

Possibilité d'utilisation de la Carte Numérique des Sols de Wallonie pour l'estimation de la pierrosité des sols échantillonnés



Ce document est à citer de la manière suivante :

Borgers N., Vandenberghe C., Marcoen J.M., 2006. *Possibilité d'utilisation de la Carte Numérique des Sols de Wallonie pour l'estimation de la pierrosité des sols échantillonnés*. Dossier GRENeRA **05-02**, 22 p. In Vandenberghe C., Bontemps P.-Y, Hulpiau A, Marcoen J.M., 2006. *Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture wallonne - Rapport d'activités annuel intermédiaire 2005*. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux.

Liste des acronymes

APL	Azote Potentiellement Lessivable
CNSW	Carte Numérique des Sols de Wallonie
DQ	Démarche Qualité
ECOP	Laboratoire d'ECologie des Prairies
EG	Eléments Grossiers
FUSAGx	Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux
GRENeRA	Groupe de Recherche Environnement et Ressources Azotées
NC	Non cartographié
PCNSW	Projet de Cartographie Numérique des Sols de Wallonie
PGDA	Programme de Gestion Durable de l'Azote
RéQuaSud	Réseau Qualité Sud
RU	Réserve Utile
SAU	Surface Agricole Utile
SSA	Survey Surfaces Agricoles
TF	Terre fine
UCL	Université Catholique de Louvain

Sommaire

1. INTRODUCTION	4
2. LEGENDE DE LA CARTE NUMERIQUE DES SOLS DE WALLONIE (CNSW)	6
2.1. PRINCIPE DE LA LEGENDE DE LA CNSW	6
2.2. PARAMETRES DONNANT DES INFORMATIONS SUR LA CHARGE EN ELEMENTS GROSSIERS.....	7
A. <i>Volume de la charge</i>	8
B. <i>Nature lithologique de la charge</i>	9
C. <i>Altération de la charge</i>	9
D. <i>Phases de profondeur</i>	9
3. CREATION D'UNE CARTE THEMATIQUE A PARTIR DE LA CNSW	10
4. UTILISATION DE LA CARTE THEMATIQUE A L'ECHELLE DES EXPLOITATIONS.....	12
5. REMARQUES.....	16
5.1. LIMITE DES DIMENSIONS DES EG	16
5.2. PONDERATION	18
5.3. ALTERATION.....	18
5.4. POROSITE.....	18
6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	20
7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	22

1. Introduction

La directive européenne 91/676/CEE, plus communément appelée directive « Nitrate », vise à diminuer les concentrations élevées de nitrate dans l'eau, en limitant la pollution due à la production agricole intensive et en réduisant l'utilisation des engrais minéraux et organiques. Elle prévoit des dispositions pour le traitement des eaux usées et la gestion agricole. Le Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) en est la transposition en Région wallonne.

Le PGDA s'articule autour de différents axes, dont la désignation de zones vulnérables et l'établissement d'un Code de Bonnes Pratiques Agricoles. Compte tenu de sa situation géographique, chaque exploitation doit notamment afficher un équilibre entre sa production d'effluents d'élevage et sa capacité de valorisation en champs de l'azote produit. Ce rapport, appelé taux de liaison au sol (LS) doit être égal ou inférieur à 1. Si cet équilibre n'est pas atteint, l'agriculteur peut soit établir des contrats d'épandage en vue d'exporter une partie de l'azote organique produit par son cheptel hors de son exploitation, soit solliciter une dérogation aux normes d'épandage et entrer en Démarche Qualité (DQ).

Dans ce cas, il s'engage, entre autres, à faire réaliser chaque automne des mesures du reliquat azoté dans ses parcelles et à modifier ses pratiques afin que les résultats de ces mesures soient proches des valeurs de référence établies par GRENeRA (FUSAGx) et ECOP (UCL). Ces références sont déterminées annuellement sur base de mesures réalisées dans un ensemble de points représentatifs des différentes zones agropédologiques wallonnes, appelé Survey Surfaces Agricoles (SSA). Vingt-cinq exploitations agricoles constituent ce SSA, dans lequel 250 parcelles ont été suivies en 2005.

Ces valeurs de référence en terme de reliquat azoté dans les sols en début de période de lixiviation sont appelées APL (azote potentiellement lessivable) de référence. Ces valeurs sont les témoins d'une fertilisation raisonnée ; elles sont définies par système de culture/interculture (4 classes : culture C1, C2, C3 et prairie P).

Les valeurs de référence sont exprimées en terme de stock d'azote, soit en kg N-NO₃/ha. Cette unité est dérivée d'une concentration, ou teneur, réellement dosée sur les échantillons en laboratoire et exprimée en mg N-NO₃/100 g de terre. Le passage d'une unité à l'autre se fait en intégrant différents paramètres :

- *l'épaisseur de la couche de sol* : en terre de culture, la profondeur d'échantillonnage est de 90 cm, scindée en 3 couches de 30 cm, tandis qu'en prairie pâturée elle est de 30 cm ; ceci pour autant que la profondeur de sol le permette ;
- *la proportion, en volume, d'éléments grossiers* : avant analyse, chaque échantillon est soigneusement homogénéisé par tamisage au travers d'un tamis de maille 8 mm. Si après tamisage il subsiste un refus sur le tamis, la charge caillouteuse de l'échantillon est fixée arbitrairement à 10% en volume. En l'absence de refus, la charge caillouteuse est fixée à 0%. La présence d'éléments grossiers (EG) réduit la quantité de terre qui existe dans l'unité de volume de sol en place, la terre étant en quelque sorte diluée (Gras, 1994). Si on ne tient pas compte de cette charge, la détermination du stock d'azote sera biaisée : le stock sera surévalué car la masse de sol est considérée comme constituée uniquement de terre fine ;
- *la densité apparente* : les valeurs standard suivantes de poids spécifique apparent sur sol sec par couche sont appliquées : 1,35 t/m³ pour la couche supérieure (0-30 cm), 1,5 t/m³ pour les autres couches (30-60 cm et 60-90 cm) en terre arable et 1,3 t/m³ en prairie. Ces valeurs sont des valeurs moyennes en Région wallonne. Elles sont validées par les résultats de mesure dans le cadre des travaux de RéQuaSud (Destain *et al.*, 2002).

Classiquement, les stocks d'azote à l'hectare sont obtenus par couche en effectuant le produit de la concentration moyenne en azote, de la densité apparente et de l'épaisseur de l'horizon. Si le sol présente une charge en EG, il faut multiplier ce résultat par un coefficient correcteur x qui tient compte de la dilution de la terre fine : $x = (100 - \% \text{ EG})/100$. Actuellement, ce coefficient correcteur vaut 1 (0% d'EG) ou 0,9 (10% d'EG). Le stock d'azote sur une profondeur donnée est le résultat de l'addition des stocks jusqu'à cette profondeur.

La quantité d'azote à apporter en début de végétation est déterminée en soustrayant aux besoins estimés de la culture la quantité d'azote minéral présent dans le sol. Les facteurs déterminants quant à la précision du résultat final sont, selon Schmidhalter *et al.* (1992), la représentativité des échantillons, l'exactitude de l'analyse et la précision des estimations de la densité apparente et de la pierrosité du sol.

Selon le précédent cultural de la parcelle, et pour atteindre une précision de l'ordre de 10 kg N-NO₃/ha, Vandenberghe *et al.* (2002) ont déterminé qu'il fallait effectuer 10, 15 ou 20 prélèvements par parcelle en terre de culture. En prairie pâturée, le nombre de prélèvements est de 30.

Mohimont *et al.* (2003) estiment que l'erreur relative en matière d'analyse du reliquat azoté (tamisage de l'échantillon, extraction, mesure de la concentration dans l'extrait de sol) est de l'ordre de 10 %.

L'abondance de la charge et la densité apparente ne sont pas directement mesurées lors de l'échantillonnage. En conséquence, Schmidhalter *et al.* (1992) affirment que le biais engendré par cette méconnaissance peut atteindre 20 % pour l'évaluation du reliquat azoté. La technique de prélèvement sous-estime systématiquement la valeur de la charge caillouteuse puisque les éléments grossiers de gros calibre (supérieur au diamètre de la sonde) ne sont jamais prélevés.

L'objectif de cette étude est de déterminer s'il est possible de diminuer l'erreur liée à l'appréciation de la charge grâce, en parallèle avec le géoréférencement systématique des parcelles échantillonnées, à l'emploi des informations de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (CNSW), disponible depuis peu.

Ci-après, dans un premier temps, la légende de la CNSW est détaillée. Les sigles des différentes plages cartographiques sont constitués par l'assemblage de symboles, chacun donnant une information sur une caractéristique observée du sol ; indirectement, il s'agit notamment de l'abondance de la charge.

Une carte thématique de l'abondance en EG est ensuite réalisée à titre d'exemple pour 2 régions agropédologiques wallonnes (Candroz et Famenne). Des parcelles géoréférencées du SSA y sont replacées, et des calculs de stock de N-NO₃/ha sont réalisés en prenant en compte l'information relative à l'abondance de la charge renseignée par cette carte.

Pour finir, différentes remarques quant à la possibilité d'utilisation de la CNSW pour l'estimation de la pierrosité des sols échantillonnés sont formulées.

Il est important de signaler que ce rapport ne constitue qu'une première étape de la réflexion quant à l'utilisation de la carte des sols pour une meilleure estimation de la charge.

2. Légende de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (CNSW)

2.1. Principe de la légende de la CNSW

La Carte des Sols de la Belgique, réalisée entre 1947 et 1991, est une carte de nature géomorphopédologique, c'est-à-dire une carte qui exprime étroitement les relations existant entre la roche, le relief et le sol. Dans le cadre du Projet de Cartographie Numérique des Sols de Wallonie (PCNSW), les planchettes de la partie wallonne de ce document ont été entièrement numérisées. Cette couche spatiale est reliée à une base de données sémantiques qui traduit la légende. Cet ensemble constitue la Carte Numérique des Sols de Wallonie.

L'unité cartographique de base de la carte est la **série principale**. Une série regroupe des profils pédologiques ayant en commun un ensemble de caractéristiques morphologiques importantes, comme la nature et la succession des horizons (ou simplement la présence ou l'absence d'un horizon diagnostique), la texture, la couleur, la présence, nature et importance d'une charge caillouteuse, etc.

Une série principale est identifiée par un sigle comprenant 3 à 5 lettres, chacune d'elles traduisant une caractéristique observée du sol. Ce sigle se présente de la manière suivante :

- la première lettre, **une majuscule**, indique la nature de la roche-mère pédologique, ou plus précisément la texture de la partie supérieure du profil, qui correspond conventionnellement aux 50 premiers centimètres pour les sols développés dans des formations meubles ;
- la deuxième lettre, **une minuscule**, définit l'état de drainage naturel, ou plutôt les conditions d'hydromorphie du milieu ;
- la troisième lettre, **une minuscule**, caractérise le type de développement de profil, sur base de la présence ou absence d'un ou plusieurs horizons diagnostiques.

Ce sigle minimal peut être complété, pour apporter des précisions supplémentaires :

- une minuscule avec ou sans parenthèse, ou deux minuscules, ou une majuscule en suffixe indique(nt) des variations secondaires au sein d'une même série principale. Ces variantes ou phases concernent le développement de profil, le matériau parental ou, pour les sols à charge en éléments grossiers de plus de 15% en volume, la nature de celle-ci ;
- un chiffre en suffixe indique généralement une profondeur ou une épaisseur.

Outre la série principale, on peut identifier des **séries dites dérivées** : un substrat, ou roche située sous le sol et pour laquelle aucune relation pédogénétique n'a pu être établie avec lui¹, est identifié à moins de 125 centimètres de profondeur, limite théorique de profondeur du sol. Ce substrat est indiqué dans la légende de la carte des sols par une minuscule précédant la majuscule de texture.

Lorsque la variabilité spatiale des caractéristiques de base du sol (texture, drainage, développement de profil) est trop importante que pour être visualisée à l'échelle 1/20.000, des groupements ont été opérés pour simplifier la lecture des sigles pédologiques. La **série** est alors dite **complexe**. Dans ce cas, les majuscules relatives aux types de texture sont reliées par des tirets, et les minuscules exprimant les classes de drainage naturel ou les types de développement de profil sont remplacées par une majuscule, traduisant le regroupement de symboles simples.

¹ Le matériau parental ou roche-mère est à distinguer du substrat. Il s'agit d'une roche dure ou meuble dont dérive le sol, directement ou indirectement par l'intermédiaire d'une altérite.

Les sigles des unités cartographiques de la CNSW se présentent donc de la façon suivante :

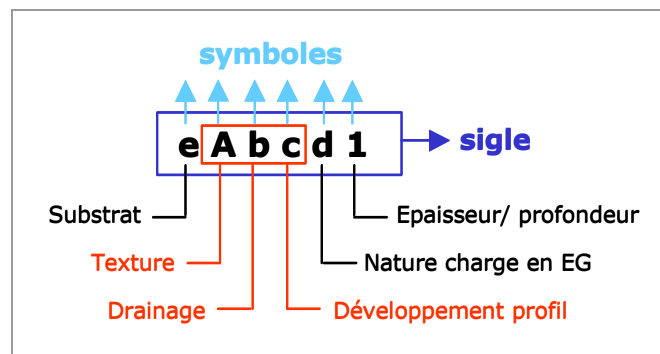


Figure 1 – Définition des symboles des sigles des unités cartographiques

Le tableau synoptique de Bah *et al.* (2005), présenté en annexe 1, illustre l'ensemble des symboles pédologiques repris dans la légende. Plus de 6000 sigles différents sont identifiés sur base de ces symboles.

2.2. Paramètres donnant des informations sur la charge en éléments grossiers

La phase solide du sol est constituée de terre fine et d'éléments grossiers. Par éléments grossiers, la CNSW considère tous les constituants minéraux individualisés (fragments élémentaires de roches, poly- ou mono-minéraux) de dimensions supérieures à **2 mm** (Baize et Jabiol, 1995) ; la terre fine est donc constituée de particules de dimensions inférieures à 2 mm. Même si les EG ont perdu, partiellement ou totalement, leur structure lithique originelle par altération, ils n'ont pas acquis de structure pédologique. Par conséquent, ces éléments ne doivent pas être confondus avec les agrégats².

Selon leurs dimensions, les EG sont appelés graviers (0,2 à 2 cm), cailloux (2 à 7,5 cm), pierres (7,5 à 20 cm) ou blocs (> 20 cm).

Pour rappel, si on se réfère au protocole d'analyse du nitrate, les laboratoires considèrent les EG comme étant les constituants minéraux de dimensions supérieures à **8 mm** (chapitre 1). La notion d'EG au sens de la CNSW n'est donc pas la même que celle des laboratoires d'analyse du nitrate. Pour simplifier la compréhension de la suite du texte, on écrira charge-CNSW ou charge-labo selon qu'il s'agit de l'un ou l'autre type.

Grâce aux symboles des sigles identifiant les différentes unités cartographiques, la carte des sols donne des informations relatives au volume et à la nature lithologique de la charge en EG, à leur altération éventuelle et à la profondeur d'apparition d'un substrat.

² Agrégats : dans le sol, unité naturelle tridimensionnelle d'assemblage de matériaux, consistant mais non induré, constituant un ensemble meuble ou moins ferme que chacune des unités ou particules élémentaires (Lozet et Mathieu, 2002).

A. Volume de la charge

Dans la CNSW, la nature du matériau parental est représentée, rappelons-le, par une lettre majuscule placée en première position du sigle de la série principale. Selon la nature du matériau parental, on distingue les sols organiques (ou sols sur matériaux tourbeux) et minéraux.

La subdivision des sols minéraux est basée sur leur texture, déterminée par les résultats de l'analyse granulométrique. Différentes classes texturales ont été définies pour la Carte des sols de Belgique. Une classe texturale peut recouvrir une ou plusieurs textures.

Une première distinction est faite entre les sols minéraux à teneur en éléments grossiers inférieure à 5% en volume, et ceux à teneur supérieure à 5%.

Pour les sols minéraux à teneur en éléments grossiers *inférieure à 5%*, 7 classes texturales sont définies (tableau 1).

Tableau 1 – Classes texturales des sols minéraux à teneur en EG inférieure à 5 % dans la CNSW

Symbole	Texture	Classe texturale
Z	Sable	Sols sableux
S	Sable limoneux, sable argileux	Sols limono-sableux
P	Limon sableux léger	Sols sablo-limoneux légers
L	Limon sableux, limon sableux lourd	Sols sablo-limoneux
A	Limon léger, limon, limon lourd	Sols limoneux
E	Argile légère, argile sableuse, argile limoneuse	Sols argileux légers
U	Argile lourde, argile lourde sableuse, argile très lourde	Sols argileux lourds

Pour les sols à teneur en éléments grossiers *supérieure à 5%*, deux cas sont identifiés. Pour les textures Z, S, P et U, la nature de la charge en EG est indiquée par une lettre en quatrième position du sigle de la série principale ; pour les textures L, A et E, la lettre G (limon caillouteux) est utilisée.

Dans ce dernier cas, trois classes de teneurs en EG sont identifiées :

- teneur comprise entre 5 et 15 % : sols limoneux peu caillouteux ;
- teneur comprise entre 15 et 50 % : sols limoneux caillouteux ;
- teneur supérieure à 50% : sols limoneux très caillouteux.

Dans le cas des limons caillouteux, la distinction est faite entre sols des plateaux et des pentes, et sols des vallées et dépressions. Dans ce dernier cas, la troisième lettre du sigle de la série principale, qui représente le développement de profil, est un « p ».

Le tableau 2 présente le symbole des classes texturales des sols minéraux à teneur en EG supérieure à 5%.

Tableau 2 - Classes texturales des sols minéraux à teneur en EG supérieure à 5 % dans la CNSW

	Charge [%]	<i>Sols plateaux et pentes</i>	<i>Sols vallées et dépressions</i>
Z, S, P, U	> 5	Z,S,P ou U + nature de la charge en 4ème position	
L, A, E	5 – 15	G	(G) . p
	15 – 50	G + nature de la charge + phase de profondeur 0, 1, 2, 4 ou 7	G . p
	> 50	G + nature de la charge + phase de profondeur 3, 5 ou 6	

B. Nature lithologique de la charge

Pour les sols caillouteux (G) à teneur en EG supérieure à 15 %, et dans de rares cas pour les sols sableux (Z), limono-sableux (S) ou sablo-limoneux légers (P) à teneur en EG supérieure à 5 %, la nature lithologique de la charge est renseignée par une lettre minuscule en quatrième position du sigle de la série principale.

Les symboles annonçant les natures lithologiques de la charge en EG sont repris en annexe 2.

C. Altération de la charge

Une lettre minuscule peut également se retrouver à droite de la lettre représentant la nature de la charge, en 5ème position du sigle de la série principale. Deux symboles sont employés : a → charge altérée, et b → charge rougeâtre.

D. Phases de profondeur

Les phases de profondeur sont indiquées par des chiffres en suffixe du sigle pédologique. Ces chiffres donnent des informations quant à la profondeur d'apparition du substrat, et donc sur la profondeur du sol. Pour les sols limono-caillouteux (texture G), les phases donnent aussi la fraction estimée de la charge en EG (tableau 2).

3. Création d'une carte thématique à partir de la CNSW

La CNSW peut fournir une aide pour définir la charge en éléments grossiers, la symbolique de la carte procurant en effet une information à ce sujet (§2). En traitant la couche d'information correspondant à la symbolique, il est dès lors possible de générer une carte thématique de l'abondance de la charge caillouteuse.

Pour cela, il est nécessaire de disposer de l'information relative au sigle sous sa forme éclatée : chacun des symboles du sigle doit être considéré indépendamment des autres. A l'aide du tableau synoptique de Bah *et al.* (annexe 1), liste exhaustive des différents symboles pédologiques, il est alors possible de traiter l'information avec le logiciel ArcGis[®] et de faire différentes sélections dans la base de données sémantique, pour déterminer 4 classes de sol en fonction de la charge (tableau 3).

Tableau 3 – Détermination des 4 classes de charge à partir de la table d'attribut de la couche « sol » de la CNSW

CLASSE 0 – 5 % :

Mat_Text = A ou AE ou AL ou AS ou ASU ou AU ou E ou ELS ou EZ ou L ou LE ou SU ou SZ ou UL ou ULS ou V ou VE ou W
ou (**Mat_Text** = P ou S ou U ou Z) et (**Charge** = rien)

CLASSE 5 – 15 % :

(**Mat_Text** = P ou S ou U ou Z) et (**Charge** >< rien)
ou **Mat_Text** = (G) ou AG ou AGS ou GZ ou GL
ou (**Mat_Text** = G) et (**Dev_Profil** >< p) et (**Charge** = rien)

CLASSE 15 – 50 % :

(**Mat_Text** = G) et (**Dev_Profil** = p) et (**Charge** = rien)
ou (**Mat_Text** = G) et (**Charge** >< rien) et (**Phase_1** >< 6 et ><rien)

CLASSE > 50 % :

(**Mat_Text** = G) et (**Charge** >< rien) et (**Phase_2** >< rien ou **Phase_1**=6)

En réalisant ces sélections pour l'ensemble de la Région wallonne, on peut voir que sur environ 9.685 km² de terres agricoles (source : plan d'occupation du sol Walphot-Cicade, 1989), environ 54,4% sont des sols non caillouteux (classe 0-5%), tandis que seuls 1,1% sont des sols à charge en éléments grossiers supérieure à 50%. 7,1% appartiennent à des séries spéciales (sols de carrières, de remblais, etc.) ou sont des plages non cartographiées (NC).

On peut également signaler que 34,3 % des sols agricoles non caillouteux sont des zones de pâture, contre 84,8 % des sols à charge supérieure à 50%.

Ces informations sont résumées dans le graphique ci-dessous, ainsi que dans le tableau 4 qui l'accompagne.

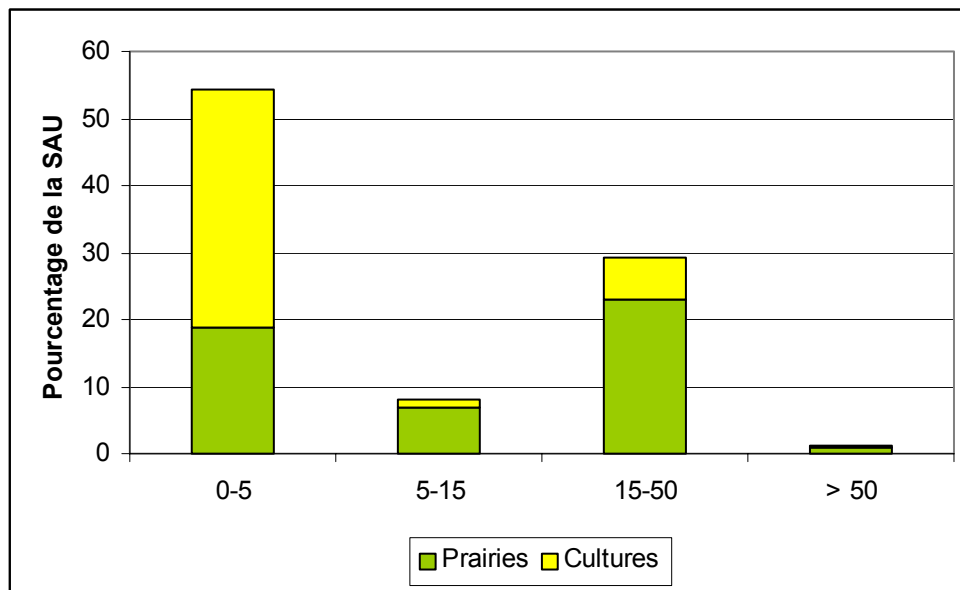


Figure 2 – Proportion des sols agricoles de chaque classe de pierrosité

Tableau 4 – Proportion des sols agricoles de chaque classe de pierrosité

Classe de charge	% de la SAU	Prairies (% pour chaque classe)	Cultures (% pour chaque classe)
0 – 5 %	54,4	34,3	65,7
5 – 15 %	8,2	83,8	16,2
15 – 50 %	29,2	78,8	21,2
> 50 %	1,1	84,3	15,2

La majeure partie des sols à vocation agricole (terres de cultures mais aussi prairies) est donc à charge comprise entre 0 et 50%. La superficie des terres emblavées est nettement supérieure à celle des prairies pour les sols non caillouteux, tandis que c'est l'inverse pour les sols caillouteux, même à faible charge.

4. Utilisation de la carte thématique à l'échelle des exploitations

Actuellement, la charge en EG des parcelles étudiées par GRENeRA et ECOP est estimée arbitrairement à 10 ou 0 %, selon qu'il subsiste ou non un refus sur le tamis de maille 8 mm (§1). Pour les parcelles situées sur des sols non caillouteux (au sens de la CNSW), l'erreur liée à l'estimation de la charge de cette façon est nulle (ou presque), tandis qu'elle est marquée pour les parcelles situées sur des sols caillouteux, et ce d'autant plus que le volume de la charge est important.

En cas de présence d'une charge en EG, il y a une diminution corrélative du volume de terre fine, et donc du stock d'azote si on considère les EG comme non poreux. Pour évaluer plus exactement le stock d'azote, il faut donc déterminer la charge en EG avec plus de précision. Les paramètres mesurés doivent être recalculés en tenant compte du pourcentage volumique de la fraction caillouteuse.

Une carte thématique de l'abondance de la charge caillouteuse a donc été réalisée pour les régions agro-pédologiques du Condroz et de la Famenne. Les séries de sols dominantes pour ces deux régions sont notamment caillouteuses, contrairement à celles des régions limoneuses (ouest, centre et est) et sablo-limoneuse, où se situent également les parcelles du SSA étudiées par GRENeRA. Le Condroz est une région-test intéressante car son contexte géologique est tel que l'on peut y rencontrer des matériaux variés sur le plan lithologique (grès, calcaire, schiste, sable, argile et limon) à l'origine de nombreux types de sols avec et sans charges caillouteuses.

En remplaçant les parcelles agricoles du SSA géoréférencées sur cette carte thématique, il est dès lors possible d'en avoir une estimation de l'abondance de la charge en EG, certes estimée, mais néanmoins plus réaliste que 0 ou 10 % (en volume).

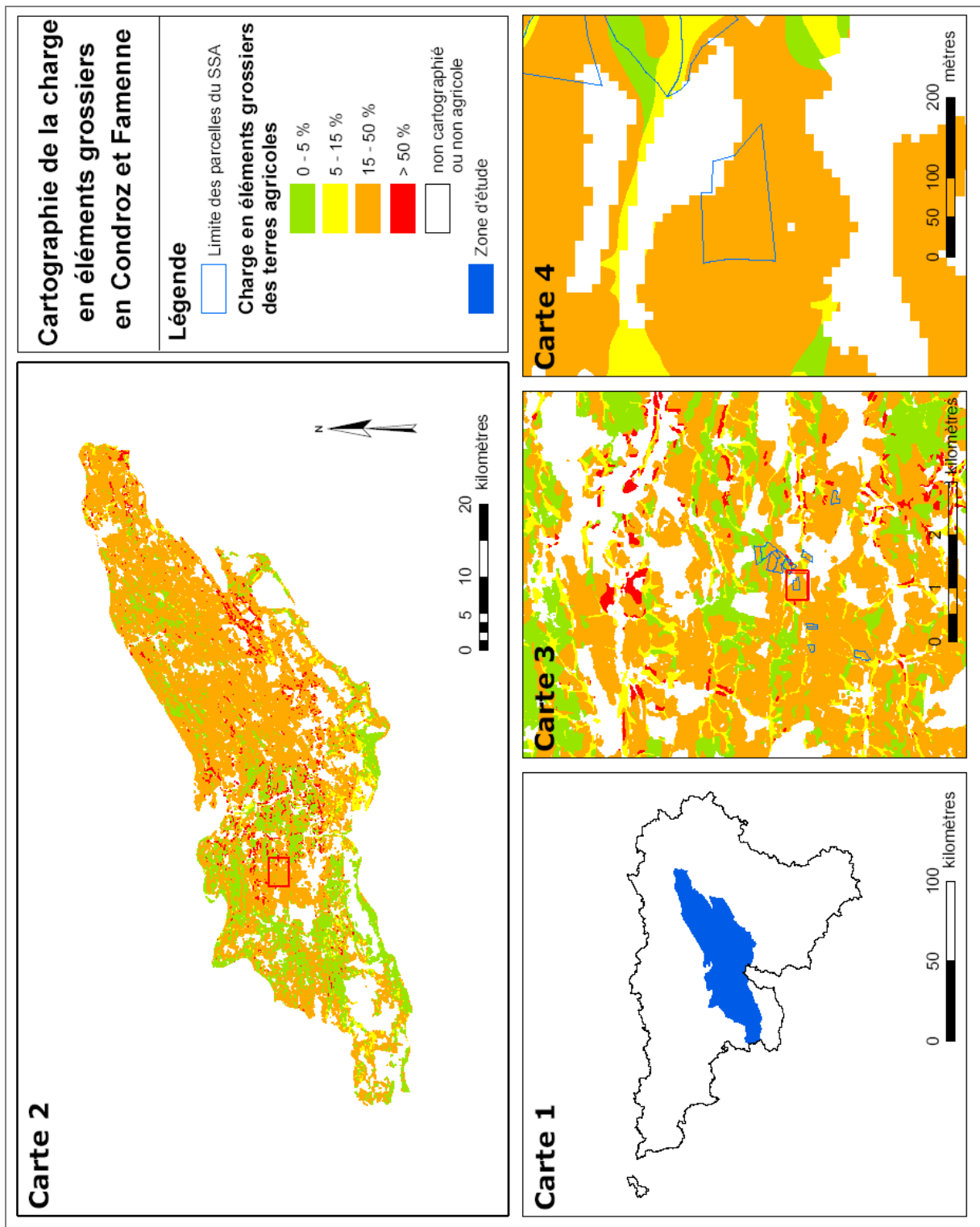
Cette carte de l'abondance de la charge en Condroz et Famenne est présentée ci-après (carte 2) ; la carte 1 localisant ces 2 régions en Wallonie. La carte 3 est un agrandissement d'une partie de la carte 2 ; on peut y voir quelques parcelles du SSA dont les limites apparaissent en bleu.

Pour déterminer dans quel ordre de grandeur le résultat du stock d'azote est sur- ou sous-estimé si on ne prend en compte que les deux classes de charge-labo (0 ou 10%), différentes parcelles correspondant à deux des quatre classes de charge-CNSW (à savoir 5-15% et 15-50%) ont été sélectionnées en Condroz et en Famenne (tableau 5). Aucune parcelle ne correspond à une terre à charge supérieure à 50 %, et il n'est pas utile de traiter les données des sols à charge nulle (0-5%).

Tableau 5 – Sélection de différentes parcelles

Classe de charge	Nom de l'agriculteur	Nom de la parcelle	N° de la parcelle
5 - 15	PAQUET	20 / Fagne Ouest	165
	PAQUET	50 / Preule Fauche	166
15 - 50	GEORGES	4 / Parcelle du bois	21
	GEORGES	6 / Parcelle VL-Génisses-BBB	22
	GEORGES	8/Parcelle BBB	25
	MOUREAUX	9 / Tronia 1	53
	MOUREAUX	16 / Prairie Tronia	54
	MOUREAUX	8 / Route de Flavion	56
	STEPHENNE	49 / Route de Sure (haut)	97
	MOUREAUX	22 / 4 Bonniers	319

La parcelle 56 est représentée sur la carte 4, par un agrandissement de la carte 3



Pour chacun des échantillons prélevés sur ces parcelles, on suppose que la charge a été estimée à 10% par les laboratoires. Ceci sera vérifié, si possible. Si on prend en compte la localisation de ces parcelles sur la carte des sols et donc leur charge telle que définie par ce document, le stock d'azote est sous ou sur-estimé :

- pour les 26 échantillons provenant des parcelles 165 et 166, le stock moyen est de 39,1 kg N-NO₃/ha (écart-type 45,5 kg/ha) :
 - si la charge en EG est de 5% plutôt que de 10 % : le stock d'azote est sous-estimé en moyenne de 2,0 kg N-NO₃/ha (écart-type 2,5 kg/ha) ;
 - si la charge en EG est de 15 % plutôt que de 10 % : le stock d'azote est surestimé en moyenne de 2,0 kg N-NO₃/ha (écart-type 2,5 kg/ha) ;
- pour les 86 échantillons provenant des autres parcelles, le stock moyen est de 63,0 kg N-NO₃/ha (écart-type 75,5 kg/ha) :
 - si la charge en EG est de 15 % plutôt que de 10 % : le stock d'azote est surestimé en moyenne de 3,5 kg N-NO₃/ha (écart-type 4,2 kg/ha) ;
 - si la charge est de 30 % plutôt que de 10 % : le stock d'azote est surestimé en moyenne de 14,0 kg N-NO₃/ha (16,8 kg/ha) ;
 - si la charge est de 50 % plutôt que de 10 % : le stock d'azote est surestimé en moyenne de 28,0 kg N-NO₃/ha (écart-type 33,6 kg/ha).

Les valeurs 5, 15, 30 et 50 % sont choisies pour cet exemple car elles correspondent aux valeurs extrêmes et médianes des deux classes de pierrosité caractérisant les parcelles choisies.

Ces résultats sont exprimés sous forme d'un tableau récapitulatif ci-dessous. Les valeurs entre parenthèses sont les écart-types des stocks moyens de chacune des classes de pierrosité.

Tableau 6 – Récapitulatif des calculs de stock pour différentes parcelles de Condroz et Famenne

	Nombre d'échant	Stock moyen (kg NO ₃ /ha) 10% EG	Pierrosité (% volume)	Sous-estimation (kg NO ₃ /ha)	Sur-estimation (kg NO ₃ /ha)	Ecart-type (kgNO ₃ /ha)
Classe 5-15%	26	39,1 (45,5)	5	2,0	-	2,5
			15	-	2,0	2,5
Classe 15-50%	86	63,0 (75,5)	15	-	3,5	4,2
			30	-	14,0	16,8
			50	-	28,0	33,6

La surestimation du stock est évidemment d'autant plus importante que l'abondance de la charge en EG et que les teneurs attendues en reliquats azotés sont élevées. Comparant les stocks d'azote de parcelles sur terres de culture (reliquat azoté attendu élevé) et sur prairies (reliquat azoté attendu plus faible), le tableau suivant en est l'illustration.

Tableau 7 – Récapitulatif des calculs de stock pour différents types d'occupation (culture et prairie)

	Occupation	Nombre d'échant.	Stock moyen (kg NO ₃ /ha) 10% EG	Pierrosité (%volume)	Sous-ou surestimation (kg NO ₃ /ha)	Ecart-type (kg NO ₃ /ha)
Classe 5-15%	Culture C1	4	73,0 (102,2)	5 15	4,0 4,0	5,7 5,7
	Prairie	12	18,2 (17,0)	5 15	1,0 1,0	0,9 0,9
Classe 15-50%	Culture C1	15	80,6 (56,0)	15	4,5	3,1
				30	17,9	12,4
	Prairie	40	42,0 (86,6)	50	35,8	24,9
				15	2,3	4,8
			30	9,3	19,3	
			50	18,7	38,5	

Pour la transformation des concentrations de nitrate (mg/100 g) en stocks de nitrate (kg/ha), il y a donc un intérêt manifeste à se référer à la carte des sols pour mieux prendre en compte le volume qu'occupent les éléments grossiers dans le sol échantillonné.

Néanmoins, les classes sont relativement larges. On peut donc *arbitrairement* choisir la valeur 10% dans la classe 5–15%, et la valeur 30 % dans la classe 15–50%. Les sols dont la charge en EG dépasse 50% selon la CNSW ne représentent que 1,1% de la SAU. Dans ce cas là, on peut choisir la valeur 50%. Le coefficient correcteur x qui tient compte de la dilution de la terre fine vaudra alors 1 (0% EG), 0,9 (10% EG), 0,7 (30% EG) ou 0,5 (50% EG).

Dans le cas des parcelles situées à cheval sur des sols de pierrosités différentes, on peut pondérer les estimations du volume de la charge par rapport à la superficie qu'occupent chacun de ces différents types de sols. Ceci est illustré par le schéma qui suit.

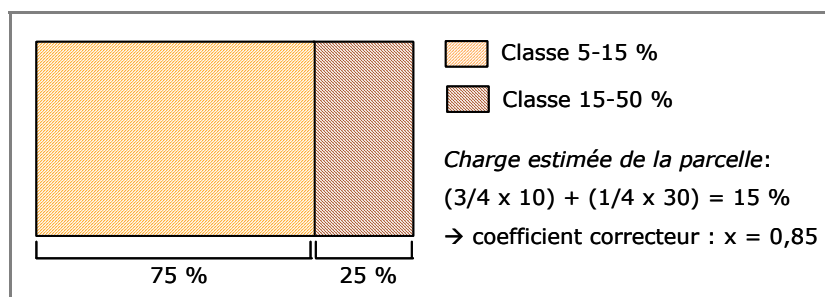


Figure 3 – Pondération de l'estimation de la charge par rapport à la superficie

5. Remarques

De prime abord, l'utilisation des informations de la CNSW pour la détermination du volume en EG est intéressante, car cette dernière donne différentes indications concernant la charge, notamment son abondance. Les parcelles échantillonnées étant à présent systématiquement géoréférencées, il semble donc aisé de se référer à la CSNW pour déterminer plus finement (0, 10, 30 ou 50 % plutôt que 0 ou 10 % uniquement), *mais toujours de façon arbitraire*, leur charge en EG, ce qui permet ensuite de recalculer le stock d'azote de façon plus précise. Cependant, quatre remarques importantes sont à mentionner.

5.1. Limite des dimensions des EG

Si on utilise la CNSW pour déterminer plus finement le volume occupé par les EG, on introduit un nouveau biais dans l'expression du résultat car les limites proposées pour les EG diffèrent selon la CNSW et la mise en œuvre au laboratoire (2mm et 8 mm respectivement). Dans l'expression des résultats d'analyse, une certaine proportion d'EG au sens de la carte des sols est déjà prise en considération ; il s'agit des EG de dimensions comprises entre 2 et 8 mm. Le schéma ci-dessous en est l'illustration.

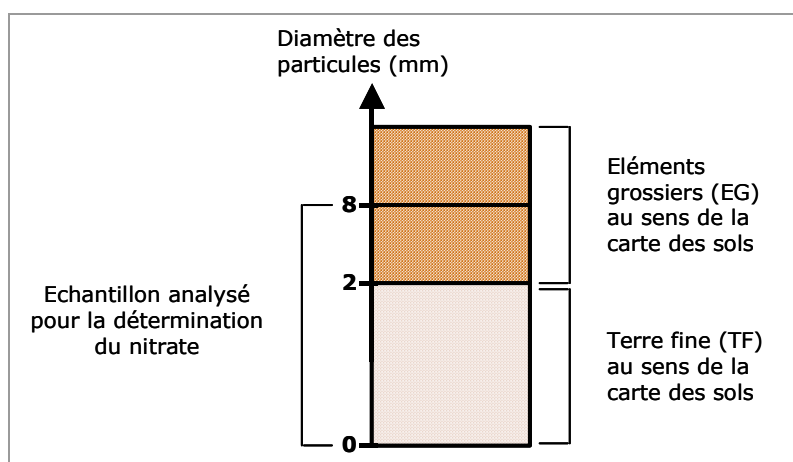


Figure 4 – Limite des dimensions des EG au sens de la CNSW et selon la mise en œuvre analytique

Prenons comme exemple le cas d'un sol constitué de 70% de TF, 15% d'EG de dimensions comprises entre 2 et 8 mm et 15% d'EG de dimensions supérieures à 8 mm, et dont les résultats d'analyse sont les suivants :

- 0,50 mg N-NO₃/100 g pour la couche 0-30 cm,
- 0,25 mg N-NO₃/100 g pour la couche 30-60 cm,
- 0,20 mg N-NO₃/100g pour la couche 60-90 cm.

Dans ce cas, comme il subsiste un refus sur le tamis de maille 8 mm, le laboratoire considère une charge de 10% en volume.

Les stocks d'azote sont alors estimés à :

- 36,5 kg N-NO₃/ha si on prend en compte 10% de charge en volume ;
- 28,4 kg/ha si l'on prend en compte l'information apportée par la CNSW, soit une charge de 30% en volume, sans se soucier de la proportion d'éléments de dimensions comprises entre 2 et 8 mm qui a influencé le résultat d'analyse. Ce résultat est en effet exprimé en mg N-NO₃/100 g de terre fine à 8 mm et on le multiplie par un coefficient correcteur qui tient compte du pourcentage volumique de la terre fine à 2 mm. La proportion d'éléments de dimensions comprises entre 2 et 8 mm, soit dans ce cas 17,6% (ou 15/85) de l'échantillon analysé, sera donc en quelque sorte prise deux fois en considération (une fois dans la charge caillouteuse et une fois dans les résultats d'analyse) ;
- 34,6 kg/ha si on effectue sur le résultat d'analyse une correction préliminaire relative aux 15% d'EG de dimensions comprises entre 2 et 8 mm. Dans ce cas, on obtient premièrement la concentration de nitrate dans la terre fine au sens de la CSNW (terre fine à 2 mm), avant de la multiplier par un coefficient correcteur 0,7 qui tient compte des 30% de charge en volume dans l'ensemble de la parcelle.

→ Dans ce cas, pour se rapprocher de la réalité, il vaut donc mieux considérer 10% de charge en volume plutôt que d'utiliser l'information apportée par la CNSW.

Pour les simplifier, les calculs sont opérés en considérant que la terre fine (TF) et les EG ont la même densité apparente.

Dans le cas d'un sol qui présenterait les mêmes résultats d'analyse, mais qui serait constitué de 70% de TF et de 30% d'EG de dimensions comprise entre 2 et 8 mm, les stocks d'azote seraient alors respectivement de 40,5 kg N-NO₃/ha, 28,4 kg/ha et 19,8 kg/ha. Dans ce cas, le laboratoire considère une charge de 0% car il ne subsiste aucun refus sur le tamis de maille 8 mm.

→ Dans ce cas, il vaut mieux considérer l'information apportée par la CNSW plutôt que de considérer une charge nulle.

Il faut donc connaître la proportion d'EG de dimensions comprises entre 2 et 8 mm. Cette proportion dépend de la nature lithologique de la charge et de son état d'altération. Pour chaque combinaison (classe de pierrosité x nature de la charge), des échantillons pourraient être récoltés pour déterminer une proportion moyenne.

Le problème se pose alors de déterminer le nombre de mesures nécessaires pour atteindre une précision donnée. Ceci se détermine grâce à l'équation suivante (Dagnelie, 1973) ($\alpha = 0,05$) :

$$n = 3,84 \sigma^2/d^2$$

Dans cette équation, n correspond au nombre de mesures (l'inconnue) et d à l'erreur absolue maximale admissible. On constate donc que le nombre de mesure à réaliser est directement dépendant de l'erreur maximum que l'on tolère, de la probabilité de dépassement α de cette erreur et de la variabilité des mesures. Cette relation ne peut rigoureusement être appliquée que si la distribution de la population est normale.

Pour déterminer la variance σ^2 de la proportion d'EG compris entre 2 et 8 mm de chacune de ces combinaisons, il faut faire des mesures sur un minimum de 4 échantillons (Colinet, comm.pers.) provenant de chacune de ces combinaisons.

Il y a donc ici un facteur d'imprécision que l'on ne peut pas estimer actuellement, faute de données.

5.2. Pondération

Dans le cas des parcelles situées à cheval sur des sols de pierrosités différentes, les estimations du volume de la charge peuvent être pondérées par rapport à la superficie qu'occupent chacun de ces différents types de sols.

Il faut alors signaler que pour l'élaboration de la Carte des Sols de la Belgique, des sondages ont été réalisés et décrits selon un maillage de 75 mètres, et que les limites des différentes unités cartographiques ont été replacées entre ces points en fonction notamment du relief ou de la végétation. Ces limites ne sont bien évidemment pas aussi tranchées dans la réalité. Il y a donc ici aussi un facteur d'imprécision.

5.3. Altération

L'altération de la charge est également un facteur important à prendre en considération lorsque l'on veut calculer plus finement le stock d'azote dans le sol. En effet, si les EG sont altérés, il se peut que leurs dimensions soient inférieures à 2 mm. Cette charge est dans ce cas considérée comme de la terre fine. Par exemple, une charge de psammite altérée donnera l'impression d'une texture sableuse.

La CNSW indique si la charge en EG est altérée (§2), mais pas dans quelle mesure (faiblement, fortement altérée ?). Il faudrait apporter un coefficient correcteur qui tiendrait compte de cette altération.

5.4. Porosité

Jusqu'à présent, on a considéré les EG comme étant des volumes inertes. Or Coutadeur *et al.* (2000) affirment, d'après les résultats d'une expérience menée sur des Calcosols (ou sols calcaires caillouteux) de Petite Beauce, qu'il est nécessaire de tenir compte du pourcentage volumique de la phase caillouteuse mais aussi de ses propriétés de rétention pour estimer correctement la réserve en eau utile (RU) de ces sols.

Dans ce cadre, cette expérience a montré que la non prise en compte de la phase caillouteuse conduisait à des surestimations de la RU de 22 à 39% mais que sa prise en compte comme une phase inerte (le volume des EG est pris en compte mais pas de leurs propriétés de rétention) conduisait à une sous-estimation de 8 à 34% de la RU. Les propriétés de rétention sont liées à la porosité de la phase caillouteuse.

Coutadeur *et al.* (2000), considéraient que les échanges entre phase caillouteuse et terre fine ne concernent pas uniquement l'eau mais aussi l'ensemble des éléments de la solution du sol. L'azote nitrique étant en solution dans l'eau du sol, celui-ci pourrait également se retrouver piégé dans des EG poreux (de type craie ou grès par exemple), et les plantes pourraient en avoir l'usage. Il serait donc intéressant d'évaluer la porosité effective (pores communicants) des différents types de charge pour affiner encore l'estimation des stocks d'azote nitrique dans les sols. Pour rappel, la nature lithologique de la charge est renseignée par la quatrième lettre, soit la troisième minuscule, du sigle de la série principale.

Il serait sans doute intéressant, notamment pour les conseils de fumure, de connaître approximativement les quantités d'azote qui peuvent être ainsi retenues et qui seront disponibles pour les végétaux.

Les propriétés de rétention (stockage et relargage de l'eau et donc des ion) de la phase caillouteuse en fonction de sa porosité sont donc à prendre en considération notamment dans les zones de grandes cultures où la conduite des cultures est fréquemment réalisée de façon indifférenciée par parcelle, les intrants étant gérés de façon uniforme quelle que soit l'hétérogénéité du milieu. *Leurs propriétés*

devront être prises en compte dans le cadre des techniques d'agriculture de précision qui peuvent permettre d'apporter des solutions novatrices de différenciation des apports en fonction des types de sol (Coutadeur et al., 2000).

6. Conclusion et perspectives

Les stocks d'azote à l'hectare sont obtenus par couche en effectuant le produit de la concentration moyenne en azote, de la densité apparente et de l'épaisseur de la couche. Si le sol présente une charge en EG, il faut multiplier ce résultat par un coefficient correcteur x qui tient compte de la dilution de la terre fine : $x = (100 - \% EG)/100$.

Etant donné la difficulté d'estimation et de représentation précises, la CNSW ne propose que 4 classes de charge en EG, relativement larges : (i) de 0 à 5 %, (ii) de 5 à 15 %, (iii) de 15 à 50 %, (iv) de plus de 50 %. Malgré cela, l'utilisation de cette dernière en combinaison avec le géoréférencement des parcelles permet une meilleure évaluation de l'abondance de la charge en EG des échantillons, actuellement estimée uniquement à 0 (absence de refus sur le tamis de maille 8 mm) ou 10% (présence d'un refus sur le tamis) par les laboratoires. Pour chacune des 4 classes, les valeurs 0, 10, 30 ou 50% peuvent être retenues arbitrairement pour estimer la charge de façon plus fine.

Avec les informations dont on dispose actuellement, ce rapport ne peut être que qualitatif. Pour quantifier le gain de précision lié à l'utilisation de l'information donnée par la CNSW dans le calcul des stocks d'azote, il faudrait :

- mesurer avec précision le volume d'EG au sein de différentes parcelles ;
- connaître la proportion d'EG de taille comprise entre 2 et 8 mm pour chaque classe et type de charge ;
- évaluer l'altération de la charge ;
- connaître la porosité effective pour chaque type lithologique.

Une analyse quantitative ne pourra donc être menée qu'avec une campagne d'essai sur le terrain. Ceci pourrait faire l'objet d'une réflexion ultérieure.

De plus, il faudrait également évaluer plus finement la densité apparente pour encore diminuer l'erreur sur la détermination du stock d'azote. Selon Schmidhalter *et al.* (1992), les coefficients de variation intraparcellaires de la densité apparente et de la pierrosité sont faibles. Peu d'échantillons par parcelles suffiraient donc pour estimer correctement les valeurs moyennes de ces deux paramètres. Ceux-ci peuvent être supposés constants au cours de l'année, à l'exception de l'épaisseur de l'horizon travaillé ce qui concerne la densité apparente.

A ce stade, bien qu'on ne puisse pas la quantifier et qu'on cumule les imprécisions énoncées ci-dessus, l'erreur liée à l'estimation de la charge est dans la plupart des cas moins importante lorsque l'on considère quatre classes de pierrosité plutôt que deux. Pour les régions à charge caillouteuse significative, l'utilisation systématique de la CNSW est donc préconisée pour estimer plus finement l'abondance de la charge, facteur intervenant dans le calcul d'estimation des stocks d'azote nitrique dans les parcelles échantillonnées.

Il n'y a que dans le cas de parcelles présentant une charge réelle comprise entre 16 et 19 % en volume que l'erreur liée à l'estimation de la charge via les classes de la CNSW est plus importante que si l'on avait considéré seulement les deux classes 0 et 10 % ; ceci pour autant qu'il y ait des EG de dimensions supérieures à 8 mm.

En effet, la sous-estimation du stock liée à la première méthode (qui considère 30% de charge en volume) est plus importante que la surestimation du stock liée à la seconde méthode (qui considère 10% de charge en volume). Ceci peut être visualisé sur la figure 5.

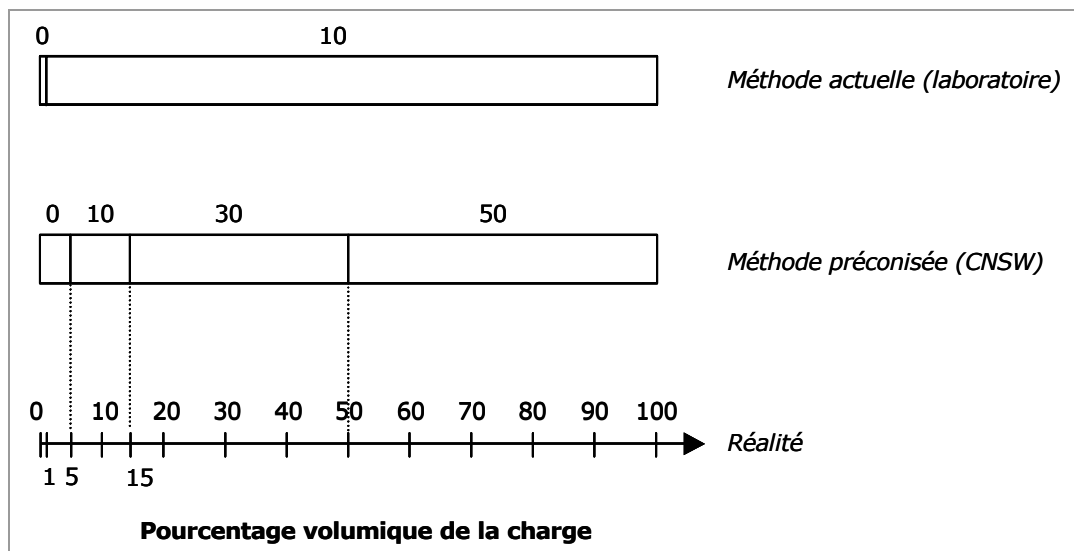


Figure 5 – Pierrosité réelle et classes de charge correspondantes selon les laboratoires d’analyse et la CNSW

De plus, puisqu’il sous-estime systématiquement la charge (seuls les EG de diamètre inférieur au diamètre de la sonde peuvent être prélevés), le mode de prélèvement par sonde tubulaire plaide en la faveur d’utilisation de la CNSW pour estimer la pierrosité des parcelles échantillonnées.

La possibilité de mise en œuvre de cette méthode sera évaluée en concertation avec le laboratoire provincial actif en Condroz et Famenne.

7. Références bibliographiques

ANONYME. [1991]. *Directive 91/676/CEE du Conseil, du 12 décembre 1991, concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles* (JOCE n° L375 du 31/12/1991).

ANONYME. [2002]. *Arrêté du Gouvernement wallon relatif à la gestion durable de l'azote en agriculture* (MB 29/11/2002).

BAH B., ENGELS P., COLINET G. [2005]. *Légende de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (Belgique) sur base de la légende originale de la Carte des sols de la Belgique de l'IRSIA à 1/20.000*. Gembloux : Faculté universitaire des Sciences Agronomiques, 53 p.

BAIZE D., JABIOL B. [1995]. *Guide pour la description des sols*. Paris : INRA, 375 pp.

COUTADEUR C., COUSIN I., NICOUILLAUD B. [2000]. Influence de la phase caillouteuse sur la réserve en eau des sols. Cas des sols de Petite Beauce du Loiret. *In Etude et Gestion des Sols*, 7 (3) : 191 – 205.

DAGNELIE P., [1973]. *Théorie et méthodes statistiques*, Volume 1, Les Presses Agronomiques de Gembloux. 378 p.

DESTAIN J.P., REUTER V., FRANKINET M., DELCARTE E., MOHIMONT A.C., VANDENBERGHE C., MARCOEN J.M. [2002]. Etablissement d'un cahier des charges pour la mesure d'azote nitrique dans les sols – Synthèse et justifications. *In Rapport d'activités annuel intermédiaire 2002*, Dossier GRENeRA 02 – 01, 20 p.

GRAS R. [1994]. *Sols caillouteux et production végétale*. Paris : INRA, 175 p.

LOZET J., MATHIEU C. [2002]. *Dictionnaire de Science du Sol*. Paris : TEC & DOC, 575 p.

MOHIMONT A.-C., MAESEN P., VANDENBERGHE C., DELCARTE E., MARCOEN J.M. [2003]. Etude comparative de différents modes de conservation d'échantillons de sols en vue de l'analyse d'azote nitrique. *In* MARCOEN J.M., MOHIMONT A.-C., VANDENBERGHE C. [2004]. *Convention-cadre relative au programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne. Rapport d'activités annuel intermédiaire 2003 de GRENeRA*. Gembloux : Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, 49 p.

MORVAN X., BRUAND A., COUSIN I., ROQUE J., BARAN N., MOUVET C. [2003]. Prédiction des propriétés de rétention en eau des sols d'un bassin versant à l'aide de fonctions de pédotransfert : influence de la densité apparente et de la teneur en éléments grossiers. *Etude et Gestion des Sols*, 11 (2) : 117-135.

SCHMIDHALTER U., ALFOELDI T., OERTLI J.J., HENGGELER G. [1992]. Représentativité des analyses de l'azote minéral résiduel du sol. *Revue suisse Agric.* 24 (1) : 51-56.

VANDENBERGHE C., MARCOEN J.M. [2004]. Transposition de la Directive Nitrate (CE) en Région wallonne : azote potentiellement lessivable de référence pour les sols cultivés en région wallonne. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 8 (2) : 111-118.

VANDENBERGHE C., MOHIMONT A.-C., LAROCHE J., COLINET G., MARCOEN J.M. [2002]. Variabilité spatiale et temporelle (à l'échelle d'une parcelle) du profil des concentrations en azote d'un sol agricole. *In* MARCOEN J.M., MOHIMONT A.-C., VANDENBERGHE C. [2003]. *Convention-cadre relative au programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne. Rapport d'activités annuel intermédiaire 2002 de GRENeRA*. Gembloux : Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, 84 p.