

Pour un échantillonnage et un conseil agronomique raisonné, les outils d'aide à la décision

Valérie Genot ⁽¹⁾, Dominique Buffet ⁽²⁾, Xavier Legrain ⁽¹⁾, Marie-Julie Goffaux ⁽³⁾, Thibaut Cugnon ⁽³⁾, Robert Oger ⁽²⁾, Laurent Bock ⁽¹⁾, Gilles Colinet ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Univ. Liège - Gembloux Agro-Bio Tech. Unité de Science du Sol. Département Sciences et Technologie de l'Environnement. Passage des Déportés, 2. B-5030 Gembloux (Belgique). E-mail : vgenot@ulg.ac.be

⁽²⁾ Centre wallon de Recherches agronomiques. Département Agriculture et Milieu naturel. Unité Systèmes agraires, Territoire et Technologies de l'information. Rue de Liroux, 9. B-5030 Gembloux (Belgique).

⁽³⁾ ASBL REQUASUD. Bâtiment Léon Lacroix. Rue de Liroux, 9. B-5030 Gembloux (Belgique).

À l'heure où les questions environnementales et agronomiques imposent à l'agriculteur une gestion toujours plus précise de ses intrants agricoles, l'analyse de terre reste un des outils indispensables d'aide à la décision. Cependant, pour qu'une analyse de terre donne des renseignements valables, il est primordial que l'échantillon soit représentatif de la parcelle étudiée. Sans cette représentativité, un résultat analytique, aussi précis soit-il, perdrait de son sens et pourrait induire l'agriculteur en erreur. 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 (Belgique) où la variabilité des sols est très importante. Disposant de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (CNSW), levée à l'échelle du 1/5000, il paraissait opportun de mettre cette mine d'information à la disposition des échantillonneurs, sous une forme facilement et directement utilisable dans le cadre d'un travail de routine. C'est ainsi qu'un portail cartographique, REQUACARTO, a été conçu pour une utilisation par les laboratoires provinciaux d'analyses de terre, membres de l'ASBL REQUASUD. Cet outil répond à un réel besoin en Wallonie : la réalisation d'un échantillonnage de qualité permettant l'élaboration de conseils de fertilisation personnalisés.

Mots-clés. Système d'aide à la décision, échantillonnage de sol, fertilité du sol, système d'information géographique, Belgique.

To a sampling and personal fertility advice, the tools for decision support. Environmental and agronomic issues require always more well thought and suited farmer management of agricultural inputs; soil analysis is therefore an essential tool to support decision. However, for a soil analysis to provide valuable information, it is essential for the sample to be representative of the studied field. Without this representativeness, an analytical result, as accurate as it could be, would not be of interest if it could mislead the farmer. In practice, the main difficulty for the sampler is the recognition of soil criteria which are essential to provide a fertility advice, especially in Wallonia (Belgium) where soil variability is very important. With the Digital Soil Map of Wallonia (DSMW), drawn at the scale 1/5,000, it seems appropriate to give these information to the samplers in a useful form for routine works. That is why a mapping tool for decision support, named REQUACARTO, was designed to be used for soil analysis by provincial laboratories, members of the REQUASUD laboratories network. This tool responds to a real requirement in Wallonia: achieving a quality sampling for the development of personalized soil fertility advice.

Keywords. Decision support systems, soil sampling, soil fertility, geographic information system, Belgium.

1. CONTEXTE

À l'heure où les questions agronomiques, environnementales et économiques imposent à l'agriculteur une gestion parcimonieuse de ses intrants agricoles, le besoin d'une meilleure connaissance de ses terres, de leur potentiel mais également de leur sensibilité, s'impose. Parmi les outils d'aide à la décision dont il dispose, l'analyse de terre occupe une place privilégiée. Elle s'inscrit dans un processus dont

tous les maillons doivent être maîtrisés de manière à aboutir à un diagnostic agronomique et un conseil de fumure adaptés à la parcelle agricole. En Wallonie (Belgique méridionale), le Réseau Qualité Sud (REQUASUD – www.requasud.be) gère un réseau de laboratoires offrant un service d'analyse et de conseil pour répondre aux besoins des acteurs des secteurs agricole et agro-alimentaire. Sa mission d'intérêt public répond à la mise en place et à l'évolution des politiques relatives à la gestion de la qualité des

produits et de l'environnement. Les laboratoires sont structurés en chaînes d'analyse selon les thématiques abordées ; chaque chaîne étant encadrée par un laboratoire émanant d'une institution scientifique. De plus, une cellule de coordination assure le relais d'informations, la planification et l'organisation des activités entre ces différentes chaînes. Les analyses couvertes par le réseau concernent les céréales, les fourrages, les aliments composés (bétail), les fruits et légumes, l'alimentation humaine, les produits laitiers, les sols, les engrais, les composts, etc. Leurs résultats sont enregistrés dans une base de données centralisée ; chaque année, les résultats d'analyses d'environ 50 000 nouveaux échantillons y sont encodés, dont approximativement 20 000 échantillons de terre. Initiée en 1994, cette base de données rassemble actuellement les résultats d'analyses de plus de 300 000 échantillons de terre. Ses principales applications sont :

- le bilan de chaque année culturale (qualité des frottements, des fourrages, etc.),
- la détermination des valeurs de référence ou de conformité pour l'interprétation des résultats et la délivrance de conseils,
- l'établissement d'inventaires géographiques au niveau de la région (état de fertilité des terres, etc.),
- la mise en évidence de tendances dans la qualité des produits ou les caractéristiques du milieu.

Les laboratoires d'analyses de terre constituent la chaîne Minérale-Sols de REQUASUD qui est encadrée par l'Unité de Science du Sol de Gembloux Agro-Bio Tech (Université de Liège). Les missions de cette chaîne visent à garantir un service en matière d'échantillonnage, d'analyse et d'interprétation en vue d'une fertilisation appropriée des terres. Tout d'abord, la qualité de l'échantillonnage repose sur des procédures écrites, des formations régulières au sein des laboratoires et un travail de recherche en vue de développer un portail cartographique d'aide à la réalisation d'un échantillonnage de qualité. La problématique de la représentativité de l'échantillon, mais aussi la collecte d'informations utiles à l'interprétation du résultat des analyses sont au cœur de cette recherche. En effet, pour qu'une analyse de terre donne des renseignements valables, il est primordial que l'échantillon soit représentatif de la parcelle étudiée. Dans le cas contraire, un résultat de laboratoire, aussi précis soit-il, perd de son sens et peut induire l'agriculteur en erreur. Une carte des sols détaillée peut aider à asseoir la représentativité de l'échantillonnage. Ensuite, la qualité des analyses est assurée par :

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

Enfin, la chaîne Minérale-Sols travaille depuis de nombreuses années au développement d'un protocole commun d'interprétation des analyses de terre de manière à poser un diagnostic au plus près de la réalité terrain. Dans ce cadre, un travail de recherche est initié sur les potentialités de la spectroscopie proche infrarouge pour déterminer des paramètres utiles au conseil de fumure et qui ne font pas partie du menu d'analyses en routine actuellement. Les laboratoires sont ainsi en mesure de déterminer la CEC et le taux d'argile des échantillons de terre avec une précision suffisante dans le cadre de l'élaboration du conseil de fumure (Genot et al., 2011). En outre, un schéma d'interprétation et des normes communes existent au sein du réseau. Les conseils à la parcelle donnés par les laboratoires y intègrent des spécificités propres à chaque terroir (Genot et al., 2009).

2. DE L'ÉCHANTILLONNAGE AU CONSEIL DE FUMURE

Dans le processus menant de l'analyse de terre au conseil de fumure, chaque maillon introduit un degré d'imprécision à minimiser (**Figure 1**). L'échantillonnage est une étape clé de cette chaîne d'opération dont la part d'incertitude sur le résultat final est généralement sous-estimée car difficilement appréciable, au contraire d'un résultat de laboratoire. Il importe donc d'apporter une attention toute particulière à cette étape et de mettre tout en œuvre pour diminuer l'imprécision qui peut y être liée.

Les informations morphopédologiques et d'occupation liées au site d'échantillonnage doivent également être connues avec une précision suffisante pour pouvoir fournir un conseil de fumure pertinent. Elles contribuent à la bonne exécution des deux derniers maillons de ce processus.

Les normes ISO 10381-1 (2002), ISO 10381-2 (2002) et ISO 10381-4 (2003) ainsi que le guide NF X 31-100 (AFNOR, 1992) dictent notamment les principales directives en matière d'échantillonnage des terres agricoles. Les principales préconisations concernent le matériel de prélèvement, l'époque de prélèvement, la définition de la zone de prélèvement sur la parcelle à échantillonner, l'identification de cette zone de prélèvement, la profondeur, l'exécution et le nombre de prélèvements élémentaires à effectuer. La délimitation de la zone de prélèvement est l'opération la plus délicate de ce processus. En effet, l'échantillonneur doit être en mesure de définir sur la parcelle des zones :

- de même culture et dans le même état végétatif,
- de même précédent cultural,
- caractérisées par un relief homogène et par un sol homogène,

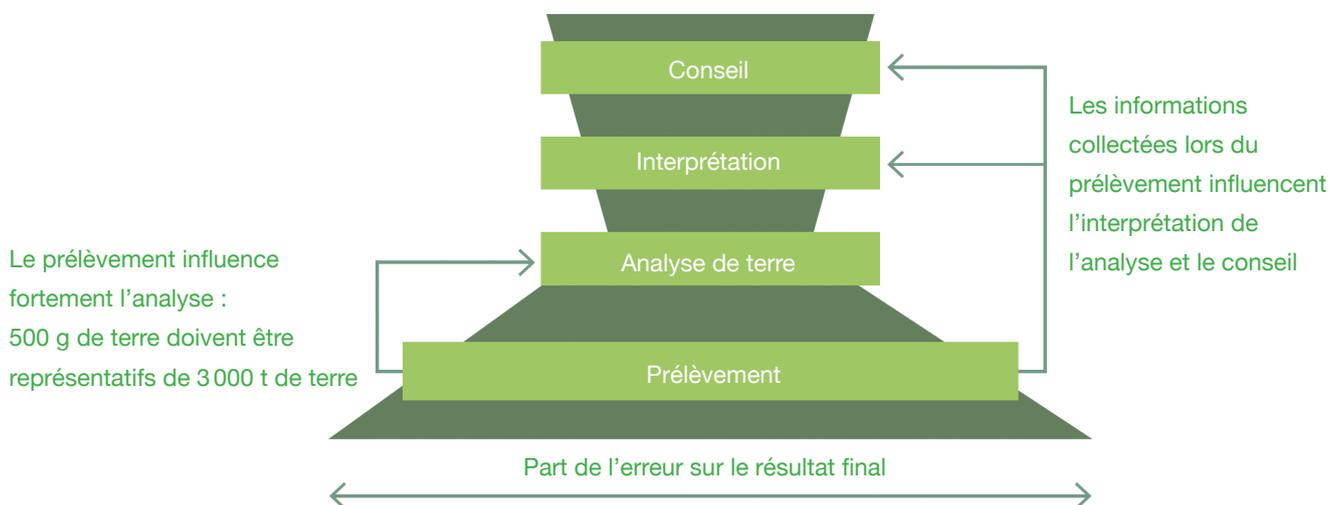


Figure 1. Du prélèvement d'un échantillon au conseil de fumure, la chaîne d'analyse comporte quatre maillons principaux (adapté de Diab-Sas, 1991 ; Roebroek, 2009) — *From the sampling to the fertility advice, the analysis chain counts four major steps (adapted from Diab-Sas, 1991; Roebroek, 2009).*

tout cela s'inscrivant dans le cadre d'un travail de routine.

En accord avec le plaidoyer de Bock (1994), l'exemple présenté à la **figure 2** et au **tableau 1** illustre l'importance de considérer la nature du sol dans la stratégie d'échantillonnage et donc l'intérêt de disposer d'une carte des sols à une échelle adaptée à un travail à la parcelle. La parcelle analysée ici avait, par ailleurs, servi de référence à une étude sur la variabilité spatiale des teneurs en éléments traces métalliques (Bock et al., 2002), convergence qui montre le souci d'une évaluation à caractère agro-environnemental. Les conseils de fertilisation en potassium s'échelonnent



Figure 2. Zones de prélèvement identifiées sur une parcelle agricole de 10 ha située à Falmignoul (Condruz, Belgique) et localisation des échantillons réalisés — *Sampling area identified in the 10 ha field located in Falmignoul (Condruz, Belgium) and sampling localisation.*

Légende des pictogrammes : voir **tableau 1** — *Legend of the pictograms: see **table 1**.*

de 95 à 160 unités K, alors que pour le phosphore, de 0 à 60 unités P sont préconisées selon le type de sol. Réaliser un seul échantillon pour l'ensemble de la parcelle, sans tenir compte de la nature du sol, risque de conduire à la proposition d'un conseil ne correspondant à aucune situation réelle rencontrée, c'est pourquoi la définition de zones de prélèvement homogènes est une étape essentielle. Bien entendu, l'agriculteur reste seul maître à bord et peut, sur base de cette information, adapter sa fertilisation comme il le souhaite, mais il le fera en connaissance de cause.

En vue de réaliser des conseils de fertilisation différenciés selon les propriétés des sols, il est important d'une part, de collecter l'information géographique (coordonnées X-Y) de la zone de prélèvement et, d'autre part, d'enregistrer l'information morphopédologique liée à cette dernière. En effet, à l'heure actuelle, le diagnostic agronomique se base sur la comparaison du résultat de laboratoire à des normes édictées pour l'ensemble de la région wallonne indépendamment des spécificités sous-régionales (Genot et al., 2009). L'encodage dans une base de données de l'information géographique et thématique [code pédologique au sens des Principaux Types de Sol – Carte des Principaux Types de Sols à l'échelle du 1/250 000 (Bock et al., 2006), occupation du sol, etc.] couplée aux résultats des analyses (enregistrées dans la base de données Terre de REQUASUD) permettrait la constitution de référentiels mieux ciblés. Enfin, une fois le diagnostic agronomique élaboré, sachant que l'analyse de terre ne porte que sur des échantillons composites de la couche arable, l'agronome, s'il veut prodiguer un conseil personnalisé, doit pouvoir moduler ce diagnostic en y intégrant les caractéristiques morphologiques et physiques du sol.

Tableau 1. Caractéristiques analytiques des échantillons prélevés sur la parcelle agricole de 10 ha située à Falmignoul (Condroz, Belgique) et conseils de fertilisation associés — *Analytical characteristics of the samples collected in the 10 ha field located in Falmignoul (Condroz, Belgium) and associated fertility advices.*

	pH KCl ^a	P disp (mg·100 g ⁻¹) ^b	K disp (mg·100 g ⁻¹) ^b	CEC (cmol(+).kg ⁻¹)	Fumure redressement p – K (unité P – K)
Aba ☒ Cutanic Luvisol (Siltic) ^c ▲	6,47 6,51	9,6 9,9	36,2 29,0	14,0	15-130
A-Gbp1 ☒ Colluvic Regosol localement faiblement caillouteux ^c ★	6,68 6,44	12,0 11,6	32,2 32,0	9,5	0-95
Gbx4 ☒ Cambisol (Episkeletic, Clayic) ^c ●	7,16 7,12	4,7 5,1	29,6 31,0	20,0	60-160

^a Méthode ISO 10390 (2005) — *ISO 10390 (2005) method* ; ^b Méthode à l'acétate d'ammonium 0,5 N + EDTA à pH 4,65 — *Ammonium acetate method 0.5 N + EDTA pH 4.65* (Lakanen et al., 1971) ; ^c Sigles pédologiques, au niveau de la série, extraits de la Carte Numérique des Sols de Wallonie. Le sigle WRB correspond à un essai de correspondance avec le sigle de la légende de la Carte des Sols de la Belgique à 1/20000 et de son produit numérisé — *Pedological series from the Digital Soil Map of Wallonia. The WRB code is a trial of correspondence with the series of the Soil Map of Belgium to 1:20,000 and their digital product.*

3. UN PORTAIL CARTOGRAPHIQUE POUR UN ÉCHANTILLONNAGE ET UN CONSEIL PERSONNALISÉS

La délivrance d'un conseil adapté implique la bonne exécution de chacun des maillons du processus allant de l'échantillonnage au conseil. Mais, pour que l'échantillonneur et l'agronome soient en mesure de collecter l'ensemble de ces données, il importe qu'ils disposent d'un outil approprié. Suite à ce constat, la chaîne Minérale-Sols de REQUASUD a développé un portail cartographique (<http://requacarto.cra.wallonie.be>) permettant :

- à l'échantillonneur de répondre aux préconisations des normes de prélèvement, de réaliser un échantillonnage de qualité et de collecter l'information utile à la réalisation d'un conseil de fumure pertinent,
- à l'agronome de disposer de toutes les données liées aux différentes zones de prélèvement à considérer pour le diagnostic et le conseil.

3.1. Les données cartographiques et alphanumériques de référence

Le fond de carte utilisé correspond aux orthophotoplans, qui sont régulièrement actualisés en Wallonie. La couche de référence du parcellaire agricole est initialement issue du SIGEC (Système Intégré de Gestion et de Contrôle). Dorénavant, l'utilisateur a la possibilité de dessiner le contour d'une parcelle non référencée dans la couche cartographique de référence ou d'un contour différent. Une couche de référence est ainsi générée annuellement et l'historique est conservé. Les données relatives à la culture en cours et à l'historique de

l'occupation peuvent être renseignées par l'utilisateur et conservées dans l'historique du portail. L'information pédologique est issue de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (CNSW) (Bock et al., 2008). Celle-ci a pour origine la Carte des Sols de la Belgique. Cette carte a été levée à l'échelle 1/5000 sur plan cadastral à raison d'un sondage tous les 75 m, transcrite sur carte IGN à 1/10000 et éditée en couleur sur carte IGN à 1/20000, accompagnée d'un livret explicatif par planchette. L'unité cartographique de base de la légende est la série principale qui est représentée par un sigle comprenant 3 ou 4 lettres ; cette série principale pouvant être complétée par des variantes ou des phases (Legrain et al., 2011). Cette carte a donc été numérisée à l'Unité de Science du Sol pour aboutir à la CNSW (Bracke et al., 2004) et sa légende recompilée (Bock et al., 2007). Une information sur l'aptitude des sols traduite selon trois classes est également utilisée dans REQUACARTO pour les principales cultures et par grande région agricole définie selon la carte des Unités de l'Espace Rural (Bah et al., 2007). Enfin, la base de données Terre de REQUASUD apporte également une contribution au portail cartographique.

3.2. Développement informatique du portail cartographique REQUACARTO

Le géo-portail REQUACARTO fait partie d'une infrastructure informatique constituée d'un ensemble de serveurs comprenant un serveur internet (le portail REQUACARTO), un serveur de base de données gérant l'ensemble des données relatives aux laboratoires, aux parcelles et aux analyses de terre et un serveur cartographique reprenant les couches géographiques décrites ci-dessus.

Les interactions et échanges d'informations entre serveurs s'effectuent via des services qui, dans le cadre de cet outil, ont été volontairement développés en respectant des standards. Cette contrainte que nous nous sommes volontairement imposés assure l'interopérabilité du système. Cet aspect est primordial dans la mise en place d'une infrastructure de ce type. Ainsi, les fonctionnalités liées à l'identification de la parcelle, la détermination des zones de prélèvement, l'interprétation des sigles pédologiques sont disponibles au travers de services web respectant les standards du *World Wide Web Consortium* accessibles en utilisant les protocoles internet à travers le langage XML. L'accès à ces fonctionnalités est possible à partir de progiciels ou de pages web indépendamment des contraintes logicielles des machines clientes.

Dans le contexte de l'outil REQUACARTO, une partie de l'information, et par conséquent des services associés, ont un caractère spatial. Pour ce volet, l'outil s'inspire des standards et recommandations émis dans les règles d'implémentations dictées par l'adoption et la transposition de la Directive européenne INSPIRE (2007/2/CE).

L'information géographique diffusée par le Système REQUACARTO est accessible via des services web cartographiques de type WMS (*Web Map Services*), compatibles OGC (*Open Geospatial Consortium*) ou de type WFS (*Web Feature Service*). La compatibilité OGC permet de produire des représentations cartographiques dynamiques sous forme d'images numériques géoréférencées, tandis que la compatibilité WFS permet de transmettre des données vectorielles via Internet au format GML (*Geographic Markup Language*). Un service de géocodage a également été implémenté pour permettre à un utilisateur de localiser une parcelle à partir d'une adresse, d'une commune ou de coordonnées géographiques.

3.3. Accès et utilisation du portail cartographique REQUACARTO

Les principaux utilisateurs de l'outil sont le laboratoire (échantillonneur et agronome réalisant le conseil), ainsi que l'agriculteur ou le particulier qui demande une analyse. Les fonctionnalités de l'outil (**Figure 3**) varient selon l'utilisateur. L'agriculteur ou le particulier qui souhaite obtenir un conseil de fumure pour une parcelle peut sélectionner ladite parcelle, l'information étant alors transmise au laboratoire de son choix. L'échantillonneur utilise l'outil pour préparer sa campagne d'échantillonnage. Une fois la parcelle sélectionnée, il peut :

- sauvegarder le rapport d'échantillonnage dans son historique,
- exporter et/ou imprimer ce rapport,
- exporter les coordonnées X-Y des zones de prélèvement vers son GPS.

Le rapport peut-être consulté via le portail cartographique ou par transfert interne au laboratoire par l'agronome. Les **figures 3** et **4** illustrent ces principaux modes d'utilisation.

La sélection de la parcelle par le laboratoire peut se faire selon différentes modalités :

- réception de la parcelle, via un mail, suite à une demande faite par un agriculteur ou un particulier,
- sélection de la parcelle via les principaux outils google map : zoom successif, encodage d'une adresse géographique, coordonnées géographiques d'un point dans la parcelle, géo-identifiant (généralisé par l'outil) de la parcelle,
- traitement en batch : le laboratoire envoie, via un fichier csv, une liste de coordonnées géographiques correspondant à des points situés dans une ou plusieurs parcelles. Pour chaque coordonnée, il reçoit, par mail, un rapport d'échantillonnage.

Si lors de la sélection d'une parcelle, le portail ne trouve pas ses limites, signifiant que celle-ci n'est pas disponible dans la couche de référence ou si les limites ne correspondent pas ou plus à la réalité du terrain, l'utilisateur a la possibilité de les digitaliser et de créer ainsi une nouvelle parcelle qui sera enregistrée au niveau du portail.

D'autres utilisateurs que ceux évoqués ci-dessus peuvent également disposer d'accès temporaires à l'outil et à ses diverses fonctionnalités. Cela n'est possible que dans le cadre de projets de recherche, moyennant la délivrance de licences externes et temporaires suite à un avis favorable de l'ASBL REQUASUD.

3.4. Rapport d'échantillonnage et informations délivrées

Le rapport d'échantillonnage peut être considéré comme la carte d'identité de la parcelle et est utile à la fois à l'échantillonneur, à l'agronome et à l'agriculteur ou au particulier ayant fait la demande d'analyse. Comme l'agriculteur ou le particulier ne peut accéder directement au rapport d'échantillonnage via REQUACARTO, le laboratoire s'engage à lui fournir ce rapport d'échantillonnage joint aux résultats d'analyses et au conseil de fumure lié et prodigué par zone de prélèvement. Chaque rapport est identifié de façon unique, le demandeur et la date de la demande étant enregistrés.

Chaque parcelle agricole identifiée et chaque zone de prélèvement déterminée par le portail REQUACARTO reçoit un identifiant unique, appelé géo-identifiant (Geo-ID). De taille volontairement limitée pour diminuer les erreurs d'encodage, ce géo-identifiant est un méta-identifiant assigné par le système à un objet spatial. Il inclut dans son code

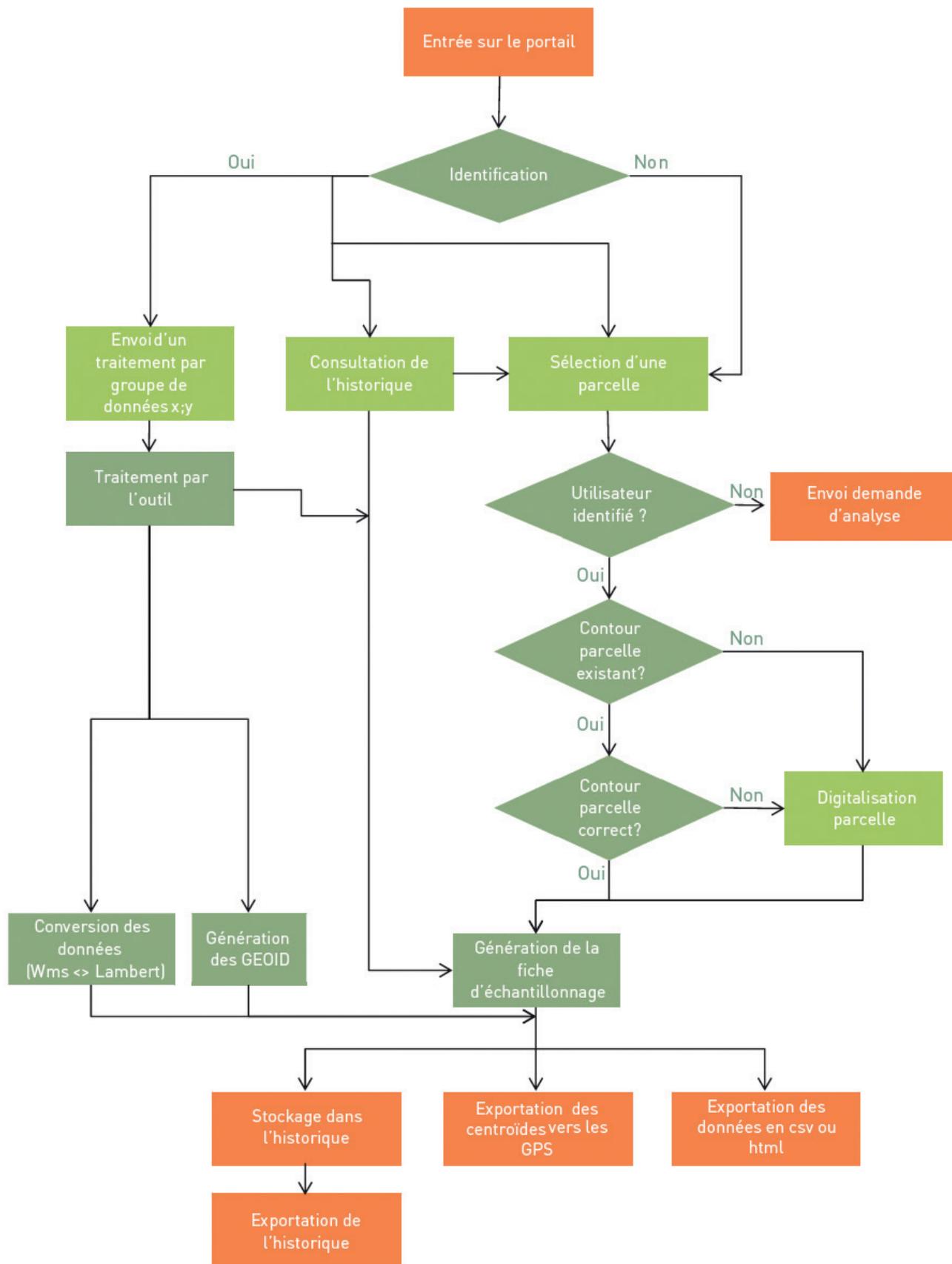


Figure 3. Logigramme d'utilisation du portail cartographique REQUACARTO — *Flow chart of the decision support tools REQUACARTO.*

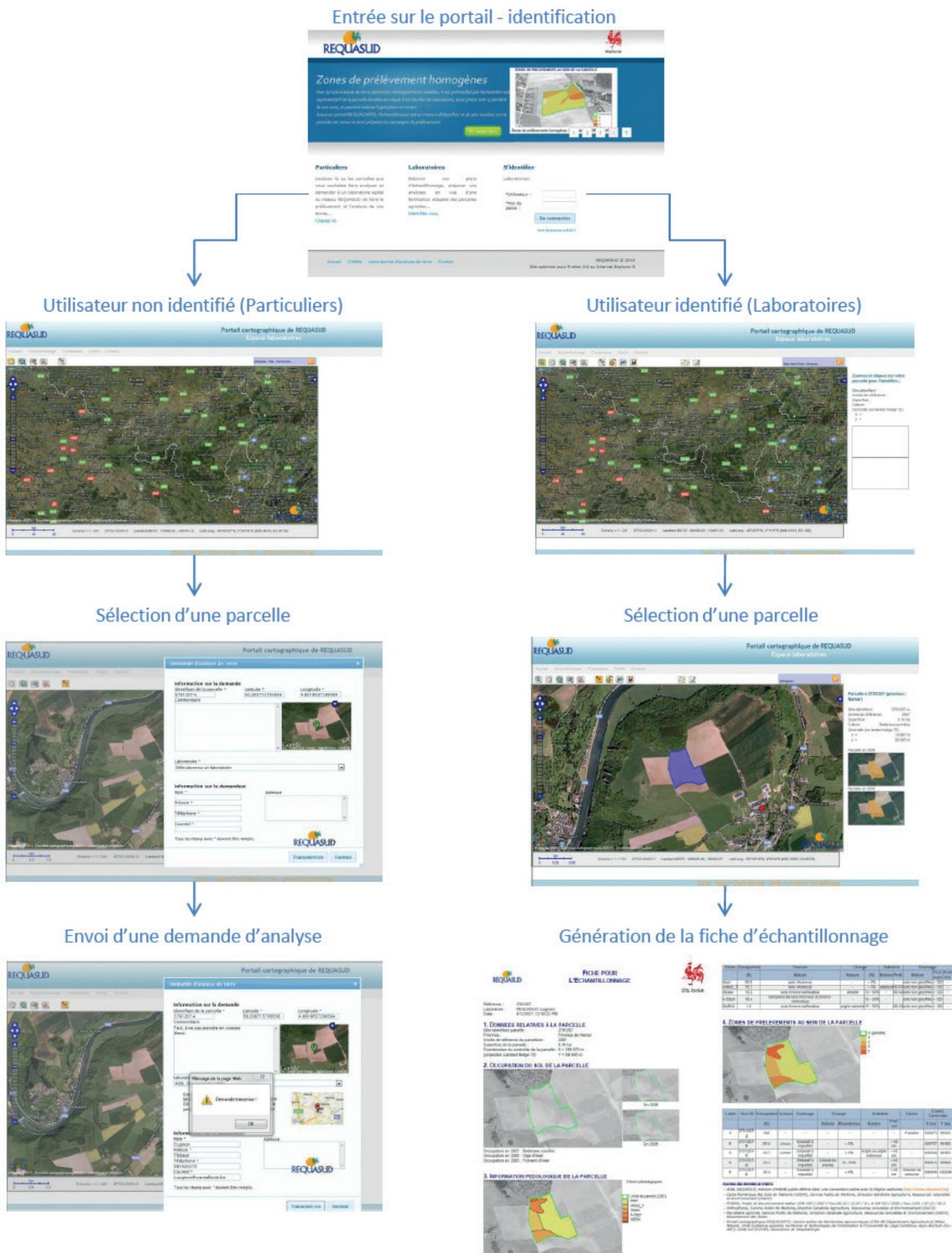


Figure 4. Principaux écrans rencontrés par les utilisateurs — Major screens available for the users.

l'information suffisante permettant de localiser l'objet, mais aussi de caractériser celui-ci dans l'espace et dans le temps tout en favorisant des opérations de base, spatiales ou non spatiales, sans disposer de la couche géographique initiale. Outre les aspects liés à la gestion de l'information, ce Geo-ID est valorisé à différents stades, de l'échantillonnage jusqu'au conseil agronomique. Ainsi, lors d'une campagne de terrain, il permet à l'échantillonneur de géo-localiser la parcelle et les zones de prélèvement sur son GPS et de connaître son positionnement par rapport à celles-ci pour vérifier qu'il effectue bien le prélèvement à l'intérieur de la parcelle à analyser. D'autre part, en l'associant aux prélèvements, le Geo-ID permet de géo-référencer de façon unique les résultats des analyses de terre. Ce point est important puisqu'il permet à REQUASUD de valoriser l'ensemble des analyses des laboratoires (base de données Terre de REQUASUD) par des traitements spatiaux spécifiques pour constituer des référentiels locaux.

Les limites de la parcelle sont dessinées sur le fond orthophotoplan noir et blanc. Si l'information est disponible via la couche de référence ou l'historique de la digitalisation, les limites parcellaires des deux années

précédentes sont également illustrées (**Figure 5**). Outre le Geo-ID de la parcelle, les informations relatives à sa superficie et les coordonnées de son centroïde (projection Lambert Belge 72) sont disponibles. Lorsque la succession culturale des trois dernières années est connue, elle est également incluse dans le rapport d'échantillonnage.

Sur base de la CNSW, l'information pédologique de la parcelle est délivrée à l'échantillonneur (**Figure 6**). Un tableau présente également les principales informations pédologiques qui seront utiles à l'échantillonneur, à l'agronome réalisant le conseil et à l'exploitant (**Tableau 2**). La proportion de chaque unité de sol sur la parcelle est également indiquée dans ce tableau.

La stratégie actuelle vise à proposer des zones de prélèvement homogènes d'un point de vue pédologique. Si deux zones de prélèvement sont identifiées sur la parcelle, cela doit signifier que deux conseils différents peuvent être délivrés, soit sur la base d'une teneur différente en un des éléments nutritifs, soit sur base d'un critère d'interprétation différent (capacité d'échange cationique, texture, charge caillouteuse, etc.). L'objectif à terme est d'inclure les critères topographiques et

1. DONNEES RELATIVES À LA PARCELLE

Géo-Identifiant parcelle :	3791207
Province :	Province de Namur
Année de référence du parcellaire :	2007
Superficie de la parcelle :	8.16 ha
Coordonnées du centroïde de la parcelle : X = 188 673 m (projection Lambert Belge 72)	Y = 99 945 m

2. OCCUPATION DU SOL DE LA PARCELLE



Occupation en 2007 : Betterave sucrière
Occupation en 2006 : Orge d'hiver
Occupation en 2005 : Froment d'hiver

Figure 5. Extrait du rapport d'échantillonnage présentant les données relatives à la parcelle analysée (Falmignoul, Condroz, Belgique) ainsi que son occupation du sol — *Extract of the sampling report with data representative of the Falmignoul's field (Condroz, Belgium) and its land use.*

3. INFORMATION PEDOLOGIQUE DE LA PARCELLE



Figure 6. Extrait du rapport d'échantillonnage présentant la carte des sols de la parcelle analysée (Falmignoul, Condroz, Belgique) — *Sampling report extract with the soil map of the field analyzed (Falmignoul, Condroz, Belgium).*

d'occupation à cette stratégie. Sur cette base, les données influençant le conseil de fertilisation ont été identifiées en prenant comme axe de réflexion les « modèles régionaux » établis par les Laboratoires de la chaîne Minérale-Sols de REQUASUD. Par exemple, pour le potassium, les paramètres suivants sont considérés : la capacité d'échange cationique, le pouvoir fixateur du sol qui est fonction des taux d'argile et de matière organique et l'exigence de la culture. Pour le phosphore, nous pouvons citer les taux d'argile et de matière organique, le pouvoir fixateur du sol qui est fonction du pH et le potentiel racinaire. Une partie de ces critères dépend de la nature du sol et l'information peut donc être extraite de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (texture, nature et abondance de la charge caillouteuse, nature et profondeur d'apparition du substrat, drainage naturel

du sol). Sur une parcelle, à chaque changement significatif d'un de ces critères, une nouvelle zone de prélèvement est identifiée. Certaines séries de sol de la parcelle peuvent toutefois être appariées si leurs différenciations morphologiques ne sont pas jugées significatives (**Figures 7 et 8**). À titre illustratif, les zones de prélèvement identifiées au niveau de la parcelle de Falmignoul (**Figure 7**) sont identiques aux séries de sol (**Figure 6**), les contrastes de texture, charge caillouteuse, profondeur du sol et position topographique ne justifiant pas d'apparier les sigles. Au contraire, au niveau d'une parcelle située sur

la commune de Gembloux (**Figure 8**), de nombreux sigles pédologiques ont été regroupés pour distinguer seulement deux zones de prélèvement.

Pour éviter de prélever dans des zones homogènes de trop petite taille, le parti a été pris de ne pas représenter les zones de prélèvement d'une superficie inférieure à 5 % de la superficie totale de la parcelle.

Pour chaque zone de prélèvement identifiée, l'information utile à l'élaboration du diagnostic agronomique est présentée, de même que les coordonnées X-Y du centroïde forcé de la zone de prélèvement et sa proportion par rapport à la superficie de la parcelle (**Tableau 3**).

Cette dernière information permet à l'exploitant de réfléchir à la meilleure stratégie d'échantillonnage à adopter. L'idéal est de réaliser un prélèvement par

Tableau 2. Extrait du rapport d'échantillonnage présentant l'information pédologique utile à l'élaboration d'un conseil de fumure personnalisé pour la parcelle située à Falmignoul (Condroz, Belgique) — *Sampling report extract with pedological information valuable in the fertility advice for the field located in Falmignoul (Condroz, Belgium).*

Série	Occupation (%)	Texture Nature	Charge		Substrat		Drainage		
			Nature	%	Nature	Prof. (cm)	Nature	Prof. oxyd.	Prof. réd.
Aba1	59,8	Sols limoneux	-	< 5 %	-	> 125	Sols non gleyfiés	> 125	> 125
uAba2_3	15,7	Sols limoneux	-	< 5 %	Argileux	20-80	Sols non gleyfiés	> 125	> 125
Gbax4	12,3	Sols limono-caillouteux	Silexite	15-50 %	-	20-40	Sols non gleyfiés	> 125	> 125
A-Gbp1	10,4	Complexe de sols limoneux et limono-caillouteux	-	0-50 %	-	> 125	Sols non gleyfiés	> 125	> 125
GbBK4	1,8	Sols limono-caillouteux	Argilo-calcaire	15-50 %	-	20-40	Sols non gleyfiés	> 125	> 125

4. ZONES DE PRELEVEMENTS AU SEIN DE LA PARCELLE

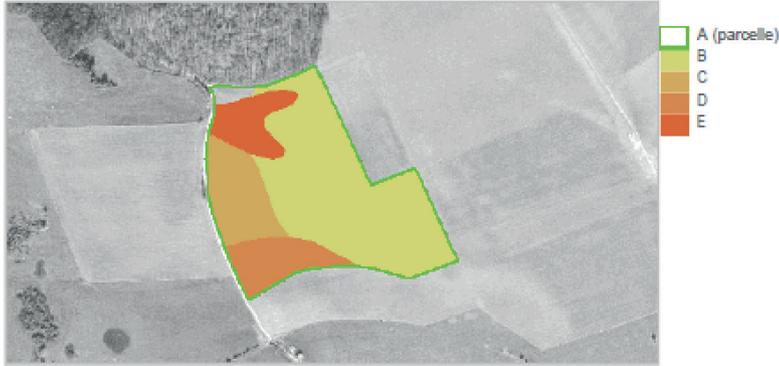


Figure 7. Extrait du rapport d'échantillonnage identifiant les zones de prélèvement sur la parcelle située à Falmignoul (Condruz, Belgique) — *Sampling report extract identifying the sampling area of the field located in Falmignoul (Condruz, Belgium).*

zone de prélèvement identifiée. Cependant, cette stratégie n'est pas toujours applicable en raison par exemple d'un nombre trop important de zones au regard de la superficie de la parcelle. Dans ce cas, seules la ou les zones de prélèvement de plus grande superficie seront échantillonnées. L'échantillonneur conseillera systématiquement à l'exploitant de ne pas couvrir plusieurs zones de prélèvement pour un seul échantillon, ce qui risquerait de conduire à un conseil de fumure ne correspondant à aucune situation réelle sur la parcelle.

3.5. Évolution de l'outil

Deux évolutions principales sont prévues pour 2011 :

- l'ajout, par zone de prélèvement, d'une information sur l'aptitude du sol pour une culture donnée,
- l'ajout, par zone de prélèvement, des informations liées à la base de données Terre de REQUASUD.

L'aptitude du sol. Pour élaborer un conseil de fumure pertinent, il est utile d'évaluer le plus précisément possible les besoins de la plante, qui sont notamment fonction du rendement espéré pour la culture, ce rendement étant influencé par les caractéristiques morphopédoclimatiques. L'aptitude du sol pour une culture et un contexte climatique donné peut être évaluée grâce aux informations disponibles dans les livrets explicatifs accompagnant la carte des sols. L'équipe du Projet de Cartographie Numérique des Sols de Wallonie a compilé l'ensemble des informations issues de ces livrets et a complété et harmonisé les différentes aptitudes de manière à disposer d'une information cohérente sur l'ensemble de la Wallonie (Bah et al., 2006). Pour chaque

District de l'Espace Rural, sur base du SIGEC de 2005 et 2008, les cinq cultures les plus représentatives ont été retenues. Pour chaque culture et chaque district, trois classes d'aptitudes sont considérées :

- Classe 1 : sols aptes et très aptes pour lesquels les cultures atteignent de 75 à 100 % du rendement optimal en année normale,
- Classe 2 : sols assez aptes pour lesquels les cultures atteignent de 55 à 100 % du rendement optimal en année normale,
- Classe 3 : sols peu aptes à inaptes pour lesquels les cultures n'atteignent pas les 55 % de rendement optimal en année normale.

Le rendement optimal considéré pour chaque culture peut varier d'un district à l'autre en raison des conditions climatiques et topographiques notamment. Lors de la consultation de REQUACARTO, le laboratoire précisera la culture pour laquelle le conseil de fumure est demandé. En fonction de la localisation



Figure 8. Extrait du rapport d'échantillonnage présentant les plages de sols (partie gauche) et les zones de prélèvement (partie droite) d'une parcelle située à Gembloux (région limoneuse, Belgique) — *Extract of the sampling report with the soil mapping units (left part) and the sampling area (right part) identified for a field located in Gembloux (loamy region, Belgium).*

Tableau 3. Extrait du rapport d'échantillonnage présentant l'information liée aux zones de prélèvement identifiées sur la parcelle située à Falmignoul (Condroz, Belgique) — *Sampling report extract with sampling areas information for the field located in Falmignoul (Condroz, Belgium).*

Label	Occupation (%)	Texture Nature	Charge		Substrat		Drainage	Divers	Coord. centroïde		Cl.
			Nature	%	Nature	Prof. (cm)			X (m)	Y (m)	
A	100	-	-	-	-	-		Parcelle	186 673	99 945	-
B	59,8	Limon	-	< 5 %	-	> 40	Excessif à imparfait	-	186 707	99 906	I
C	15,7	Limon	-	< 5 %	Argile ou argile sableuse	> 40	Excessif à imparfait	-	186 549	99 923	I
D	12,3	-	Gravier ou silexite	15-50 %		< 40	Excessif à imparfait	-	186 614	99 829	II
E	10,4	-	-	< 0-50 %		> 40	Excessif à imparfait	Alluvion ou colluvion	186 558	100 036	I

Cl. : classe d'aptitude — *sustainability classes.*

de la parcelle en Wallonie, un rendement optimal sera proposé. Ensuite, une colonne supplémentaire dans le tableau relatif aux zones de prélèvement précisera la classe d'aptitude par zone de prélèvement.

La base de données Terre de REQUASUD. Un géo-identifiant unique est lié à chaque zone de prélèvement identifié. Il permet la liaison entre les données analytiques encodées dans la base de données Terre de REQUASUD, les données cartographiques relatives à la zone de prélèvement et les données alphanumériques de caractérisation de cette zone, dont l'information pédologique. Ce fonctionnement permet d'utiliser la base de données Terre comme système de référence régionalisé et ainsi d'affiner l'appréciation du résultat analytique, 3^e maillon du processus de l'échantillonnage au conseil (**Figure 1**). Il est en effet envisageable d'associer la zone de prélèvement étudiée à toutes les zones de même nature pédologique localisées sur le même District de l'Espace Rural et ainsi, de comparer les valeurs nutritives obtenues à des données statistiques.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le portail cartographique REQUACARTO est fonctionnel depuis mars 2009 et en constante amélioration. Il a été conçu en collaboration étroite avec les laboratoires du réseau REQUASUD de manière à s'assurer de la faisabilité de son utilisation en routine. Ce portail permet une utilisation sur le terrain via les GPS et autres PDA, ainsi qu'une utilisation au format papier,

ce qui répond aux besoins de tous les laboratoires. Un système de gestion de l'historique des parcelles échantillonnées à également été réalisé, permettant de revenir rapidement sur ces parcelles et facilitant la gestion interne du laboratoire. Le système automatisé de génération des rapports d'échantillonnage facilite également le travail en routine de l'outil. Dans le contexte actuel des systèmes de gestion de la qualité, le portail cartographique répond aux exigences des différentes législations en cours tant au niveau national (ex : arrêtés du Gouvernement wallon) qu'au niveau international (ex : directive européenne INSPIRE – 2007/2/CE), ainsi qu'au besoin des laboratoires souhaitant s'investir dans une accréditation pour l'échantillonnage des terres agricoles. Le respect des différentes normes et standards en vigueur permet une interopérabilité des données et services cartographiques et non cartographiques, ouvrant de nouvelles perspectives de valorisation de l'information de l'outil REQUACARTO. Par ailleurs, les futurs agréments wallons intégreront un échantillonnage dans le respect des normes existantes, justifiant également l'existence et l'utilisation de ce portail. Mais n'oublions pas que ce portail offre avant tout un service de choix à l'agriculteur, lui permettant une gestion plus raisonnée de la fumure qu'il est susceptible d'apporter sur ses parcelles. D'autres thématiques appellent également à l'utilisation de cet outil. Il s'agit notamment de la détermination de l'APL (azote potentiellement lessivable) des parcelles à contrôler dans le cadre du programme de gestion durable de l'azote où l'information sur la charge caillouteuse de la parcelle, disponible via le portail REQUACARTO, a toute son importance

pour la détermination de ce paramètre. L'évaluation de l'aptitude des sols à l'épandage de matières organiques utilisera également cet outil non seulement pour améliorer la qualité de l'échantillonnage des terres mais aussi comme outil d'aide à la décision pour l'épandage de ces matières amendantes sur les parcelles agricoles. Les principales améliorations qui seront apportées aux prochaines versions de l'outil concernent l'ajout de nouvelles couches d'informations comme le modèle numérique de terrain, mais également les zones sujettes aux mesures agri-environnementales, les périmètres de protection, etc. Ceci afin de répondre aux législations en constante évolution. Enfin, l'utilisation de ce portail et la liaison de la donnée analytique aux informations pédologiques et d'occupation concourent à l'affinement des états de fertilité des terres agricoles wallonnes et du suivi de cet état. Les informations alphanumériques liées à chaque échantillon ainsi que sa localisation précise au centre d'une zone de prélèvement permettent de poser un diagnostic agronomique précis pour chaque échantillon et non plus, comme par le passé, de poser un diagnostic sur une moyenne de plusieurs échantillons pouvant provenir de zones de prélèvement non homogène d'un point de vue pédologique. Ces diagnostics agronomiques spécifiques permettent d'établir des conseils agronomiques adaptés, contribuant à une optimisation des rendements et un ajustement raisonné des coûts liés à la fertilisation.

Bibliographie

- AFNOR, 1992. *Qualité des sols. Échantillonnage. Méthode de prélèvement d'échantillons de sol. X31-100*. Paris : Association Française de Normalisation.
- Bah B. & Bock L., 2006. *Carte d'aptitude des sols pour les cultures les plus exigeantes. Convention financée par la Région Wallonne (DGA, MRW)*. Gembloux, Belgique : Unité Sol-Écologie-Territoire et Unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.
- Bah B. 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.
- Bock L., 1994. Analyses des sols et gestion de l'espace. Plaidoyer pour leur cadrage géomorphopédologique dans les projets, expertises et service de conseil. *Étude Gestion Sols*, **1**(1), 23-33.
- Bock L. et al., 2002. Intérêt des cartes pédologiques pour la caractérisation géochimique des sols. Cas d'une parcelle en Condroz. In : Baize D. & Tercé M., eds. *Les éléments traces métalliques dans les sols : approches fonctionnelles et spatiales*. Paris : INRA, 91-106.
- Bock L. et al., 2006. *Carte des Principaux Types de Sols de Wallonie à 1/250000. Convention financée par la Région Wallonne (DGA, MRW)*. Gembloux, Belgique : Unité Sol-Écologie-Territoire et Unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.
- Bock L. & Bah B., 2007. *Carte des Unités de l'Espace Rural. Convention financée par la Région Wallonne (DGA, MRW)*. Gembloux, Belgique : Unité Sol-Écologie-Territoire et Unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.
- Bock L. et al., 2008. *Carte Numérique des Sols de Wallonie – version 1.2. Convention financée par la Région Wallonne (DGA, MRW)*. Gembloux, Belgique : Unité Sol-Écologie-Territoire et Unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.
- Bracke C., Veron P. & Bah B., 2004. *Mise en œuvre du Projet de Cartographie Numérique des Sols de Wallonie (PCNSW). Rapport final d'activités. Convention Région Wallonne (DGA, MRW), sous la direction de Bock L., Lejeune P. & Rondeux J.* Gembloux, Belgique : Unité Sol-Écologie-Territoire et Unité de Gestion des Ressources forestières et des Milieux naturels, 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. et al., 2009. L'état de fertilité des terres agricoles et forestières en région wallonne (adapté du chapitre 4 - sol 1 de l'« État de l'environnement wallon 2006-2007 »). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **13**(1), 121-138.
- Genot V. et al., 2011. Near-infrared reflectance spectroscopy for estimating soil characteristics valuable in the diagnosis of soil fertility. *J. Near Infrared Spectrosc.*, **19**, 117-138.
- ISO 10381-1, 2002. *Qualité du sol. Échantillonnage. Partie 1 : lignes directrices pour l'établissement des programmes d'échantillonnage*. Genève, Suisse : ISO.
- ISO 10381-2, 2002. *Qualité du sol. Échantillonnage. Partie 2 : lignes directrices pour les techniques d'échantillonnage*. Genève, Suisse : ISO.
- 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 : ISO.
- ISO 10390, 2005. *Qualité du sol. Détermination du pH*. Genève, Suisse : ISO.
- Lakanen E. & Erviö R., 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agraria Fenn.*, **123**, 223-232.
- Legrain X. 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. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **15**(S2), 647-656.
- Roebroek H., 2009. Le prélèvement : quels acquis méthodologiques ? In : 9^e *Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre, Congrès COMIFER-GEMAS, 25-26 novembre 2009, Blois, France*. (19 réf.)