

REQUACARTO, un portail cartographique d'aide à l'échantillonnage des sols agricoles

Renneson Malorie¹, Planchon Viviane², Genot Valérie³, Goffaux Marie-Julie⁴, Tuyls Julien^{2, 4} & Colinet Gilles¹

¹ Gembloux Agro-Bio Tech (ULg), département BIOSE, Axe Echanges Eau-Sol-Plante, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux (Belgique).

² Centre wallon de Recherches agronomiques, Unité Systèmes agraires, Territoire et Technologies de l'Information, Gembloux (Belgique).

³ Station provinciale d'analyses agricoles de Tinlot (Belgique).

⁴ ASBL REQUASUD, Rue de Liroux, 9, 5030 Gembloux (Belgique).

Contexte

Les analyses de terre sont un outil important dans l'évaluation des caractéristiques environnementales et agronomiques des parcelles agricoles, notamment en vue de l'élaboration d'un conseil de fumure personnalisé et raisonné. Dans le contexte actuel, il est primordial d'évaluer correctement des paramètres comme le taux de carbone des sols ou encore leur statut environnemental. Pour cela, les analyses de terre restent un des outils indispensables d'évaluation et d'aide à la décision.

En Wallonie (sud de la Belgique), différents laboratoires coexistent et se sont regroupés au sein d'un réseau appelé REQUASUD (*REseau QUALité SUD*). Ce réseau de laboratoires, financé par le Service Public de Wallonie, offre un service d'analyse et de conseil dans les secteurs agricoles et agro-alimentaires. Le réseau est organisé en différentes chaînes en fonction des matrices analysées (céréales, fourrages, aliments pour bétail, alimentation humaine, sols, engrais et composts...). La mission d'intérêt public de REQUASUD répond aux besoins en matière de gestion de la qualité et de l'environnement. Les principales actions du réseau concernent (i) l'assurance de la qualité de l'échantillonnage et de l'analyse au sein des laboratoires, (ii) l'harmonisation de l'interprétation des résultats et de la délivrance de conseil, (iii) l'établissement d'inventaires géographiques au niveau de la région (état de la fertilité des sols...) et la mise en évidence de tendances évolutives, (iv) le développement de nouveaux outils ou de nouvelles analyses.

En matière d'analyse de terre, les 5 laboratoires sont encadrés par l'Axe Echanges Eau-Sol-Plante (département BIOSE) de Gembloux Agro-Bio Tech (ULg). Les missions de celui-ci visent notamment à garantir la qualité de l'échantillonnage, de l'analyse et de l'interprétation. Pour atteindre ces objectifs en matière de qualité, REQUASUD organise des formations dans les laboratoires ainsi que des essais interlaboratoires. De plus, il met à disposition des laboratoires des matériaux de référence ou organise des groupes de travail en vue d'harmoniser le conseil de fumure. De plus, un outil original d'aide à l'échantillonnage pour les différents laboratoires du réseau a été créé : le portail cartographique REQUACARTO.

Problématique de l'échantillonnage

Pour qu'une analyse de terre donne des résultats pertinents, il est primordial que l'échantillonnage soit représentatif de la parcelle. En effet, l'échantillonnage est une étape clé de la chaîne d'opérations menant au conseil de fumure dont la part d'incertitude sur le résultat final est généralement sous-estimée (Figure 1). Il importe donc d'apporter une attention particulière à cette étape et à la collecte des informations issues de l'échantillonnage.

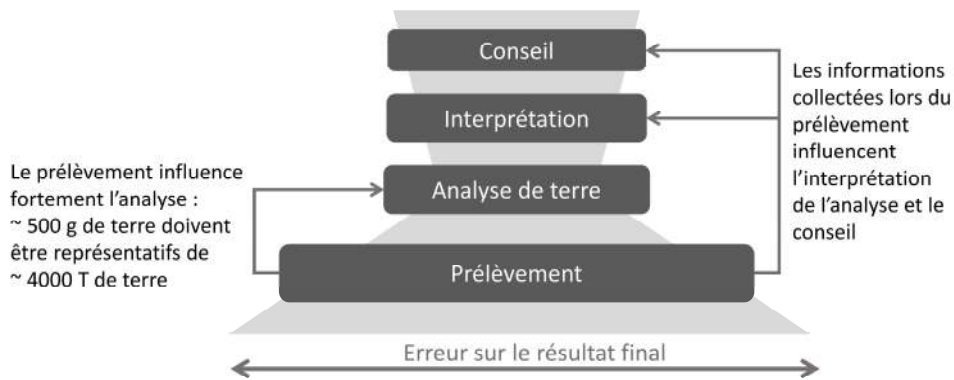


Figure 1 - Etapes pour passer de l'échantillon de terre au conseil de fumure avec la part d'erreur sur le résultat final de chaque étape (adapté de Diab-Sas, 1991).

Certaines règles sont à respecter pour un échantillonnage correct des sols. Les normes ISO 10381-1 (2002), ISO 10381-2 (2002), ISO 10381-4 (2003), ISO 18400 (en projet) et le guide X 31-100 (1992) dictent les principales directives en matière d'échantillonnage des terres agricoles. Ils définissent notamment le matériel à utiliser pour le prélèvement, la manière de définir les zones de prélèvement, l'époque du prélèvement, la profondeur ou le nombre de prélèvements élémentaires à réaliser.

Les différentes normes sur l'échantillonnage précisent que celui-ci doit être effectué au sein d'une zone de prélèvement homogène. Les critères de définition de ces zones homogènes sont tant la culture en place ou l'état végétatif de celle-ci, le précédent cultural, le relief ou l'historique de la parcelle que les critères pédologiques (texture, drainage, profondeur...). Un échantillon doit donc être prélevé sur un sol homogène. Or, sur le terrain, la principale difficulté pour l'échantillonneur réside dans la reconnaissance des critères pédologiques qui sont pourtant primordiaux pour l'évaluation du conseil de fumure, surtout en Wallonie où la variabilité des sols est importante. C'est pourquoi REQUASUD a développé un portail cartographique d'aide à la réalisation d'un échantillonnage de qualité qui fournit aux laboratoires les zones de prélèvement présentes dans une parcelle agricole.

Le logiciel REQUACARTO

Principe du logiciel

La Wallonie dispose d'une carte numérique des sols très détaillée qui permet d'appréhender la variabilité pédologique au sein d'une parcelle. Cette carte a été réalisée à l'échelle 1/20 000 sur base de sondages réalisés sur tout le territoire de la Région wallonne selon une maille carrée de 75 m (Bah *et al.*, 2005 ; Legrain *et al.*, 2011). Or, il s'avère que peu de personnes sont capables de maîtriser l'interprétation des sigles pédologiques en unités fonctionnelles de sols. Pourtant, la carte numérique des sols de Wallonie contient une mine d'informations potentiellement utiles pour les échantillonneurs et le conseil de fumure. En partant du constat que les laboratoires et les agriculteurs n'utilisaient pas ou trop peu les informations issues de la carte numérique des sols de Wallonie, il a été décidé de développer le portail cartographique REQUACARTO (Figure 2). Ce logiciel a été développé en collaboration avec le Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W), Gembloux Agro-Bio Tech (Université de Liège) et l'ASBL REQUASUD.



Figure 2 - Page d'accueil du portail cartographique REQUACARTO.

L'objectif principal du logiciel est de repérer au sein d'une parcelle agricole les types de sol présents et de définir des zones de prélèvement (Figure 3). La parcelle peut être définie, soit à l'aide du SIGEC (Système Intégré de Gestion et de Contrôle) qui reprend le parcellaire agricole de 2007 déclaré pour les exploitants pour l'obtention des primes PAC, soit digitalisée par l'opérateur sur les orthophotoplans de la Région wallonne. L'outil de digitalisation des parcelles a été développé pour faire face à l'évolution constante du parcellaire agricole.

Les sigles pédologiques de la carte numérique des sols de Wallonie sont ensuite regroupés en zones de prélèvement pouvant engendrer des différences de valeurs des propriétés physico-chimiques des sols (Figure 3). A chaque changement significatif d'un des paramètres (texture, drainage, nature et quantité de la charge caillouteuse, profondeur d'apparition du substrat...), une nouvelle zone de prélèvement est définie. Lorsque les différences sont minimales, les séries de sol sont regroupées. Si deux zones de prélèvement sont identifiées sur la parcelle, cela signifie que deux conseils doivent être délivrés, soit sur base d'une analyse différente, soit sur base d'un critère d'interprétation différent (CEC, texture, charge caillouteuse...). Chaque zone de prélèvement ainsi que chaque parcelle agricole identifiée reçoit un géo-identifiant unique qui servira par la suite à relier une analyse à ses caractéristiques géographiques.

Pour éviter de prélever dans des zones homogènes de trop petite taille, nous avons pris le parti de ne pas représenter les zones de prélèvement d'une superficie inférieure à 5% de la superficie totale de la parcelle. De même, les zones non cartographiées ou remaniées au niveau de la carte numérique des sols ne sont pas reprises dans les zones de prélèvement.

Actuellement, plus de 70 personnes utilisent couramment voire quotidiennement REQUACARTO. Elles disposent d'un nombre de parcelles variables allant de 1 à 3658 par personne. Certains laboratoires du réseau ont déjà identifiés près de 10 000 parcelles, chacune à la base d'un conseil de fertilité intégrant la variabilité des sols présents.

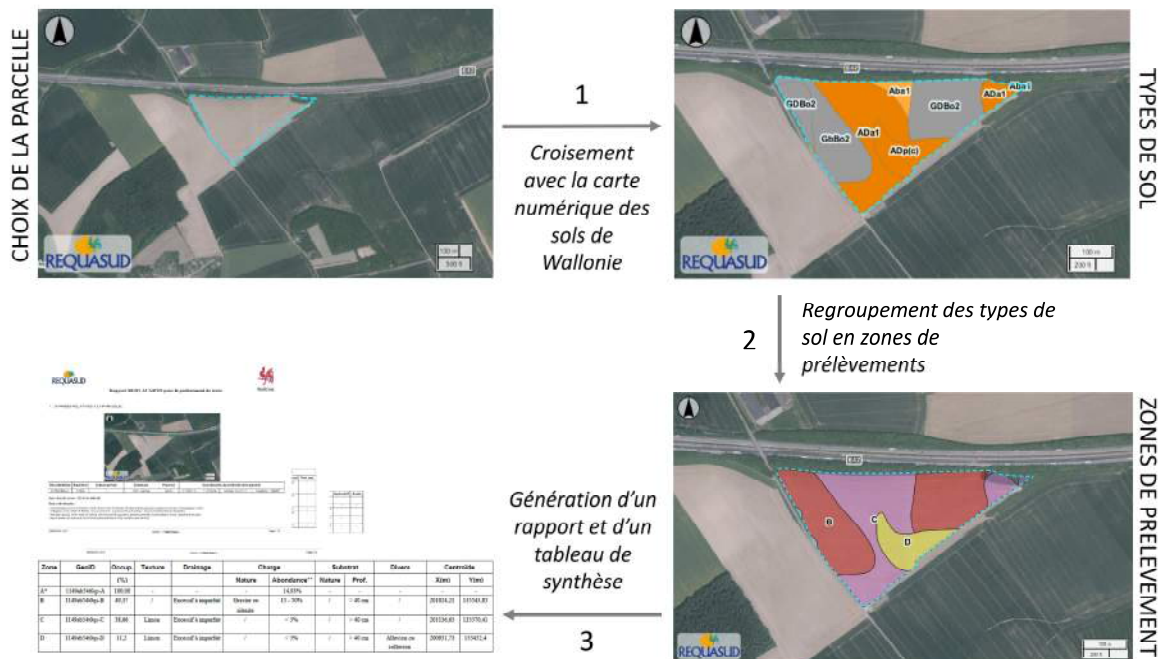


Figure 3 - Etapes de la définition des zones de prélèvement dans une parcelle agricole.

Informations fournies par le logiciel

Une fois une parcelle délimitée et les zones de prélèvements définies, un rapport pour le prélèvement de terre est généré en pdf (Figure 4). Il comprend 3 feuilles :

- la première feuille reprend les informations géographiques relatives à la parcelle telles que la superficie de la parcelle, la commune, les coordonnées du centroïde de la parcelle ou la localisation ou non de la parcelle en zone vulnérable dans le cadre du contrôle de l'azote potentiellement lixiviable ;
- la deuxième feuille reprend la carte des types de sol présents sur la parcelle ainsi qu'un tableau détaillant les caractéristiques des différents types de sol (texture, charge, profondeur d'apparition du substrat, drainage...) et la proportion de chacun ;
- la troisième feuille correspond à la carte des zones de prélèvement et à un tableau détaillant les caractéristiques de ces zones. Il s'agit des informations utiles au conseil de fumure. La charge caillouteuse moyenne sur toute la parcelle est notamment fournie pour le conseil de fumure azoté.

Ce rapport est à la fois destiné à l'échantillonneur pour réaliser son prélèvement, à l'agronome qui réalise le conseil de fumure mais également à l'agriculteur qui veut connaître la variabilité des sols de sa parcelle et l'intégrer dans la gestion de ses intrants.



Figure 4 - Exemple de rapport pour le prélèvement de terre fourni par le logiciel REQUACARTO.

Outre le rapport de prélèvement, une carte agrandie est générée et peut être imprimée par l'échantillonneur pour se rendre sur le terrain (Figure 5). Elle reprend les zones de prélèvement définies sur la parcelle. Le niveau de zoom de la carte peut être choisi par l'échantillonneur afin de pouvoir s'y retrouver dans l'environnement et de repérer l'accès à la parcelle, notamment via l'indication des noms de rue aux alentours.



Figure 5 - Exemple d'une carte agrandie reprenant les zones de prélèvement présentes dans la parcelle.

Le logiciel a été construit de manière à ce que le téléchargement des informations nécessaires aux laboratoires (tableau des caractéristiques de zones de prélèvement, cartes...) puisse être facilement réalisé depuis le système informatique propre au laboratoire. Ainsi, par exemple, un des laboratoires fournit systématiquement à l'agriculteur, via le bulletin d'analyse, la carte et la caractérisation des zones de prélèvement de sa parcelle et la localisation des différents prélèvements.

Intérêt du logiciel

Utilisé en routine dans les laboratoires du réseau REQUASUD, ce logiciel présente plusieurs intérêts:

- il fournit l'information pédologique de la parcelle, auparavant négligée ;

- il définit des zones de prélèvement homogènes utiles aux échantillonneurs ;
- il fournit des informations utiles au diagnostic agronomique et au conseil de fumure telles que la texture, la charge caillouteuse, le taux d'argile ou la profondeur de sol ;
- il génère des cartes directement utilisables sur le terrain par les échantillonneurs ;
- il permet aux laboratoires de répondre aux préconisations des normes en matière d'échantillonnage de terre ;
- il assure un suivi dans le temps de la fertilité des sols avec l'assurance d'un retour dans la même zone de prélèvement au fil des années ;
- l'échantillonnage par zone de prélèvement augmente la qualité du prélèvement en diminuant sa variabilité (Tableau 1) ;
- les demandes d'analyse de terre par les agriculteurs peuvent se faire directement via le logiciel (disponible sur internet) ;
- ces informations permettent également d'améliorer la qualité de la base de données d'analyse de terre de REQUASUD en reliant une analyse à un type de sol spécifique et une localisation précise. Ces informations, généralement non fournies par les laboratoires, sont pourtant essentielles à l'établissement de l'état de fertilité des sols en Wallonie (Genot *et al.*, 2011 et 2012).

Toutes ces informations permettent de réaliser un conseil de fumure raisonné et personnalisé dans le cadre des analyses de routine. C'est pourquoi l'échantillonneur préconisera à l'agriculteur de ne pas couvrir plusieurs zones de prélèvement avec un seul échantillon ; ce qui risquerait de conduire à un conseil de fumure ne correspondant à aucune situation réelle sur la parcelle. Cependant, la décision appartient à l'agriculteur. Il peut demander une analyse par zone de prélèvement afin d'adapter par la suite la fertilisation si nécessaire. Lorsque le nombre de zones de prélèvement est important, il est souvent conseillé de prélever uniquement dans les zones principales. Cependant, l'objectif est que les décisions de l'agriculteur soient prises en connaissance de cause. C'est pourquoi, en connaissant la variabilité de sa parcelle, l'agriculteur pourra décider d'utiliser un conseil de fumure moyen pondéré en fonction de la taille des zones de prélèvement, de privilégier une zone ou encore d'éviter certaines zones.

Tableau 1 - Ecart-type de répétabilité et répétabilité relative obtenue sur base de deux prélèvements indépendants réalisés sur 10 parcelles et sur les zones de prélèvement associées (Van Keerberghen, 2010).

	sr	r%	sr	r%
pHKCl	0.09	3.8 %	0.05	1.8 %
COT (%)	0.07	17.1 %	0.04	9.0 %
CEC (cmol+ kg ⁻¹)	0.41	8.3 %	0.22	4.8 %
P* (mg 100g ⁻¹)	1.02	30.4 %	0.31	9.5 %
K* (mg 100g ⁻¹)	1.56	19.0 %	0.70	8.7 %
Mg* (mg 100g ⁻¹)	0.9	19.0 %	0.28	6.2 %
Ca* (mg 100g ⁻¹)	12.9	16.0 %	6.29	7.7 %

* Extraits à l'acétate d'ammonium et à l'EDTA à pH 4,65 selon Lakanen & Erviö (1971)

Etude d'un cas pratique

Différentes études ont été réalisées pour mieux comprendre l'intérêt pratique du logiciel REQUACARTO (Van Keerberghen, 2010 et Pinckaers, 2012). Van Keerberghen (2010) a montré que dans des zones avec une faible variabilité au sein de la parcelle, l'échantillonnage sur l'entièreté de la parcelle donnait des résultats comparables à la somme des résultats des zones de prélèvement. Par

contre, dans des régions avec des types de sols plus contrastés, plus de la moitié des parcelles présentent des différences significatives de fertilité entre un échantillonnage sur toute la parcelle ou un échantillonnage en zones de prélèvements (Pinckaers, 2012). De plus, dans tous les cas, on observe au minimum une différence significative entre la parcelle totale et une des zones de prélèvement. Cela peut justifier l'intérêt d'avoir recours à un échantillonnage par zone de prélèvement. Enfin, Pinckaers (2012) a montré que pour les différentes parcelles étudiées, il y a un intérêt financier pour l'agriculteur à pratiquer un échantillonnage en zone de prélèvement pour les engrais phosphatés et magnésiens.

L'intérêt d'échantillonner sur base des zones de prélèvement repose donc dans la prise en compte de la variabilité intraparcellaire qui peut être importante au sein des parcelles agricoles. De nombreux exemples pratiques permettent d'illustrer cette variabilité entre les zones de prélèvement. Celle-ci peut être due à des différences de type de sol mais également à des différences de pratique agricole ou d'historique.

Prenons tout d'abord comme exemple un verger dont l'historique diffère en fonction de la zone de la parcelle. La moitié Est de la parcelle (Aba(b)) était auparavant cultivée et n'a été plantée que depuis quelques années au contraire de la partie Ouest (GbBr4 et Gbbr2) qui est un verger depuis de nombreuses années. L'observation des types de sol présents sur la parcelle explique ces deux historiques d'occupation ; la partie ouest étant difficilement cultivable car caractérisée par un sol très caillouteux et peu profond. Les analyses réalisées au sein de ces 2 zones s'avèrent assez différentes et illustrent l'importance de considérer l'historique de l'occupation du sol qui, lui-même, peut-être lié au type de sol. Cela peut en effet modifier fortement le conseil de fumure qui en découle.

Tableau 2 - Résultats analytiques de deux zones de prélèvement au sein d'un verger. Les éléments disponibles sont extraits à l'acétate d'ammonium et à l'EDTA à pH 4,65 selon Lakanen & Erviö (1971).

	pHKCl	COT	CEC	P	K	Mg	Ca	Unité P-K
		%	cmol*kg ⁻¹	mg/100g				
GbBr4	6.3	3	15.6	9	33	13	280	0-0
Aba(b)	6.2	1.7	10.3	5	17	10	189	175-0

Dans certains cas, les résultats analytiques peuvent être relativement similaires entre les différentes zones de prélèvement. Cependant, le conseil peut différer. Si on prend le cas d'une parcelle près de Soignies (Province du Hainaut), les teneurs en éléments disponibles entre la zone limoneuse (Ada) et la zone plus argileuse (EDxy) sont relativement peu différentes (Tableau 3). Par contre, les types de sol contrastés engendrent des caractéristiques explicatives très différentes, ce qui peut engendrer des conseils de fumure très différents. Même si les teneurs en phosphore et potassium sont sensiblement semblables, leur interprétation basée respectivement sur le taux d'argile et sur la CEC seront différentes selon le type de sol et son caractère limoneux ou argileux.

Tableau 3 - Résultats analytiques de deux zones de prélèvement au sein d'une même parcelle agricole. Les éléments disponibles sont extraits à l'acétate d'ammonium et à l'EDTA à pH 4,65 selon Lakanen & Erviö (1971).

Type de sol	pHKCl	COT	Argile	CEC	P	K	Mg
		%	%	cmol* kg ⁻¹	mg 100g ⁻¹	mg 100g ⁻¹	mg 100g ⁻¹
Ada	6.2	1.2	12.6	9.6	6	20	17
EDxy	6.3	1.2	24.7	17.9	5	22	33

Développements en cours

En perpétuelle évolution en fonction des besoins des laboratoires et des agriculteurs, ce logiciel permettra à l'avenir d'exporter directement les zones de prélèvement vers les GPS ou encore de demander la liste des impétrants présents dans la parcelle. De nouvelles informations seront également fournies aux laboratoires pour le conseil de fumure telles que la classe d'aptitude ou le taux d'argile de la zone. L'objectif du logiciel est de s'adapter continuellement aux questions d'actualité et aux besoins des utilisateurs. Ces utilisations servent à la fois aux laboratoires et aux agriculteurs qui développent l'agriculture de précision par exemple.

Mais les laboratoires ne sont pas les seuls intéressés par REQUACARTO. De nombreux scientifiques (centres de recherche, universités, conseillers agricoles...) utilisent actuellement le portail cartographique dans le cadre de leurs recherches.

Conclusions et perspectives

Dans le but de raisonner la fertilisation, il est primordial de disposer du maximum d'informations sur les parcelles agricoles. Pour ce faire, l'échantillonnage de sol doit être réalisé au sein de zones de prélèvement homogènes afin de prendre en compte la variabilité intraparcellaire qui peut être très importante dans certaines régions. Avec un conseil de fumure sur l'entièreté de la parcelle, on néglige le fait que la parcelle n'est pas forcément homogène. En effet, le conseil de fumure manque de précision pour les zones plus hétérogènes et les rendements ne sont donc pas ceux attendus, ce qui peut générer un coût financier (engrais) et environnemental.

Cependant, il est difficile de réaliser un échantillonnage correct sans outil d'aide à la décision. C'est pourquoi le logiciel cartographique REQUACARTO a été développé et mis en fonction en 2009. Il permet aux laboratoires d'analyse de sol de disposer d'une carte de la diversité des sols présents dans la parcelle ainsi que d'une carte des zones de prélèvement au sein de celle-ci. Le portail fournit toute une série d'informations utiles au conseil de fumure telles que la texture, le drainage, la profondeur du sol ou la charge caillouteuse. A l'avenir, d'autres informations comme la classe d'aptitude ou le taux d'argile seront disponibles. De même la carte des zones de prélèvement pourra être téléchargée sur les GPS pour être utilisée sur le terrain par le préleveur ou l'agriculteur. Ce logiciel est actuellement utilisé en routine par les différents laboratoires provinciaux mais également par de nombreux scientifiques.

Nous sommes bien conscients que la décision finale appartient à l'agriculteur qui seul peut décider du nombre de prélèvements à réaliser sur sa parcelle et de leur localisation. Néanmoins, il appartient aux laboratoires et aux échantillonneurs de lui expliquer l'importance d'un prélèvement par zone morpho-pédologiquement homogène tant en matière de précision dans l'échantillonnage qu'au niveau du conseil de fumure.

Par ailleurs, ce logiciel répond aux différentes normes existantes en matière d'échantillonnage des terres mais également aux agréments spécifiques. Il est notamment rentré dans la législation relative à la détermination de l'azote potentiellement lixiviable des parcelles à contrôler dans le cadre du programme de gestion durable de l'azote pour l'évaluation de la charge caillouteuse.

Références bibliographiques

AFNOR. 1992. *Qualité des sols. Echantillonnage. Méthode de prélèvement d'échantillons de sol*. X 31-100. Paris : Association Française de Normalisation.

Bah et al. 2007. *Légende de la Carte Numérique des Sols de Wallonie – version 2. Convention Région Wallonne (DGA, MRW)*. Gembloux, Belgique : Unité Sol-écologie-territoire, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.

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

Genot V., Buffet D., Legrain X., Goffaux M.J., Cugnion T., Oger R., Bock L. & Colinet G. 2011. Pour un échantillonnage et un conseil agronomique raisonné, les outils d'aide à la décision. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. **15**(S2), 657-668.

Genot V. et al. 2012. *Base de données sols de REQUASUD*. 3^{ème} synthèse, 35p.

ISO 10381-1, 2002. *Qualité du sol. Échantillonnage. Partie 1 : lignes directrices pour l'établissement des programmes d'échantillonnage*. Genève, Suisse : International Organization for Standardization.

ISO 10381-2, 2002. *Qualité du sol. Échantillonnage. Partie 2 : lignes directrices pour les techniques d'échantillonnage*. Genève, Suisse : International Organization for Standardization.

ISO 10381-4, 2003. *Qualité du sol. Échantillonnage. Partie 4 : lignes directrices pour les procédures d'investigation des sites naturels, quasi naturels et cultivés*. Genève, Suisse : International Organization for Standardization.

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

Legrain et al. 2011. Cartographie des sols en Belgique : aperçu historique et présentation des travaux actuels de valorisation et de révision de la Carte Numérique des Sols de Wallonie. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. **15**(S2), 647-656.

Pinckaers P. 2012. Validation de la stratégie de regroupement des sigles pédologiques en zones de prélèvement au sein d'une parcelle agricole en vue d'améliorer le conseil de fumure. Travail de fin d'études. 73p.

Van Keerberghen J. 2010. L'outil d'aide à l'échantillonnage « REQUACARTO » a-t-il un intérêt technique et agronomique en Brabant wallon et est-il utilisable en routine par le CPAR de La Hulpe ?. Travail de fin d'études. 93p.