729	10,6	12,5	16,0	20,4	25,7	32,5	38,0	21,8	8,7
Ardenne	1750	7,7	9,8	14,1	20,0	26,7	34,4	39,7	21,3	9,7
Haute Ardenne	102	6,9	7,8	11,5	17,7	22,9	30,8	34,4	18,8	9,8
Rég. jurassique	1496	8,2	9,7	12,8	17,0	22,9	30,0	34,8	18,7	8,5
Toutes régions	61473	10,6	12,2	15,0	18,7	23,0	28,2	32,4	19,7	6,8

Source : base de données sols de REQUASUD

Carte 6

Teneur moyenne en potassium disponible des terres de culture en région wallonne – période 1998-2002



b/ Le potassium (K) disponible

Le potassium est également un élément majeur essentiel pour la nutrition des plantes cultivées, car il intervient à la fois comme un facteur de résistance des plantes aux maladies et également dans l'élaboration des rendements. En prairie, les graminées font une forte consommation de potassium, particulièrement au printemps. Les interactions entre azote et potasse sont connues depuis longtemps (LAMBERT et LATOUR, 1966). Ainsi, la fumure azotée tend à enrichir l'herbe en potassium, si le sol en est suffisamment pourvu.

La méthode de détermination en usage dans les laboratoires membres de **REQUASUD** permet d'évaluer la teneur en potassium soluble ou facilement échangeable, c'est-à-dire les fractions les plus disponibles pour les plantes. Dans les sols, ce potassium disponible a deux origines essentielles : (1) l'altération ou la minéralisation des constituants minéraux ou organiques et (2) les apports d'origine humaine (engrais, amendements) et les restitutions par le bétail (pissats et bouses, si la prairie est pâturée).

La détermination des éléments disponibles sur échantillons de terre, telle qu'elle est pratiquée, permet d'évaluer la situation du sol tant du point de vue de la richesse en potassium que des équilibres entre le potassium et certains autres éléments. En effet, si la pauvreté du sol

en potassium a un impact sur le rendement, un excès relatif de cet élément peut conduire à des antagonismes provoquant une diminution des teneurs dans la plante en sodium, magnésium et calcium.

Les teneurs observées pour les terres cultivées et les prairies sont présentées respectivement aux tableaux 9 et 10. Les cartes 6 et 7 montrent la répartition spatiale des teneurs moyennes pour ces deux types d'occupation agricole.

Tableau 10

Teneurs en potassium disponible (en mg K/100 g TS) des terres sous prairie permanente pour les différentes régions agricoles wallonnes; paramètres descriptifs de la distribution de la population, période 1998-2002.

Région agricole	Effectif	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	Moyenne	Ecart-type
Rég. sablo-limoneuse	989	7,5	9,0	11,7	16,0	22,0	28,1	32,7	17,5	8,0
Rég. limoneuse	2964	8,6	10,5	14,8	20,0	27,1	34,7	40,0	21,5	9,1
Campine hennuyère	72	3,5	4,4	6,5	12,2	19,2	28,6	38,0	15,0	10,0
Condroz	4239	7,5	9,2	12,7	17,9	24,6	31,7	36,7	19,5	9,2
Rég. herbagère (Liège)	8560	6,5	7,7	10,6	15,9	23,7	32,6	39,2	18,5	10,9
Rég. herbagère (Fagne)	217	8,2	10,4	12,5	16,0	21,5	28,6	33,6	17,7	7,4
Famenne	1760	8,5	9,9	12,9	17,4	23,3	30,9	36,0	19,1	8,6
Ardenne	5964	8,8	10,6	14,5	20,0	27,0	34,6	39,6	21,5	9,6
Haute Ardenne	1769	5,4	6,4	9,2	13,5	19,7	27,0	31,7	15,4	8,3
Rég. jurassique	1268	7,1	8,3	10,8	13,7	17,9	22,5	26,2	14,9	6,1
Toutes régions	27802	7,1	8,6	12,1	17,4	24,5	32,3	37,9	19,2	9,8

Source : base de données sols de REQUASUD

Carte 7

Teneur moyenne en potassium disponible des terres sous prairie permanente en région wallonne - période 1998-2002



Commentaires

A l'échelle de la Région wallonne, les teneurs moyennes des terres de culture sont légèrement supérieures à celles des prairies. Les différences " culture-prairie " sont toutefois plus importantes aux deux extrémités de la courbe de distribution, soit pour les 10% des terres les plus pauvres et les 10% les plus riches en potassium. Si l'on considère la valeur de 8,0 mg K/100g TS comme le seuil limite de pauvreté pour un sol limoneux, la majorité des sols de Région wallonne présentent des teneurs supérieures à ce seuil.

Les teneurs moyennes les plus élevées dans les terres de culture s'observent en Région herbagère liégeoise, en Famenne et en Ardenne. Dans les autres régions naturelles, elles sont du même ordre de grandeur. Pour les prairies, les teneurs les plus élevées sont rencontrées en Région limoneuse et en Ardenne.

Quant à la variabilité des résultats enregistrée dans les différentes régions, elle est toujours très élevée au sud du sillon Sambre et Meuse, particulièrement en Région herbagère liégeoise. Les cartes 6 et 7 permettent de nuancer les diagnostics territoriaux lorsque les teneurs sont très contrastées d'une association de sols à l'autre. Ainsi, pour les prairies de la Région herbagère liégeoise, les "sols ardennais" du sud présentent des teneurs plus faibles en potassium que les sols du Pays de Herve. Au nord du sillon Sambre et Meuse, la Campine hennuyère et la Région sablo-limoneuse sont plus pauvres en potassium que le pays de Gembloux ou la Hesbaye sèche. Pour les terres de culture, les régions les plus différenciées sont l'Ardenne et la Haute Ardenne où les sols caillouteux schisto-phylladeux se distinguent des sols plus profonds et moins caillouteux. Notons encore le Condroz où les sols sur psammites se marquent par un niveau supérieur aux sols sur matériaux calcaires.

En réalité, l'appréciation du niveau de richesse en potassium d'un échantillon de terre doit se faire en tenant compte d'autres caractéristiques du sol et particulièrement de sa capacité d'échange cationique (CEC). Ainsi, sur base des normes provisoires de richesse pour les cations, éditées par la Commission des Sols de Wallonie en 1988 et qui sont utilisées comme référence dans les laboratoires de la chaîne Minérale-sols de **REQUASUD**, une teneur de 16,0 mg K/100g TS sera jugée bonne pour un sol limoneux (CEC de 10,0 à 14,9 cmol⁺/kg TS) mais basse pour un sol argileux (CEC de 20,0 à 25,0 cmol⁺/kg TS).

Il en résulte que l'appréciation du niveau de richesse des sols est quelque peu différente d'un type de sol à l'autre, ainsi que d'une région agricole à l'autre.

La grande amplitude des résultats qui est observée au sein des régions agricoles doit être liée à des différences entre associations de sols mais également à des différences importantes dans la gestion des parcelles; la richesse du sol en potassium étant en étroite liaison avec le mode d'exploitation (prairie pâturée ou fauchée,...) et le niveau d'intensification (fertilisation, charge en bétail, nombre de coupes,...).

c/ Le magnésium (Mg) disponible

Le magnésium est également un élément indispensable aux plantes, il est notamment un élément constitutif de la chlorophylle.

Le magnésium disponible, tel qu'il est déterminé dans les échantillons de terre par les laboratoires membres du réseau, a deux origines principales : l'altération des matériaux constitutifs du sol (certaines argiles, dolomies, marnes dolomitiques,...) et les apports d'origine humaine tels que certains amendements calcaires (chaux magnésiennes, dolomies,...) ou des

engrais minéraux. Les valeurs observées dans la base de données sont le résultat de l'influence de ces deux sources.

Dans les sols prairiaux, la teneur en magnésium est à suivre tout particulièrement en raison de l'importance de cet élément dans l'alimentation du bétail. Les sols de prairies doivent être suffisamment pourvus en magnésium et présenter des équilibres Ca/Mg et K/Mg optimaux, afin de couvrir les besoins physiologiques des plantes et garantir une richesse suffisante de l'herbe en magnésium.

Les tableaux 11 et 12 présentent les paramètres statistiques descriptifs de la distribution des teneurs en magnésium disponible dans les terres de culture et de prairies pour les différentes régions agricoles wallonnes. Les cartes 8 et 9 montrent la répartition spatiale des teneurs mesurées en magnésium disponible.

Commentaires

Il faut tout d'abord noter qu'à l'instar des teneurs en potassium, celles de magnésium s'interprètent par rapport à la capacité d'échange cationique.

D'une façon générale, il apparaît clairement dans les tableaux et sur les cartes que les niveaux de teneurs sont plus élevés sous prairies que sous culture. La Région wallonne apparaît relativement homogène pour les terres de culture, si on compare les deux types d'occupation agricole. Toutefois certaines régions s'individualisent des autres:

- la partie est de la Région limoneuse et la Région sablo-limoneuse, pour lesquelles valeurs moyennes et écart-types sont assez faibles ;
- la Région herbagère liégeoise, pour laquelle une valeur moyenne élevée est associée à un écart-type assez important;



Tableau 11

Teneurs en magnésium échangeable (en mg Mg/100g TS) des terres de culture pour les différentes régions agricoles wallonnes ; paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population; période 1998-2002

Région agricole	Effectif	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	Moyenne	Ecart-type
Rég. sablo-limoneuse	6172	6,0	7,0	8,4	11,0	14,0	17,0	19,9	11,5	4,3
Rég. limoneuse	32210	6,3	7,1	8,9	11,0	14,0	17,1	19,4	11,8	4,1
Campine hennuyère	378	4,8	5,5	6,8	9,2	12,3	15,5	17,7	10,1	4,3
Condroz	15034	6,8	7,7	9,6	12,2	15,5	19,2	21,8	13,0	4,8
Rég. herbagère (Liège)	2338	7,7	9,1	11,6	14,2	18,1	23,1	26,0	15,5	6,3
Rég. herbagère (Fagne)	264	9,1	9,9	12,2	15,3	18,6	21,8	23,6	15,6	4,6
Famenne	1729	7,8	9,0	11,1	13,9	17,7	21,6	24,5	14,8	5,3
Ardenne	1750	5,6	6,7	8,8	12,1	16,3	20,8	24,3	13,1	5,9
Haute Ardenne	102	6,2	8,6	10,2	14,0	18,4	25,4	29,4	15,5	7,1
Rég. jurassique	1496	3,9	5,0	7,5	11,0	14,9	19,2	22,9	11,8	5,9
Toutes régions	61473	6,3	7,2	9,0	11,5	14,7	18,3	20,9	12,3	4,7

Source : base de données sols de REQUASUD

- la Région jurassique, pour laquelle une valeur moyenne peu élevée est associée à un écart-type assez élevé.

La différenciation entre régions naturelles est plus marquée pour les prairies. La Région jurassique présente la teneur moyenne la plus basse avec une amplitude des résultats la plus élevée. La Région herbagère liégeoise se caractérise quant à elle par une teneur moyenne élevée associée à une forte variabilité des résultats. Les régions les plus sableuses semblent comporter les sols les moins

bien pourvus (Région sablo-limoneuse, Région jurassique centrale, nord du bassin de Mons,...).

Ici aussi la variabilité intra-régionale est à attribuer à des pratiques agricoles variées (apports magnésiens directs, apports de chaux magnésiennes,...) ainsi qu'à la nature des sols (teneurs en MO, CEC, sols plus ou moins rétenteurs de magnésium,...) et des substrats (fournisseurs éventuels de magnésium,...).

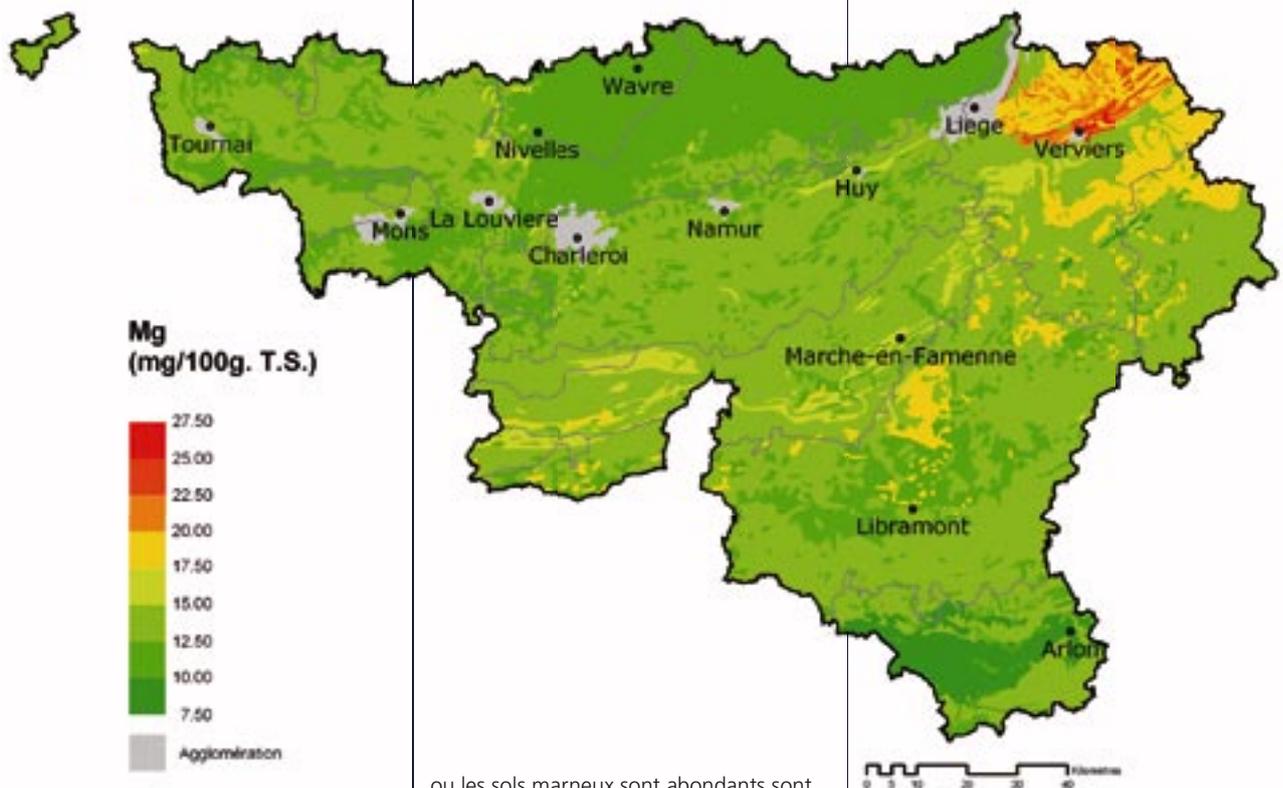
d/ Le calcium (Ca) disponible

Le calcium extrait des sols par la méthode à l'acétate d'ammonium-EDTA à pH 4,65 comprend le calcium présent dans la solution du sol, le calcium adsorbé sur le complexe d'échange ainsi qu'une part du calcium provenant des carbonates de calcium éventuellement présents dans les sols. Ainsi, cette méthode d'extraction permet de bien évaluer le calcium disponible dans les sols acides mais conduit à la surestimation du calcium disponible aux plantes dans les sols contenant des carbo-



Carte 8

Teneur moyenne en magnésium disponible des terres de culture en région wallonne – période 1998-2002



nates de calcium. Par voie de conséquence, les quantités de calcium extraites des sols par cette méthode sont souvent bien corrélées avec la nature des matériaux et ce, particulièrement dans les sols riches en éléments grossiers (graviers, cailloux, pierres ou blocs) comme c'est souvent le cas pour les sols sous prairies. La carte des teneurs moyennes en calcium dans les sols sous prairies met bien cette observation en évidence. Ainsi, les régions où les sols à charge calcaireuse, de craie

ou les sols marneux sont abondants sont bien caractérisées par les valeurs les plus élevées en calcium (calcaire du Bajocien dans la région de Torgny, calcaires du Givetien ou du Frasnien en Calestienne, craie en Hesbaye liégeoise et dans le bassin de Mons). D'un point de vue cartographique, la structure spatiale du calcium est logiquement très proche de celle du pH_{KCl} tant pour les prairies que les terres de culture. Dès lors, les cartes ne sont pas présentées dans cette synthèse.

Tableau 12

Teneurs en magnésium disponible (en mg Mg/100g TS) des terres sous prairie permanente pour les différentes régions agricoles wallonnes; paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population; période 1998-2002.

Région agricole	Effectif	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	Moyenne	Ecart-type
Rég. sablo-limoneuse	989	8,0	9,5	12,7	16,4	21,2	25,0	27,4	17,1	6,2
Rég. limoneuse	2964	9,9	11,7	15,6	19,9	24,6	25,0	27,5	19,6	5,9
Campine hennuyère	72	5,1	5,7	8,1	11,6	17,4	23,0	25,0	13,2	6,5
Condroz	4239	11,0	12,7	15,8	19,8	24,7	29,5	33,3	20,7	7,1
Rég. herbagère (Liège)	8560	10,7	12,6	16,2	20,6	25,9	31,7	36,5	21,7	8,3
Rég. herbagère (Fagne)	217	10,4	11,4	14,9	18,1	22,5	25,0	25,5	18,5	5,5
Famenne	1760	10,6	12,6	15,7	19,6	24,1	29,3	33,2	20,5	7,1
Ardenne	5964	8,0	9,6	12,6	16,1	20,6	25,8	29,5	17,1	6,6
Haute Ardenne	1769	8,6	10,2	13,2	17,0	22,3	28,2	31,0	18,2	6,9
Rég. jurassique	1268	6,4	7,7	10,4	14,3	19,9	26,5	34,3	16,5	9,3
Toutes régions	27802	9,1	11,0	14,4	18,7	23,9	28,8	33,0	19,6	7,6

Source : base de données sols de REQUASUD

Carte 9

Teneur moyenne en magnésium disponible des terres sous prairie permanente en région wallonne - période 1998-2002

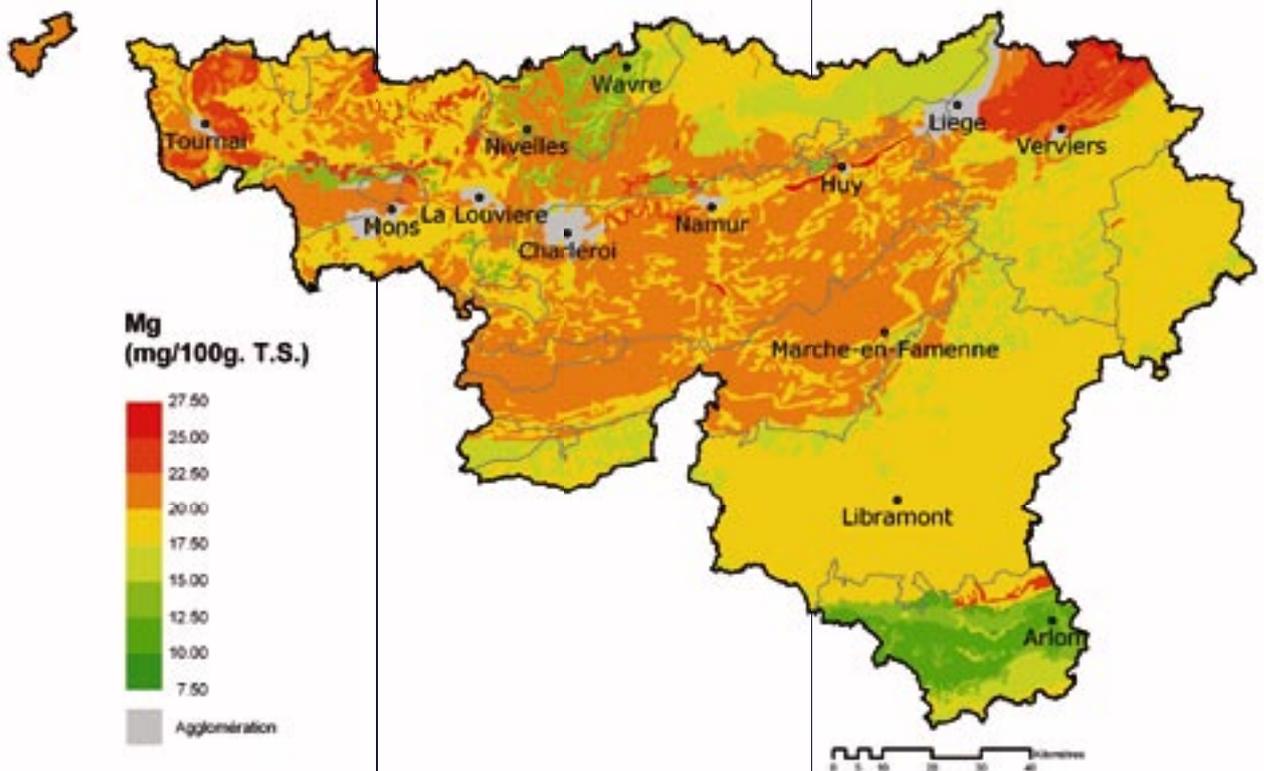


Tableau 13

Teneurs en calcium disponible (en mg Ca/100g TS) des terres de culture pour les différentes régions agricoles wallonnes; paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population; période 1998-2002.

Région agricole	Effectif	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	Moyenne	Ecart-type
Rég. sablo-limoneuse	6171	119,0	140,0	174,0	209,0	253,0	309,6	364,0	220,2	77,5
Rég. limoneuse	32210	142,8	161,8	194,1	236,0	292,0	369,0	407,3	253,3	91,2
Campine hennuyère	378	65,9	82,0	103,0	133,0	163,0	215,6	252,5	141,8	59,0
Condroz	15034	144,0	161,0	189,0	227,5	277,2	343,0	400,0	244,3	86,3
Rég. herbagère (Liège)	2338	125,6	142,6	179,2	224,5	280,9	349,2	397,4	238,7	88,5
Rég. herbagère (Fagne)	264	143,0	151,8	175,7	203,0	245,0	301,0	333,2	218,1	65,3
Famenne	1729	124,8	142,0	171,0	204,4	250,0	325,5	409,8	226,5	100,1
Ardenne	1750	80,9	95,9	120,2	153,0	191,0	242,7	278,0	163,4	66,3
Haute Ardenne	102	79,6	85,0	110,6	130,5	154,7	196,3	233,5	138,5	43,4
Rég. jurassique	1496	57,7	82,6	130,6	187,8	252,4	356,3	432,6	213,8	144,8
Toutes régions	61472	129,0	150,0	184,5	226,0	280,0	353,0	400,0	241,9	91,9

Source : base de données sols de REQUASUD

Tableau 14

Teneurs en calcium disponible (en mg Ca/100g TS) des terres sous prairie permanente pour les différentes régions agricoles wallonnes; paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population; période 1998-2002.

Région agricole	Effectif	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	Moyenne	Ecart-type
Rég. sablo-limoneuse	989	92,0	112,0	149,2	194,5	244,0	328,7	400,0	209,2	92,9
Rég. limoneuse	2964	134,2	154,4	188,0	228,9	286,0	369,5	400,0	246,3	90,4
Campine hennuyère	72	50,9	68,3	106,6	146,2	218,0	360,2	400,0	176,5	100,2
Condroz	4239	133,1	146,9	175,0	210,5	257,5	322,0	379,5	226,5	82,5
Rég. herbagère (Liège)	8560	117,3	137,3	173,3	220,1	276,8	341,6	400,6	234,9	93,9
Rég. herbagère (Fagne)	217	142,9	150,9	173,9	205,7	262,0	314,9	352,4	225,5	76,5
Famenne	1760	141,0	157,0	187,0	228,0	285,7	383,0	464,4	255,3	110,8
Ardenne	5964	91,3	105,9	133,6	167,4	206,2	248,9	283,9	175,0	62,5
Haute Ardenne	1769	83,3	96,5	120,6	149,6	183,4	215,8	245,3	155,8	52,4
Rég. jurassique	1268	83,9	103,7	148,7	207,5	296,2	419,5	531,1	246,4	153,2
Toutes régions	27802	104,9	123,1	157,9	200,9	255,7	326,5	391,7	217,6	93,9

Source : base de données sols de REQUASUD

Tableau 15

Teneurs en cuivre disponible (en mg Cu/kg TS) des terres de culture pour les différentes régions

agricoles wallonnes; paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population; période 1998-2002.

Région agricole	Effectif	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	Moyenne	Ecart-type
Rég. sablo-limoneuse	319	1,4	1,7	2,1	2,5	3,1	3,9	5,5	2,8	1,4
Rég. limoneuse	2267	1,6	1,9	2,3	2,8	3,5	4,4	5,1	3,1	1,2
Campine hennuyère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Condroz	6901	1,1	1,3	1,8	2,3	2,9	3,6	4,2	2,4	1,0
Rég. herbagère (Liège)	19	1,3	1,4	2,0	2,3	3,3	4,3	4,5	2,7	1,1
Rég. herbagère (Fagne)	200	1,4	1,5	1,8	2,1	2,5	2,9	3,6	2,3	0,8
Famenne	1174	1,1	1,4	1,8	2,5	3,3	4,2	5,1	2,7	1,3
Ardenne	232	0,9	1,1	1,7	2,4	3,0	3,8	4,3	2,4	1,1
Haute Ardenne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rég. jurassique	301	1,0	1,3	1,9	2,5	3,5	4,1	4,6	2,7	1,2
Toutes régions	11414	1,2	1,4	1,9	2,5	3,1	3,9	4,6	2,6	1,1

Source : base de données sols de REQUASUD

Tableau 16

Teneurs en cuivre disponible (en mg Cu/kg TS) des terres sous prairie permanente pour les différentes régions

agricoles wallonnes; paramètres statistiques descriptifs de la distribution de la population; période 1998-2002

Région agricole	Effectif	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	Moyenne	Ecart-type
Rég. sablo-limoneuse	437	1,6	1,9	2,5	3,3	4,0	5,0	5,7	3,4	1,3
Rég. limoneuse	669	2,1	2,5	3,1	3,9	4,9	6,6	7,5	4,2	1,6
Campine hennuyère	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Condroz	2048	1,4	1,7	2,3	2,9	3,8	4,8	5,6	3,2	1,3
Rég. herbagère (Liège)	36	1,9	2,2	2,6	3,1	3,5	4,4	4,8	3,3	1,0
Rég. herbagère (Fagne)	85	1,6	1,7	2,0	2,5	3,3	3,8	4,2	2,7	0,9
Famenne	885	1,6	1,9	2,5	3,2	4,2	5,3	6,3	3,5	1,4
Ardenne	447	1,0	1,2	1,6	2,4	3,3	4,6	5,8	2,7	1,5
Haute Ardenne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rég. jurassique	122	1,7	2,0	2,3	3,0	4,0	4,9	5,7	3,3	1,2
Toutes régions	4729	1,4	1,8	2,3	3,1	4,0	5,2	6,2	3,3	1,4

Source : base de données sols de REQUASUD

Commentaires

e/ Le cuivre (Cu) disponible

Le cuivre figure parmi les oligo-éléments. De nombreuses observations de terrain révèlent l'existence de carences vraies ou induites dans les sols cultivés, particulièrement sous culture de céréales. Par ailleurs, cet élément est également très important pour la santé et la fécondité du bétail; il doit donc être bien présent dans la ration alimentaire de ce bétail.

Dans ce contexte, la détermination de la teneur en cuivre dans les terres de culture et sous prairie permanente doit figurer au menu des laboratoires soucieux d'apporter un conseil judicieux aux agriculteurs. Les laboratoires de **REQUASUD** réalisent la détermination du cuivre uniquement à la demande expresse de l'agriculteur. Cette analyse ne faisant pas partie du menu standard, le gisement

de données de **REQUASUD** est donc moins étoffé que pour les éléments dits majeurs. Les tableaux 15 et 16 présentent les paramètres statistiques descriptifs de la distribution des teneurs en cuivre disponible (en mg Cu/kg TS) respectivement pour les terres de cultures et les terres sous prairie permanente dans les différentes régions agricoles en région wallonne.

Les résultats présentés au tableau 16 indiquent que, toutes régions confondues, la teneur moyenne en cuivre est assez basse (2,6 mg/kg TS); 50 % des échantillons prélevés dans les terres de cultures présentent une teneur inférieure à 2,5 mg/kg TS .

Les effectifs restent très modestes pour la plupart des régions agricoles à l'exception de la Région limoneuse et du Condroz. En fait, les résultats sont concentrés en Province de Namur, où une action de sensibilisation a été menée par le laboratoire provincial de Ciney en faveur de cette détermination.



On notera que pour les deux régions agricoles citées ci-dessus, la comparaison des cultures et des prairies permanentes révèle la plus grande richesse en cuivre disponible des sols prairiaux. Ceci s'explique d'une part par la présence des animaux qui éliminent le cuivre en excès dans leur alimentation et d'autre part par le rôle rétenteur de la matière organique des sols.

2.3. Interprétation et conseil de fumure

L'analyse d'un sol révèle l'état de fertilité à un moment donné, mais elle n'est pas une fin en soi. C'est au contraire un outil d'évaluation et d'aide à la décision dans la gestion de la fertilisation.

Pour déterminer la fumure à appliquer, il faut d'abord connaître :

- les réserves disponibles du sol en éléments minéraux, en insistant sur la forme sous laquelle ils sont présents, ainsi que leur accessibilité potentielle.

- l'espérance de récolte qui doit permettre de préciser les besoins (dont les exportations) probables des différents éléments nutritifs.

La différence entre les besoins de la plante et les éléments fournis par le sol donne des indications sur la fumure de complément, en tenant compte des interactions au sein du sol : fixation, rétrogradation, lixiviation des éléments minéraux, minéralisation de la matière organique,...

En d'autres termes, le résultat de l'analyse chimique, c'est-à-dire la teneur observée en élément minéral (K ou Mg

2.3.1. Les normes

ou Ca, ...), doit être comparé à des normes de richesse ainsi qu'à des caractéristiques plus pérennes du sol, comme la capacité d'échange cationique, le taux de matière organique, ... De cette comparaison, découle la décision d'apporter ou non un engrais.

Concrètement trois situations peuvent se présenter :

- 1. La teneur observée est supérieure à la norme. Le sol est suffisamment pourvu ; il peut répondre aux besoins de la plante. Une réduction de la fumure d'entretien peut même être envisagée si le sol est trop riche.
- 2. La teneur observée est voisine de la norme. On dit que le sol est à l'entretien, c'est-à-dire qu'il a un niveau de richesse pour lequel la culture la plus exigeante de la rotation ne réagit pas à un apport d'engrais supérieur à la dose d'entretien. Dans ce cas, le sol recevra une fumure d'entretien, qui couvrira les besoins présumés de la culture (ou de la rotation) après estimation des fournitures naturelles du sol et des pertes possibles (lixiviation, fixation, ...).
- 3. La teneur observée est inférieure à la norme. Une fumure de redressement s'impose pour rétablir une teneur suffisante dans le sol.

L'établissement des normes de richesse résulte de la confrontation des résultats d'analyse chimique avec le comportement des végétaux (rendements et teneurs) sur les sols analysés et plus particulièrement avec leur réponse à des apports de fertilisants.

A titre d'exemple, la Commission des Sols de Wallonie a retenu un système où les teneurs souhaitées d'un sol sont déterminées à partir de sa capacité d'échange cationique (CEC) et d'un taux de saturation optimum pour chaque cation. La CEC est constituée de la somme des charges négatives du complexe argilo-humique (c'est-à-dire des minéraux et de la matière organique) facilement

de valeurs moyennes de CEC par région et type de végétation. En effet la mesure de la CEC pour chaque échantillon de sol n'est pas envisageable en routine. Mais certaines améliorations peuvent être envisagées compte-tenu des études réalisées au cours des 20 dernières années et des moyens techniques disponibles actuellement. La détermination d'une valeur moyenne de CEC par type de sol est certes un premier pas (MAROT *et al.*, 1984). L'utilisation de la cartographie des sols (LAMBERT *et al.*, 2003) et le *géoréférencement* par GPS ou orthophotoplan constituent cependant une nouvelle approche. Enfin l'estimation de la CEC par régression multiple à partir du taux d'argile et de matière organique est également une piste à explorer (GENON et DUFEY, 1991).



accessibles aux cations dissous dans l'eau du sol. Le taux de saturation correspond au pourcentage de charges responsables de la CEC ou sites d'échanges, occupé par les cations (K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}). Ainsi pour le potassium le taux de saturation recommandé est compris entre 3 et 5 % de la CEC et entre 8 et 10 % pour le magnésium.

La connaissance de la CEC est donc essentielle pour établir des normes d'interprétation. En pratique cependant, les normes utilisées dans les laboratoires d'analyses de sols sont définies à partir

D'autres systèmes d'établissement des normes de richesse, plus ou moins sophistiqués, existent dans la littérature. La Commission des Sols de Wallonie a adopté ses références sur base d'observations en champs expérimentaux.

2.3.2. La fumure d'entretien

Pour maintenir la teneur en un élément minéral dans une zone optimum, la fumure d'entretien doit compenser, après estimation de la fourniture du sol, les exportations par la récolte et les pertes par lessivage et par fixation de K ou rétrogradation de P.

Ainsi dans un sol ayant une CEC moyenne de 15 cmol⁺/kg TS, la zone optimum de teneur en K se situe entre 15,6 et 23,3 mg/100g.

Si sa teneur en K disponible est égale à 20 mg/100g de sol, on peut dire que le sol est à l'entretien. On peut estimer la quantité de K disponible correspondant à cette teneur dans la couche de sol

Ex: dans un sol contenant 10% d'argile, PF = 25 et C = 1,33

De façon générale, $C = \frac{1}{1-(PF/100)}$

Si l'on se trouve sur un sol à moins de 30% d'argile, on augmente généralement les besoins réels de 20%.

$1,4 * 10.000 * 0,20 * 1,33 * 20 / 100 = 745$ kg de K,
soit 894 kg de K₂O

Selon les travaux de la Commission des Sols de Wallonie, la quantité de K₂O disponible serait égale à 1/7^e de 894 kg, soit 130 kg environ.

2.3.3. La fumure de redressement

Si par contre la teneur en K disponible de ce même sol est égale à 10 mg de K/100g de sol, une fumure de redressement s'impose. Elle peut se calculer à l'aide de la formule suivante :

D . T . t . C

dans laquelle,

- D = la différence entre la teneur observée et la norme, soit 20-10 = 10 mg de K
- T = le tonnage de terre, soit 2.800 tonnes de terre = la surface (10.000 m²)* la profondeur (0,20 m)* la densité(1,4)
- t = (100 - x)/100, soit 0,95 (où x = % de cailloux),



exploitée par les racines, en utilisant les paramètres suivants :

- densité : 1,4
- profondeur : 0,20 m
- surface : 10.000 m²
- coefficient correctif (C) dû au pouvoir fixateur des argiles (PF)

Ce phénomène de fixation concerne essentiellement le potassium qui peut être rétrogradé entre les feuillettes des argiles. Ce pouvoir fixateur dépend principalement de la teneur en argile (% A + 15)

Une prairie temporaire produisant 10 t de matière sèche à 28 g de K/kg de MS exporte 280 kg de K, soit 336 kg de K₂O. Par conséquent la fumure d'entretien sera égale à : 336-130 c'est à dire 206 kg de K₂O/ha.

- C = coefficient de correction lié au pouvoir fixateur du sol vis-à-vis du K, soit 1,33.

La fumure de redressement est donc égale à :
 $(10/100) * 2.800 * 0,95 * 1,33 = 354$ kg de K, soit 425 kg de K₂O

Le redressement étant étalé sur 6 années, la prairie recevra pendant 6 ans 70 kg de K₂O en plus que la fumure d'entretien.

3. Perspectives d'utilisation agro-environnementale de la base de données

3.1. Affinement du conseil agronomique

Comme signalé au point précédent, la capacité d'échange cationique (CEC) est un paramètre analytique synthétique de référence pour le calcul de la fumure.

avec la détermination de la teneur en éléments majeurs échangeables disponibles (P, K, Mg, Ca,...), de la teneur en quelques oligo-éléments (Cu, Zn, Mn), ainsi que de la CEC et de la granulométrie,... Pour chaque échantillon, deux conseils de fumure ont été élaborés ; le premier sur base de la CEC moyenne régionale et le second sur base de la CEC mesurée.

Comparée à la fumure établie sur base de la CEC régionale, la fumure

3.2. Raisonement à la parcelle, vers une agriculture de précision

En Région wallonne, les parcelles agricoles ont des superficies qui varient de 1 ha, voire moins, à 10 ha et plus, en fonction des terroirs. Quelles que soient leurs dimensions, ces parcelles sont les unités de gestion pour l'application des matières fertilisantes. Dès lors, pour établir un conseil de fumure bien raisonné, il est impératif d'évaluer et de prendre en compte la variabilité des sols rencontrés au sein d'une même parcelle.

A titre d'exemple, nous développons ici le cas d'une parcelle cultivée de 9 ha en Condroz. Cette parcelle a été échantillonnée en prenant en compte sa topographie, son passé cultural (hétérogène) et la nature de ses sols. Six unités homogènes ont été définies et 6 échantillons composites ont été prélevés. Les différents échantillons ont été analysés en suivant les procédures en

Idéalement, le calcul de la fumure devrait être réalisé sur base de la CEC mesurée sur chaque échantillon. Malheureusement, la CEC figure rarement au menu des analyses demandées par les agriculteurs. Dès lors, les conseils de fumure sont établis en utilisant une valeur de CEC régionale dépendant du type de sol le plus couramment rencontré.

Récemment, un essai a été conduit par **REQUASUD** sur le territoire de la commune de Tinlot, en Condroz liégeois, afin d'évaluer l'apport d'une connaissance précise de la CEC mesurée sur le calcul de la fumure. 218 échantillons composites de surface ont été prélevés dans les 10 types de sols les plus représentés sur le territoire étudié. Une caractérisation assez complète des échantillons a été réalisée

établie sur base de la CEC mesurée conduit à :

- une augmentation de la fertilisation potassique de 30 unités en moyenne dans 10% des cas (l'augmentation va de 10 à 50 unités) et
- une économie moyenne de 50 unités de potassium dans 20 % des cas (l'économie va de 20 à 90 unités). Ceci traduit l'intérêt de la mesure de la CEC d'autant plus que, une fois déterminé, ce paramètre reste relativement stable et permet l'ajustement de la fumure pendant une longue période si la conduite de la parcelle est peu modifiée (pas de retournement de prairie, pas de forte augmentation d'application de MO,...).

cours au sein de **REQUASUD**. Le tableau 18 présente une partie de ces résultats ainsi que le conseil P-K qui a été établi.

Force est de constater que les six échantillons donnent des résultats d'analyse très différents. Par voie de conséquence, le conseil de fumure établi sur base des résultats provenant de chaque échantillon sont eux aussi assez différents.

Idéalement, la fertilisation appliquée dans la parcelle agricole devrait prendre en compte ces informations, les quantités appliquées devraient être différentes en fonction de la zone. Ainsi, les applications d'engrais phosphatés devraient varier entre 0 et 100 unités de phosphore.

Dans les faits, pour des raisons techniques et pour ce type de parcelle (moins de 10 ha), une dose moyenne d'engrais est

Tableau 17

Echantillonnage d'une parcelle en Condroz, mise en évidence de l'hétérogénéité.

Caractéristiques de la zone d'échantillonnage	P (mg/100gTS)	K (mg/100gTS)	Fumure P-K (unités P-K)
Sol caillouteux (grès, calcaires, schistes) et argileux ; ancienne prairie (Gbax)*	4,8	29,1	100-205
Sol caillouteux (grès, calcaires, schistes) et argileux (Gbax)	7,1	31,7	60-160
Sol limoneux profond (Aba)	10,5	26,9	15-130
Sol limoneux peu épais sur matériaux argileux (uAba)	10,1	33,5	0-40
Sol limoneux épais de fond de vallon (Abp)	10,9	23,9	0-175
Sol caillouteux de fond de vallon (Gbp)	14,3	30,1	0-95

* symbolique de la série cartographique telle qu'utilisée dans la carte des sols de la Belgique (1/20 000)
Source : chaîne Minérale-sols de **REQUASUD**

appliquée de manière uniforme sur l'ensemble de la parcelle. Ceci conduit à des sacrifices de production dans certaines zones (là où il y a sous-dosage de la fumure par rapport aux besoins réels) et à un " gaspillage de fertilisant " sur d'autres zones (là où la fumure est supérieure aux besoins) ; ceci se traduisant éventuellement par une perte financière et par un impact négatif sur l'environnement.

Grâce aux outils mis en place au sein du réseau **REQUASUD** (utilisation de GPS), les échantillonneurs peuvent localiser avec précision les points de prélèvement au sein des parcelles et fournir des résultats spécifiques pour chaque zone échantillonnée. Dans le cas de parcelles de grande dimension, nous conseillons donc aux agriculteurs de demander ce type d'échantillonnage afin qu'ils puissent mieux prendre en compte les spécificités des parcelles pour l'application raisonnée d'engrais. A terme, cela devrait se traduire par des économies d'intrants et un meilleur respect de l'environnement.

3.3. Questions environnementales

3.3.1. Epanchages de matières organiques

Dans un avenir proche, le respect de normes environnementales fera de plus en plus partie des conditions d'octroi des aides au secteur agricole. En Région wallonne, le degré de liaison au sol est un estimateur de la capacité foncière d'une exploitation agricole à épandre ses effluents d'élevage, estimateur calculé sur base de flux potentiels de nitrates.

Dans les sols, les nitrates produits par minéralisation de la matière organique ou apportés directement sous forme minérale (engrais, pluie) sont absorbés par les végétaux ou les micro-organismes. Lorsque l'activité des organismes vivants est insuffisante par rapport aux stocks de nitrates, ces derniers sont susceptibles de migrer en dehors de la zone d'influence des racines, car ils ne sont pas retenus par le complexe d'échange du sol. D'où la nécessité d'une gestion raisonnée des intrants agricoles, à laquelle les administrations et les institutions de recherche vouent une partie de leur effort notamment par la mise en place d'un cadre législatif et de structures d'encadrement des agriculteurs.

Les laboratoires du réseau **REQUASUD**, quand à eux, réalisent de nombreuses analyses d'azote potentiellement lessivable (APL) chaque année. De plus la synergie entre les différentes chaînes d'analyses du réseau **REQUASUD** permet d'intégrer différents éléments comme la teneur en carbone, le pH, la charge caillouteuse, ..., dans les programmes d'interprétation et de conseils de gestion de l'azote.

Indépendamment des aspects de contrôle à l'échelle de la parcelle agricole, un inventaire régional en la matière permettrait d'apporter un éclairage complémentaire, relatif à l'existence de réalités physiques propres à des petites régions naturelles dont il y aurait lieu de tenir compte. La forte variabilité des concentrations dans l'espace et dans le temps plaide en faveur de l'utilisation de données agrégées pour l'établissement d'un inventaire de ce type.

Outre les éléments fertilisants, les matières organiques provenant par exemple des stations d'épuration contiennent également des éléments environnementalement sensibles, à savoir les éléments traces métalliques ou " métaux lourds ". En vertu de la législation régionale en matière d'épandage des boues de station d'épuration, les sols doivent faire l'objet

d'une analyse avant épandage. Les laboratoires de la chaîne Minérale-sols de **REQUASUD**, en plus de leurs activités dans le cadre du conseil en fertilité, sont ainsi fréquemment amenés à travailler pour des sociétés actives dans l'épandage des boues. Ces données sont centralisées par l'Office Wallon des Déchets qui a réalisé une synthèse régionale. L'intérêt de la prise en compte des informations relatives aux types de sols et à leurs propriétés (pH, COT, CEC) a été illustré pour la région wallonne par les travaux du Laboratoire de Géopédologie (BOCK *et al.*, 2002 ; COLINET *et al.*, 2004). On peut raisonnablement penser que dans le futur, la mise en commun des données de l'OWD avec la base de données de **REQUASUD** et les cartes des sols numérisées constituera un outil essentiel en matière d'évaluation agro-environnementale des pratiques agricoles.

3.3.2. Erosion

L'érosion des sols est un problème important pour des questions tant agricoles (perte irréversible en terre) qu'environnementales (dégradation de la qualité des eaux, comblement du lit des cours d'eau et des installations d'égouttage,...). La prédiction des risques d'érosion se base sur la modélisation des processus érosifs qui dépendent de nombreux facteurs inter-dépendants. De nombreux travaux relatifs à la modélisation du risque érosif se basent sur l'"équation universelle des pertes en sols", résultat des expériences de WISCHMEIER aux Etats-Unis dans les années 70. Ce modèle et ceux qui en sont inspirés (BOLLINNE et ROS-SEAU, 1978 ; WISCHMEIER et SMITH, 1978 ; INRA, IFEN, 1998 ; LEGUEDOIS, 2003) reconnaissent quatre groupes de facteurs : le climat, le relief, le sol et son

occupation. Parmi les paramètres liés au sol, la matière organique produit un effet sur la stabilité structurale des sols et leur sensibilité à la battance. Dans ce contexte, une cartographie validée des teneurs en carbone organique dans l'horizon labouré permettrait d'affiner les prévisions des risques d'érosion et de délimiter les zones nécessitant des actions de restauration du potentiel organique, à l'instar de l'étude de LE VILLIO *et al.* (2001) en France.

3.3.3. Flux de gaz à effet de serre

Dans le cadre des politiques visant la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la possibilité d'augmenter les stocks de carbone dans les sols fait l'objet de nombreuses études. Le carbone peut être stocké dans le sol essentiellement sous forme de matière organique ; celle-ci subit une série de transformations menant à sa minéralisation sous forme de CO₂ sous l'action des micro-organismes. Accroître le stockage de carbone dans les terres agricoles consiste à en augmenter les entrées et en retarder les sorties. Parmi les usages agricoles qui peuvent contribuer au stockage du C dans le sol, figurent les augmentations (1) de la production de biomasse, (2) des restitutions de résidus de récolte et d'effluents d'élevage et (3) des apports de matières organiques non-agricoles. Toutefois, l'action qui engendre le stockage additionnel maximum est le passage des cultures annuelles aux végétations pérennes (prairies, forêts) (ARROUAYS *et al.*, 2002).

La difficulté principale à laquelle est confrontée la communauté scientifique est l'estimation des stocks actuels de carbone dans les sols et le suivi de leur évolution temporelle. Si pour répondre à des questions de fertilité, les stocks de carbone sont exprimés en concentration (g C/kg de terre), les bilans du type "global change" se mesurent en terme de masse (kg C/ha). Cette conversion nécessite la connaissance de la densité apparente et de l'épaisseur des sols. Or dans les sols agricoles, ces deux grandeurs varient avec le travail du sol. Outre ce problème de transformation, l'évaluation des stocks de carbone dans les sols se heurte à une forte variabilité spatiale. Si le type



de sol et l'historique d'occupation sont les déterminants majeurs des teneurs en carbone (ARROUAYS *et al.*, 2002), une part non-négligeable de la variabilité peut être due à des facteurs locaux à très courte (1 à 10 mètres) ou à moyenne distance (versant). Nous pouvons également ajouter les problèmes liés à l'échantillonnage (faible densité spatiale de prélèvement, échantillons composites ou ponctuels, nature et épaisseur des horizons prélevés, ...) et à l'analyse (différences de modes opératoires, ...) qui peuvent rendre très délicates les estimations spatiales de stocks à partir de résultats d'inventaires différents. Outre les difficultés d'estimation des stocks, le carbone est un élément

dont les évolutions en fonction du temps sont difficiles à mesurer en raison de la faiblesse des variations annuelles des stocks, celles-ci étant fréquemment inférieures aux ordres de grandeur des erreurs de mesures en laboratoire.

Malgré toutes ces difficultés, 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 (LETTENS *et al.*, 2004; VAN WESEMAEL *et al.*, 2004). L'avantage du réseau réside incontestablement dans

Conclusion

Cette note constitue une deuxième synthèse relative aux analyses de terre contenues dans la base de données du réseau **REQUASUD**. La première synthèse concernait la période 1994-1997, celle-ci couvre les années 1998-2002.

Cette synthèse régionale permet de donner une autre dimension aux analyses ponctuelles effectuées dans le cadre de

et du milieu naturel, par l'intermédiaire du découpage en régions agricoles. Niveaux moyens, déciles et paramètres de variabilité constituent une source d'informations des plus intéressantes et les cartes permettent d'identifier des associations de sols ou des terroirs à comportement spécifique pour un ou souvent plusieurs paramètres.

La question du suivi temporel de l'état des terres n'a pas fait l'objet d'un chapitre spécifique : en effet, à la lecture des différents tableaux de synthèse pour les



l'harmonisation des protocoles d'analyse des échantillons. Dans le futur, il est raisonnable d'imaginer que des données géoréférencées à la parcelle permettront de faire un lien avec la carte numérisée des sols de la Belgique (échelle 1:20 000) et avec des cartes d'occupation des sols, c'est-à-dire un lien avec des informations susceptibles d'améliorer les évaluations de stocks.

la gestion de la fertilité d'une terre de culture ou d'une prairie à l'échelle de la parcelle agricole. L'actualité européenne des sols est à leur protection et au suivi dans le temps de leur qualité. Dans ce cadre, l'inventaire spatialisé des caractéristiques des sols à l'échelle de petites régions naturelles ou de terroirs revêt un intérêt certain et justifie d'autant les initiatives prises en matière d'interprétation des analyses de terre.

Les résultats confirment ceux de la première synthèse et permettent d'avoir une bonne idée de l'état de fertilité des terres en fonction de l'occupation des sols

deux périodes, aucune évolution interprétable n'a pu être identifiée. L'explication de ce constat d'absence d'évolution peut être liée à la fois à une réelle stabilité des différents statuts des terres et/ou à l'échelle spatio-temporelle considérée, c'est-à-dire le pas de temps entre les deux inventaires. L'utilisation de données agrégées à l'échelle de la commune ne permet pas non plus de mettre en évidence des évolutions significatives. On peut toutefois penser que, vu la taille des effectifs, la poursuite de l'accumulation des données et le référencement de celles-ci aux parcelles agricoles permettront de garantir que toute évolution sera mise en évidence.

Références bibliographiques

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

Anonyme (2003). Protocole d'échantillonnage et d'analyse. Government of Ontario, Canada - <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/french/nml/regs/sampro/sampro042.htm>. Dernière visite le 23/03/2005.

ARROUAYS, D., J. BALESSENT, J.C. GERMON, P.A. JAYET, J.F. SOUSSANA et P. STENGEL (eds). (2002). Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Expertise scientifique collective. Synthèse du rapport. INRA (France), 32 p.

BERNOIT M., PAPPY F. (1998) La place de l'agronomie dans la problématique environnementale. In Vilotte O., Barres D. *Sciences de la société et environnement à l'INRA - matériaux pour un débat. Dossier de l'environnement de l'INRA n°17*, 53-72

BOCK L. (1994). Analyses de sols et gestion de l'espace. Plaidoyer pour leur cadrage géomorphopédologique dans les projets, expertises et services de conseil. *Etude et Gestion des Sols*, 1: 23-33.

BOCK L., LAROCHE J., GENOT V., COLINET G., LACROIX D. (2002). Intérêt des cartes pédologiques pour la caractérisation géochimique des sols. Cas d'une parcelle en Condroz. In BAIZE et TERCE coord. *Sci. Les éléments traces métalliques dans les sols. Approches fonctionnelles et spatiales*. INRA, 565p.

BOLLINNE A., ROSSEAU P. (1978). L'érodibilité des sols de Moyenne et Haute Belgique. Utilisation d'une méthode de calcul du facteur K de l'équation universelle de perte de sol. *Bull. Soc. géog. de Liège*, 14, 127-140.

CE (2002). Vers une stratégie thématique pour la protection des sols. *Communication finale de la Commission européenne au Parlement, au Comité économique et social et au Comité des régions*. 179, 39p.

COLINET G., LAROCHE J., ETIENNE M., LACROIX D., BOCK L. (2004). Intérêt d'une stratification pédologique pour la constitution de référentiels régionaux sur les teneurs en éléments traces métalliques dans les sols de Wallonie. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 8 (2), 83-94.

GENON J.G., DUFEY J.E. (1991). Contribution des argiles et de la matière organique à la capacité d'échange cationique de sols du sud-est de la Belgique. *Revue de l'Agriculture*, 44 (2), 277-284.

INRA, IFEN (1998). Cartographie de l'aléa érosion en France. *Etudes et travaux*, 18, 77p.

KING D., MONTANARELLA L. (2002). Inventaire et surveillance des sols en Europe. *Etude et Gestion des Sols*, 9 (2), 137-148.

LAKANEN E., ERVIO R. (1971). Comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agr. Finn.* 23, 223-232.

LAMBERT J., LATOUR G. (1966). Effet de la fumure potassique et azotée sur les prairies d'Ardenne. *Agricultura*, 2.

LAMBERT R., POCHE P., TOUSSAINT B., PEETERS A. (2003). Un conseil de fumure plus précis grâce à la cartographie des sols. CDROM. Journée d'étude du 28 février 2003 "La carte numérique des sols de Wallonie et ses applications". Beez.

LE VILLIO M., ARROUAYS D., DESLAIS W., DAROUSIN J., LE BISSONNAIS Y., CLERGEOT D. (2001). Estimation des quantités de matière organique exogène nécessaires pour restaurer et entretenir les sols limoneux français à un niveau organique donné. *Etude et Gestion des Sols*, 8, 1, 47-63.

LEGUEDOIS S. (2003). Mécanismes de l'érosion diffuse des sols. Modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés. Thèse de doctorat de l'Université d'Orléans, 156p.

LETTENS S., VAN ORSHOVEN J., VAN WESEMAEL B., PERRIN D., ROELANDT C. (2004). The inventory-based approach for prediction of SOC change following land use change. *B.A.S.E.*, 8, 2, 141-146.

MARECHAL R., TAVERNIER R. (1971). *Carte des Sols de la Belgique au 1:500.000*. Institut de Géologie. Gent.

MAROT J.M., VILLEMIN P., DUFEY J., QUEMENER J. (1984). Dynamique du potassium et propriétés pédologiques des terres agricoles du Luxembourg Belge. *Revue de l'Agriculture*, 6, 37, 1443-1467.

Norme AFNOR X31-100, *Echantillonnage : méthode de prélèvement d'échantillons de sol*. (norme publiée par l'AFNOR en décembre 1992).

Norme NF ISO 10694: 1995 "Qualité du sol - dosage du carbone organique et du carbone total après combustion sèche", Norme NF ISO 11261: 1995 "Qualité du sol - dosage de l'azote total méthode de Kjeldahl modifiée", Norme NF ISO 11466: 1995 "Qualité du sol extraction des éléments en traces solubles dans l'eau régale" In AFNOR (1999). *Qualité des sols*. Volume 1. AFNOR Paris, 566p.

SCHVARTZ C., WALTER C., CLAUDOT B., BOUEDO TH., AUROUSSEAU P. (1997). Synthèse nationale des analyses de terre réalisées entre 1990 et 1994. I. Constitution d'une banque de données cantonale. *Etude et Gestion des Sols*, 4, 3, 191-204.

VAN WESEMAEL B., LETTENS S., ROELANDT C., VAN ORSHOVEN J. (2004). Changes in soil carbon stocks from 1960 to 2000 in the Belgian cropland areas. *B.A.S.E.*, 8, 2, 133-139.

WALTER C., SCHVARTZ C., CLAUDOT B., BOUEDO TH., AUROUSSEAU P. (1997). Synthèse nationale des analyses de terre réalisées entre 1990 et 1994. II. Descriptions statistique et cartographique de la variabilité des horizons de surface des sols cultivés. *Etude et Gestion des Sols*, 4, 3, 205-220.

WARIN A., BERNAERT R., DELCARTE E., MAESSEN P., NAUD J., MARCOEN J.M. (2004). Projet de système harmonisé de surveillance de la qualité des terres agricoles en Région wallonne anticipant la future Directive européenne sur les sols. *B.A.S.E.*, 8, 2, 69-82.

WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. U.S.D.A, *Agricultural Handbook* nr 537, Science and Education Administration USDA, Washington DC, 58p.