



Regard sur les résultats d'analyses de sol (nitrate et ammonium) en sortie d'hiver



Ce document doit être cité de la manière suivante :

Vandenberghe C., Colinet G., 2016. *Regard sur les résultats d'analyse de sol (nitrate et ammonium) en sortie d'hiver*. Dossier GRENeRA **16-05**. 19p. In De Toffoli M., Vandenberghe C., Imbrecht O., Bah B., Bachelart F., Colinet G., Lambert R., 2016. *Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne – Rapport d'activités annuel intermédiaire 2016 des membres scientifiques de Nitrawal*. Université catholique de Louvain et Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech, 20p. + annexes.

Table des matières

1. INTRODUCTION.....	3
2. SUIVI DE L'AMMONIUM DANS DES PARCELLES DE CÉRÉALES	4
2.1. INTRODUCTION.....	4
2.2. RÉSULTATS.....	5
2.3. FACTEURS PÉDOCLIMATIQUES ET ANTHROPIQUES	6
2.4. CONCLUSION.....	7
3. EVOLUTION DU RELIQUAT AZOTÉ EN SORTIE D'HIVER AU COURS DE LA PÉRIODE 2012-2016	8
3.1. INTRODUCTION.....	8
3.2. RÉSULTATS 0-90	8
3.2.1. <i>Vues globale et interannuelle.....</i>	<i>8</i>
3.2.2. <i>Vue par précédent cultural</i>	<i>9</i>
3.2.3. <i>Vue par région agricole</i>	<i>10</i>
3.2.4. <i>Céréale en place suite à un précédent pauvre</i>	<i>11</i>
3.2.5. <i>Céréale en place suite à un précédent riche</i>	<i>12</i>
3.2.6. <i>Précédent céréale paille enlevée.....</i>	<i>13</i>
3.2.7. <i>Colza en place.....</i>	<i>14</i>
3.2.8. <i>Précédent maïs fourrager</i>	<i>15</i>
3.3. CONCLUSION.....	16
4. EVOLUTION DU RELIQUAT AZOTÉ AU COURS DE L'HIVER 2015-2016 DANS LES PARCELLES DE CÉRÉALE.....	18

1. Introduction

La Structure d'encadrement des agriculteurs constituée en 2000, en vue de la mise en œuvre du Programme de Gestion Durable de l'Azote en agriculture (PGDA) a entre autres pour missions de susciter et d'aider les agriculteurs à raisonner la fertilisation azotée de leurs cultures en vue de préserver/restaurer la qualité des masses d'eau.

Dans ce cadre, ses membres réalisent/ont réalisé, collectent et diffusent chaque année des centaines de résultats d'analyses de sol (mesure du reliquat azoté) en sortie d'hiver.

Ces résultats permettent d'établir des conseils de fertilisation azotée dans des parcelles pour lesquelles l'agriculteur ou le conseiller agricole ne disposerait pas d'une mesure. Ils constituent le premier poste du 'bilan prévisionnel de fertilisation'.

Deux thématiques sont étudiées dans ce dossier :

1. Actuellement, le stock d'azote disponible en sortie d'hiver est majoritairement établi par le seul dosage du nitrate ; l'ammonium n'est mesuré que par quelques laboratoires. Comment-on un biais important en ne dosant pas tout l'azote minéral ?
2. La collecte et synthèse des observations en sortie d'hiver ont débuté il y a cinq ans. Ce 'cap' est l'occasion de prendre un peu de hauteur sur ces résultats afin de dégager d'éventuelles tendances interannuelles et d'évaluer l'impact de tel ou tel facteur (région agricole, précédent). Cet examen permettra *in fine* de confirmer ou d'adapter l'actuelle méthodologie.

2. Suivi de l'ammonium dans des parcelles de céréales

2.1. Introduction

Dans le cadre d'établissement des références APL (en collaboration avec l'UCL), GRENeRA encadre une vingtaine d'exploitations agricoles situées en zone vulnérable (points rouges sur la figure 1). Dans ces exploitations, des analyses de sols sont régulièrement réalisées pour d'une part prodiguer un conseil de fertilisation et, d'autre part, élaborer les références APL.

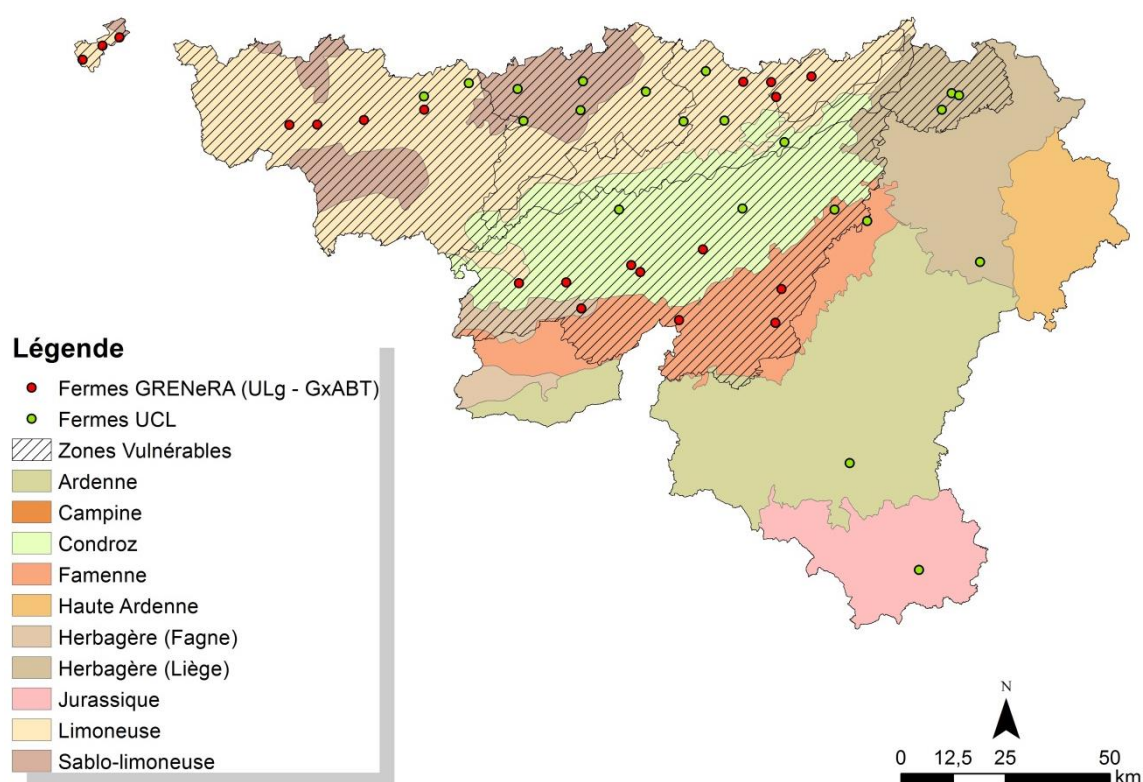


Figure 1. Localisation des 41 fermes du SSA en 2016

Dans ce contexte, GRENeRA collabore également à l'édition annuelle du Livre Blanc (Edition GxABT & CRAW) en vue de conseiller les agriculteurs entre autres pour la fertilisation azotée de leurs céréales.

A cette fin, GRENeRA a prélevé, du 25 au 29 janvier 2016, des échantillons de sol dans 92 parcelles situées dans les provinces du Hainaut, de Namur et de Liège dans les exploitations encadrées par GRENeRA (figure 1). Ces échantillons ont été analysés par le CRAW pour doser l'ammonium et le nitrate.

L'objectif est double, à savoir :

- évaluer le stock d'azote ammoniacal et nitrique dans les parcelles de céréales en sortie d'hiver,
- rechercher d'éventuelles relations entre ces résultats et des facteurs pédoclimatiques ou anthropiques.

2.2. Résultats

On constate que le stock d'azote nitrique représente de l'ordre de 85% du stock d'azote minéral ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) présent dans le sol (tableau 1). D'autre part, le stock d'azote ammoniacal est également distribué dans les trois couches de sol.

Tableau 1. Synthèse des résultats (NH_4 e NO_3) par couche

Variable	Couche	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
N- NO_3 kg/ha	0 - 30 cm	92	10,903	3,217	4,900	8,695	10,400	12,612	21,040
	30 - 60 cm	92	12,218	5,968	3,830	7,918	11,235	14,727	35,510
	60 - 90 cm	92	16,582	9,461	2,880	9,297	13,610	21,555	47,750
N- NH_4 kg/ha	0 - 30 cm	92	2,319	3,185	0,430	0,650	2,070	2,702	29,400
	30 - 60 cm	92	2,479	1,502	0,540	0,723	2,580	3,198	9,660
	60 - 90 cm	92	2,559	1,464	0,560	1,373	2,565	3,305	8,600

La figure 2 illustre l'absence de relation entre le stock d'azote nitrique et le stock d'azote ammoniacal ($P= 0.836$).

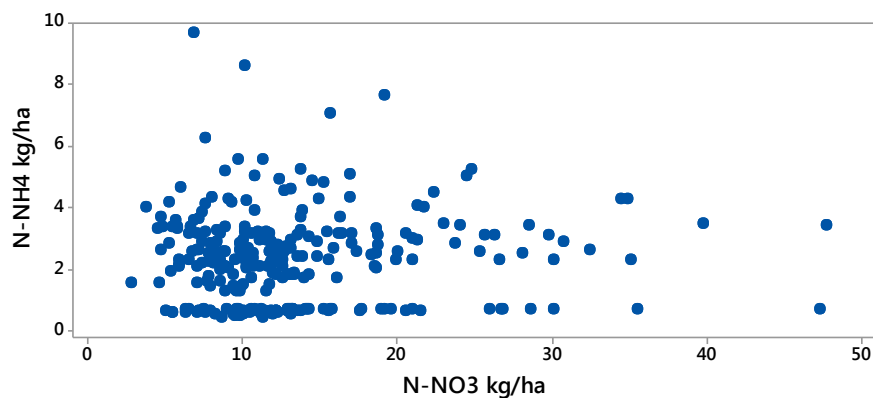


Figure 2. Relation entre l'azote nitrique et ammoniacal.

La discrétisation par couche et contexte pédoclimatique n'apporte aucune amélioration sur la mise en évidence d'une éventuelle relation entre l'ammonium et le nitrate (figure 3).

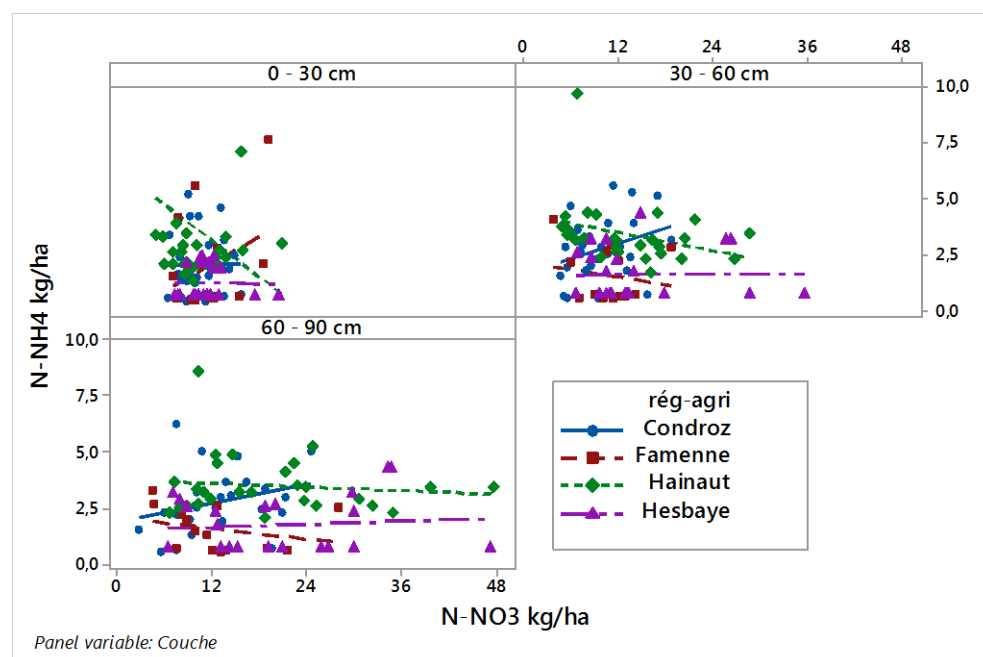


Figure 3. Relation entre l'azote nitrique et ammoniacal, par couche et contexte pédoclimatique.

2.3. Facteurs pédoclimatiques et anthropiques

L'analyse de la variance met en évidence une relation significative ($P=0.000$) entre le stock d'azote ammoniacal et le contexte pédoclimatique (Hainaut, Hesbaye, Condroz ou Famenne). Néanmoins, ce facteur n'explique que 12% de la variabilité.

Un test de Tukey permet d'effectuer les regroupements suivants :

<u>rég agri</u>	<u>N</u>	<u>Mean</u>	<u>Grouping</u>
Hainaut	84	3,510	A
Condroz	81	2,520	B
Famenne	42	1,727	B C
Hesbaye	69	1,528	C

La figure 4 permet d'illustrer et préciser les différences par couche de sol et contexte pédoclimatique.

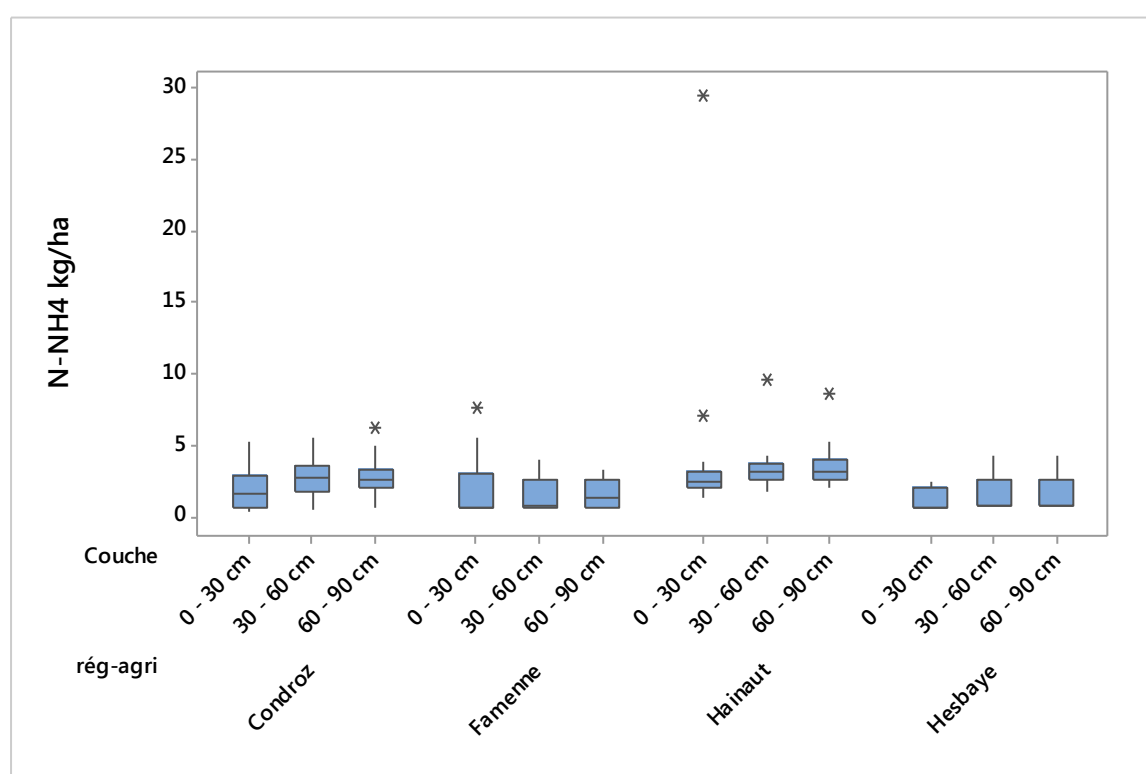


Figure 4. Boxplot de l'azote ammoniacal par couche de sol et contexte pédoclimatique.

En ce qui concerne l'impact du facteur anthropique (effet 'agriculteur'), l'analyse de la variance met également en évidence une relation significative entre ce facteur et le stock d'azote ammoniacal dans le sol ($P=0.000$). Ce facteur explique 34% du résultat analytique.

2.4. Conclusion

L'étude menée sur des analyses de sol réalisées dans 92 parcelles de céréales en janvier 2016 a mis en évidence :

- un stock assez faible d'azote ammoniacal (de l'ordre de 7 kg/ha, soit environ 15% de l'azote minéral) ;
- une absence de corrélation entre l'azote ammoniacal et l'azote nitrique ;
- des facteurs anthropiques et pédoclimatiques qui peuvent en partie expliquer les résultats analytiques (figure 5).

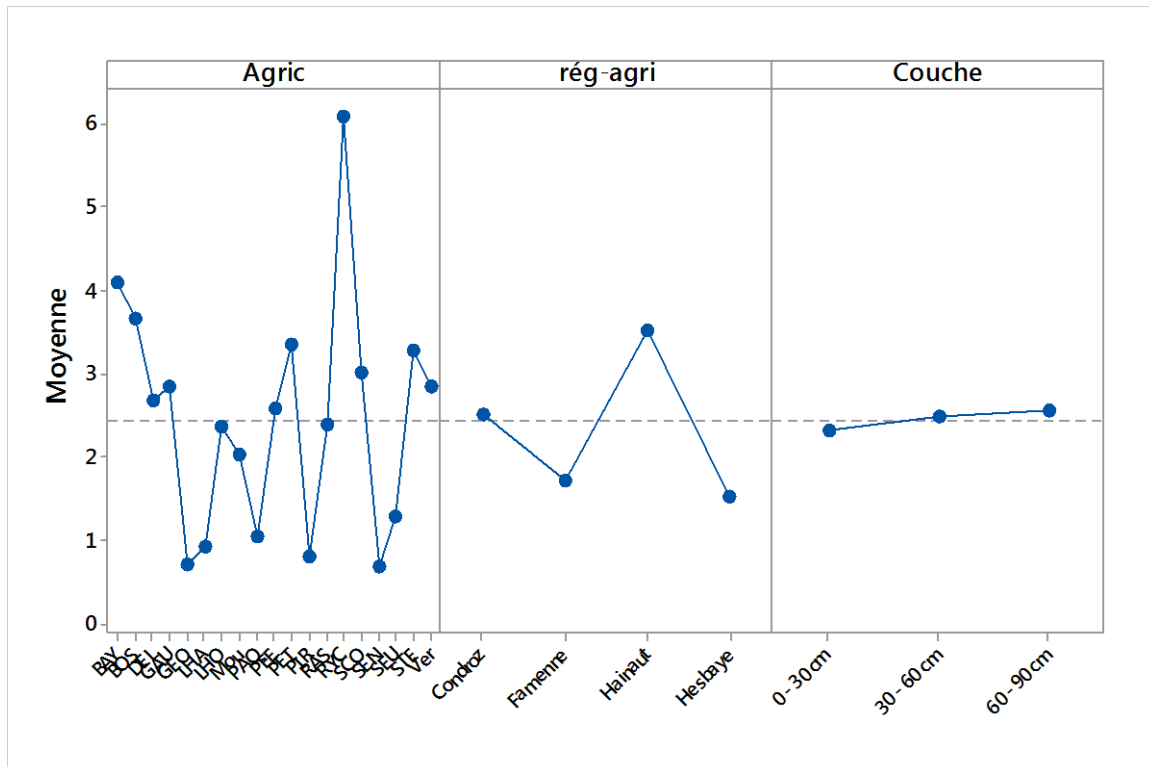


Figure 5. Moyenne des résultats (kg N-NH4/ha) par agriculteur, contexte pédoclimatique et couche de sol.

Il convient cependant de rappeler que ces considérations ne concernent que des observations réalisées dans (i) un contexte agronomique de céréale en place et (ii) pédoclimatique limité au sud à la Famenne.

Pour illustrer l'importance de ces deux facteurs, mentionnons les résultats de deux analyses de sol réalisées en mars 2016 à Paliseul (Ardenne) sur un sol nu en vue d'un conseil de fertilisation pour du maïs. Ces deux analyses ont mis révélé environ 30 à 40 kg N-NO₃/ha et environ 90kg N-NH₄/ha également distribués dans les trois couches du profil. Dans ce contexte pédoclimatique particulier (pH~5) mais représentatif de l'Ardenne, ce constat n'est pas anormal puisque :

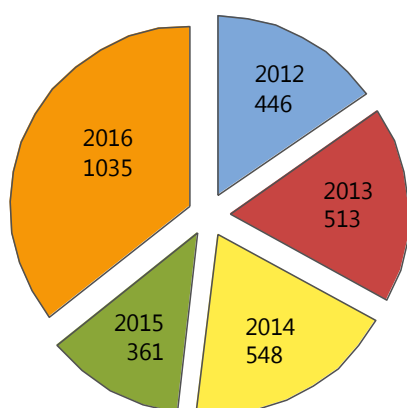
- en ce qui concerne l'abondance d'ammonium par rapport au nitrate, il s'agit là d'un effet du pH. Dans un sol 'acide', les bactéries responsables de la nitrification (transformation de l'ammonium en nitrate) sont peu actives ; le processus de dégradation de la matière organique est donc assez ralenti à partir du stade ammonium.
- la charge positive de l'ammonium est telle qu'il doit être naturellement 'retenu' par le complexe argilo-humique mais dans de telles conditions de pH, la capacité d'échange cationique diminue ; le sol a donc une affinité nettement moindre pour les cations; ce qui explique qu'on retrouve l'ammonium en profondeur.

3. Evolution du reliquat azoté en sortie d'hiver au cours de la période 2012-2016

3.1. Introduction

Chaque année, plusieurs centaines d'observations (0-90 cm) sont rassemblées (figure 6) par GRENeRA pour être synthétisées et régulièrement communiquées via le site web de Nitrawal aux conseillers et agriculteurs.

Initialement, les informations provenaient essentiellement de Nitrawal asbl et de ses deux partenaires scientifiques. En 2016, grâce à la collaboration mise en place avec la Station Provinciale (Liège) d'Analyses Agricoles et la Raffinerie Tirlemontoise, la base de données a pu être densifiée.



Légende des quartiers : année et effectif d'observations.

Figure 6. Distribution des observations (0-90 cm) par année

3.2. Résultats 0-90

3.2.1. Vues globale et interannuelle

On constate également que le reliquat azoté moyen montre une tendance générale à la diminution depuis 2012 (figure 7) sans relation évidente avec la pluviométrie hivernale (octobre à décembre).

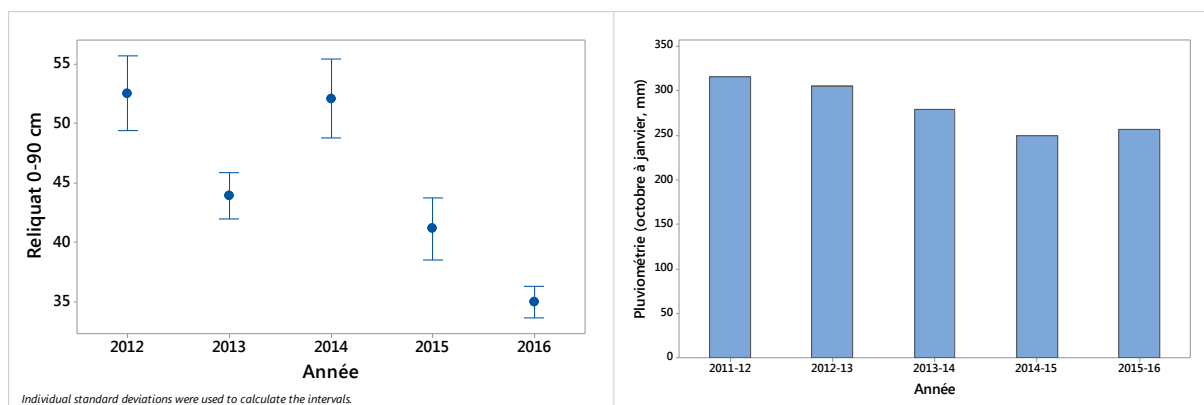


Figure 7. Intervalle de confiance du reliquat azoté moyen (gauche) et pluviométrie hivernale (droite)

3.2.2. Vue par précédent cultural

L'analyse des résultats triés par précédent cultural (figure 8) livre quelques enseignements intéressants :

- un précédent 'betterave', 'légume', 'légumineuse', 'maïs fourrager' ou 'pomme de terre' laissé nu au cours de l'hiver présente un reliquat azoté moyen significativement supérieur à une 'céréale en place'. Pour la betterave, le niveau élevé s'explique par la décomposition des feuilles de betterave qui peuvent contenir jusqu'à 100 kg N/ha. Pour les autres cultures, le niveau élevé s'explique par un niveau d'APL généralement également élevé ;
- pour une céréale en place, l'impact du précédent (pauvre tel que la betterave ou riche tel que le maïs, les légumes ou la pomme de terre) reste bien visible en sortie d'hiver (+10 kg N-NO₃/ha) ;
- pour un précédent 'céréale', l'enfouissement de la paille réduit également d'une dizaine d'unités le stock d'azote nitrique en sortie d'hiver ;
- par l'importance de leur développement avant l'hiver, le colza en place et le ray-grass affichent les valeurs les plus basses.

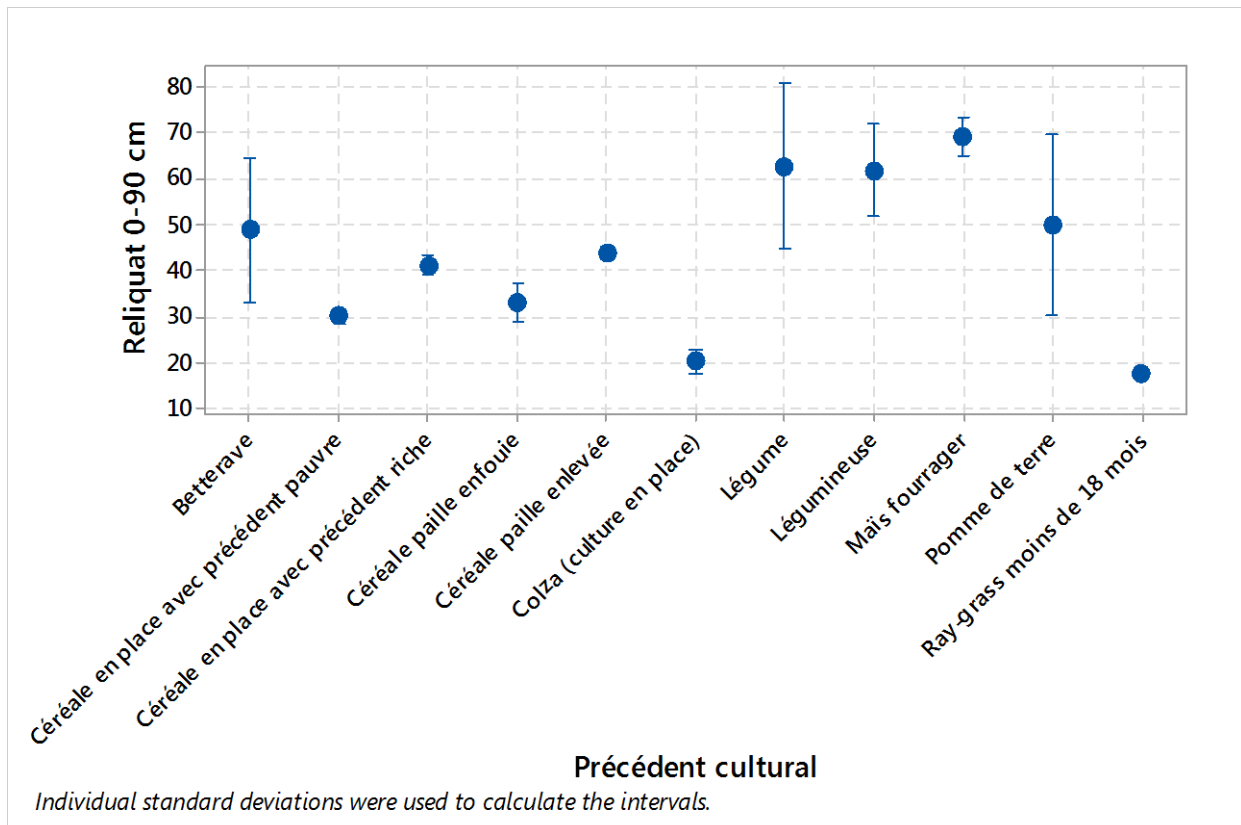


Figure 8. Intervalle de confiance du reliquat azoté moyen (0-90 cm) par précédent cultural.

A noter que les précédents pour lesquels l'intervalle de confiance de la moyenne est élevé (betterave, légume et pomme de terre) présentent régulièrement (et heureusement vu le niveau élevé de ces moyennes) des effectifs très faibles (de l'ordre d'une dizaine d'observations à comparer aux quelques 3000 observations tous précédents confondus), indice que ces situations sont peu fréquentes ; l'usage étant de semer du froment après ces précédents.

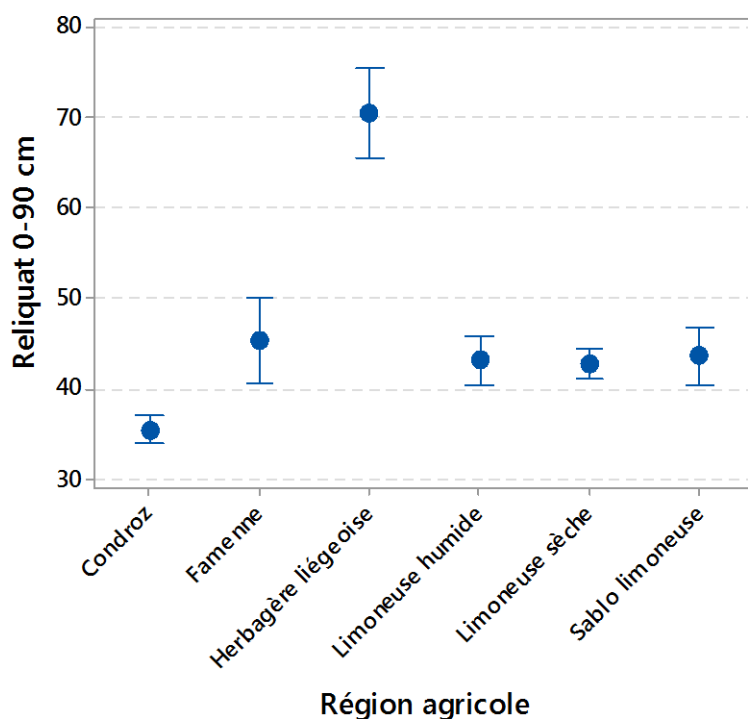
3.2.3. Vue par région agricole

L'analyse des résultats triés par région agricole (figure 9) met en évidence un niveau particulièrement élevé en région herbagère liégeoise. Celui-ci s'explique par l'importance de l'effectif du précédent 'maïs fourrager' (186 observations) par rapport aux autres précédents (76 observations) et du niveau élevé du reliquat azoté moyen pour ce précédent (79 kg N-NO₃⁻/ha).

Le fait d'observer une telle proportion de ce précédent indique clairement un recours régulier à la monoculture de maïs. Rappelons néanmoins que la région Herbagère liégeoise comporte, comme son nom l'indique, une part très importante de prairies qui 'diluent' l'impact négatif de la monoculture de maïs.

A l'opposé, le niveau très faible observé dans le Condroz trouve son explication dans :

- une proportion significative de 'colza en place' et de 'céréale en place',
- une faible contribution de 'précédents riches' non suivis d'une céréale et
- une fertilisation sans doute mieux maîtrisée dans la monoculture de maïs.



Individual standard deviations were used to calculate the intervals.

Figure 9. Intervalle de confiance du reliquat azoté moyen (0-90 cm) par région agricole.

3.2.4. Céréale en place suite à un précédent pauvre

L'examen de la figure 10 indique que la majorité des observations provient du Condroz et de la région limoneuse sèche.

Les reliquats azotés moyens (interannuels) les plus faibles (de l'ordre de 26 kg N-NO₃/ha) sont observés dans le Condroz, en Famenne et dans la région sablo-limoneuse.

Les régions limoneuses sèche et humide présentent des valeurs similaires (de l'ordre de 31 kg N-NO₃/ha).

Enfin les observations réalisées en région herbagère indiquent un niveau plus élevé (43 kg N-NO₃/ha).

Comme également illustré à la figure 7, on observe généralement une tendance à la baisse au cours de la période 2012-2016.

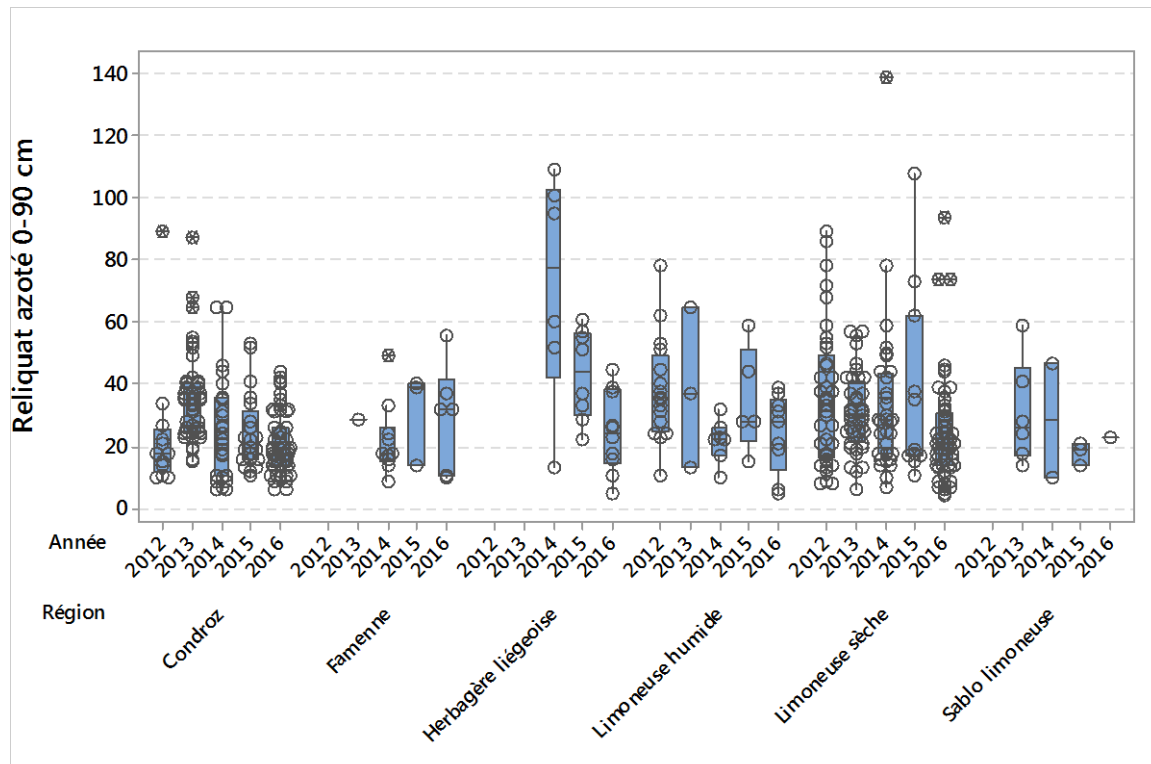


Figure 10. Synthèse des observations avec une céréale en place suite à un précédent pauvre.

3.2.5. Céréale en place suite à un précédent riche

L'examen de la figure 11 indique que la majorité des observations provient du Condroz et de la région limoneuse.

Les reliquats azotés moyens (interannuels) les plus faibles (de l'ordre de 36 kg N-NO₃/ha, soit dix unités de plus que pour une céréale en place suite à un précédent pauvre) sont observés dans le Condroz et en Famenne.

En ce qui concerne les régions limoneuses sèche et humide, on observe contrairement au précédent pauvre, une différence interannuelle plus marquée, surtout en 2016 (53 kg N-NO₃/ha en région limoneuse humide et 29 kg N-NO₃/ha en région limoneuse sèche).

Comme également illustré de façon générale à la figure 7, on observe une tendance à la baisse au cours de la période 2012-2016.

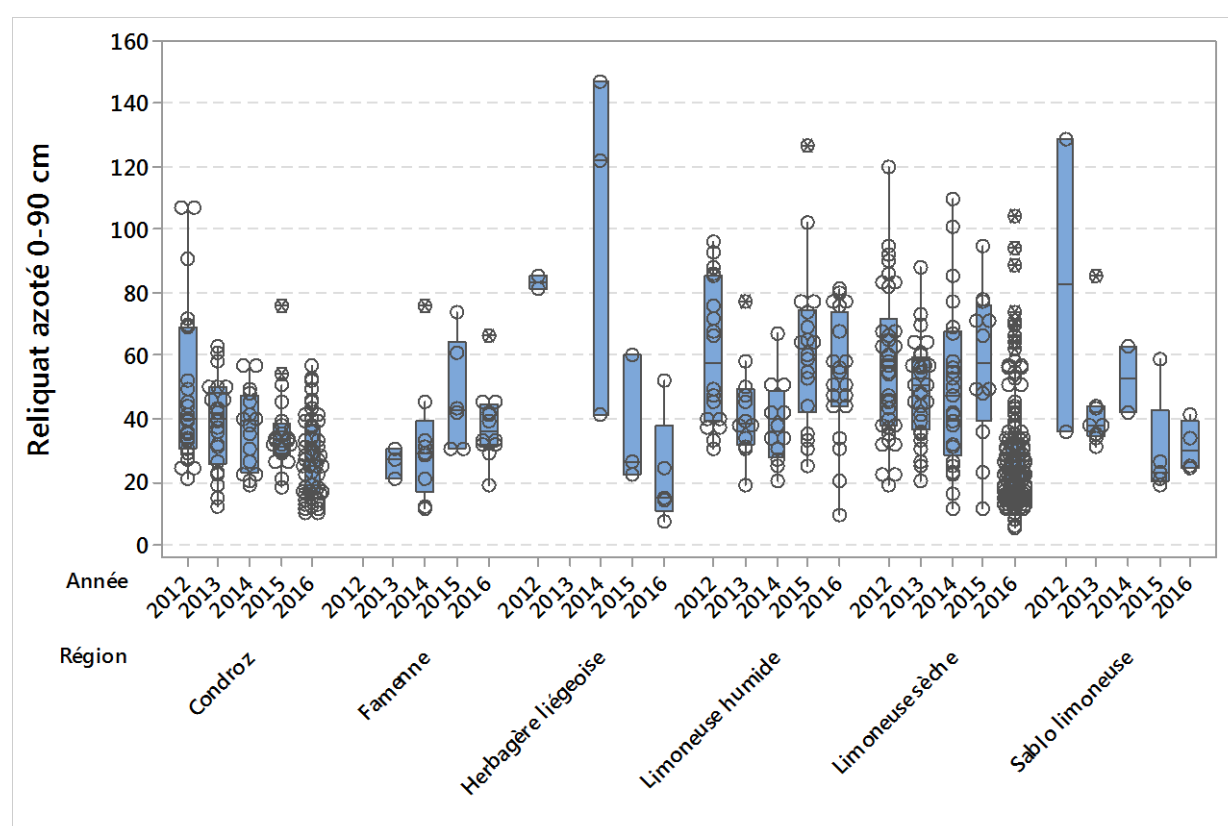


Figure 11. Synthèse des observations avec une céréale en place suite à un précédent riche.

3.2.6. Précédent céréale paille enlevée

Pour cette classe d'occupation du sol, le Condroz, les régions limoneuses et sablo-limoneuse comptent plusieurs centaines d'observations (non illustré sur la figure 12).

Les reliquats azotés moyens (interannuels) les plus faibles (de l'ordre de 39 kg N-NO₃/ha) sont observés dans le Condroz et en région limoneuse humide ; ils se démarquent clairement (Test par paire de Tukey) des observations réalisées en région limoneuse (46 kg N-NO₃/ha) et région herbagère (55 kg N-NO₃/ha).

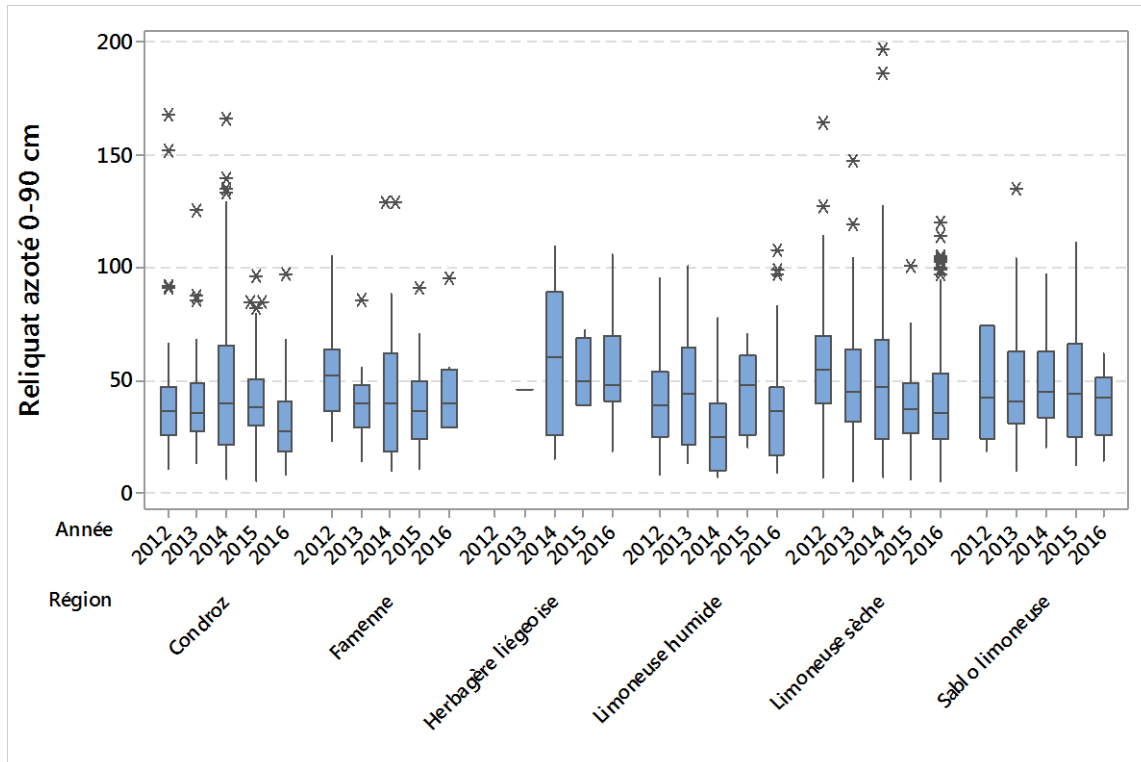


Figure 12. Synthèse des observations après un précédent céréale paille enlevée.

Comme également illustré de façon générale à la figure 7, on observe une tendance à la baisse au cours de la période 2012-2016 (figure 13). Un test de Tukey met en évidence un premier groupe (2012 à 2015) et un second groupe (2015-2016).

L'hiver 2015-2016 a été marqué par une pluviométrie plus importante (environ 360 mm de novembre à février) que les années précédentes (de l'ordre de 270 mm) ; ce qui contribue à l'explication d'un niveau plus faible par rapport aux années 2012-2014.

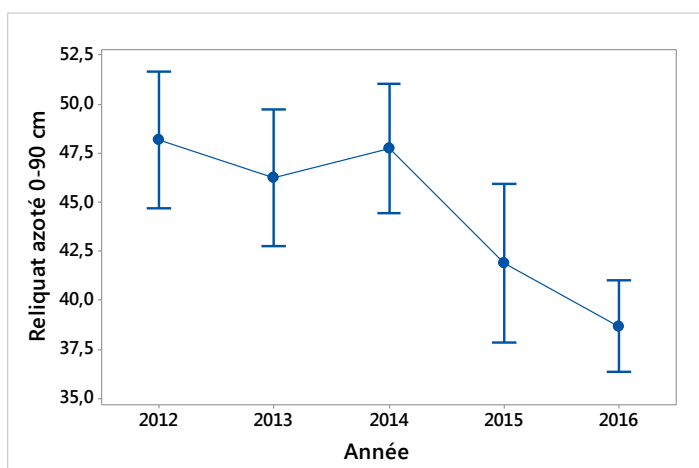


Figure 13. Intervalles de confiance de la moyenne pour un précédent céréale paille enlevée.

3.2.7. Colza en place

L'examen de la figure 14 indique que la majorité des observations provient du Condroz.

Bien que statistiquement non différentes, la moyenne la plus basse est observée en Famenne (13 kg N-NO₃/ha) et la plus élevée en région limoneuse sèche (24 kg N-NO₃/ha).

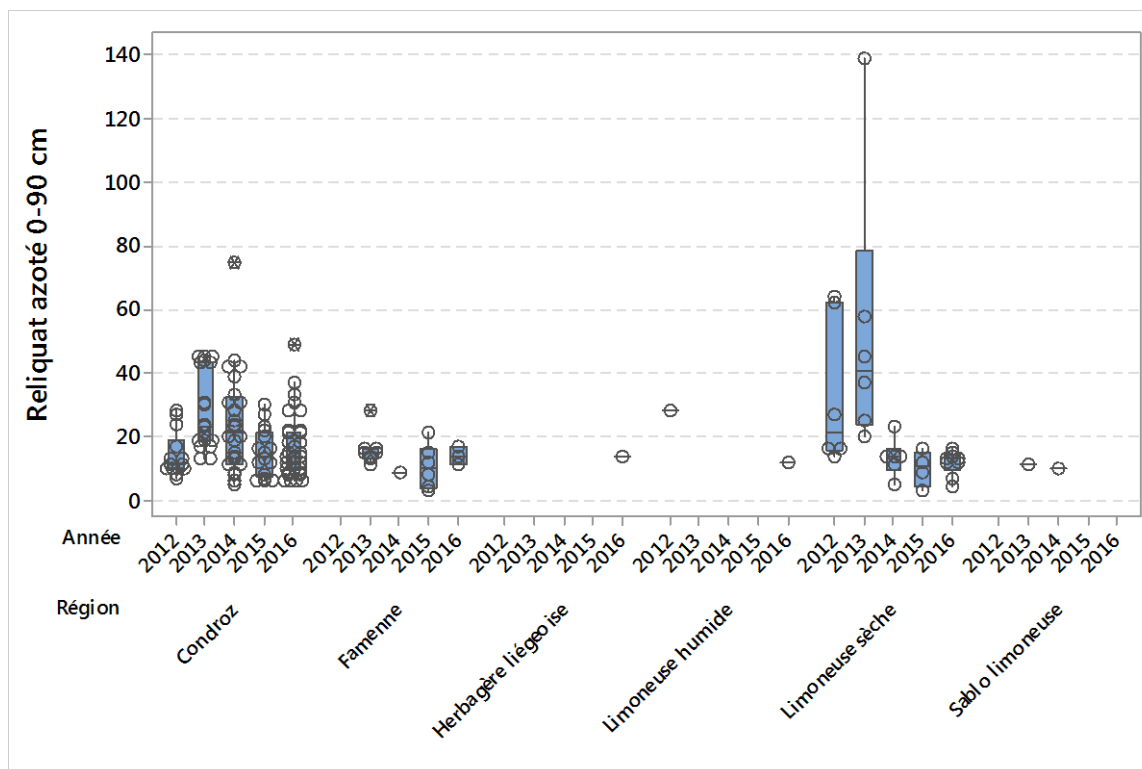


Figure 14. Synthèse des observations avec un colza en place.

Toutes régions (Condroz, Famenne et limoneuse sèche) confondues, on observe, comme également illustré de façon générale à la figure 7, une tendance à la baisse (figure 15) ; un test de Tukey groupe les années 2012 à 2014 sans y associer 2015 et 2016.

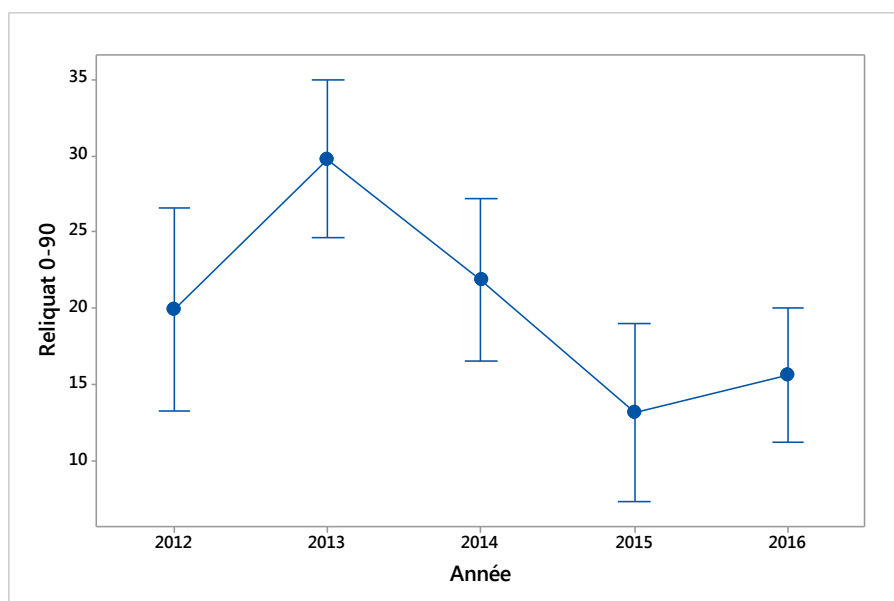


Figure 15. Intervalles de confiance de la moyenne pour un colza en place.

3.2.8. Précédent maïs fourrager

C'est en région herbagère liégeoise que l'on retrouve le plus d'observations (figure 16). Compte tenu de la superficie relative de cette région à l'échelle de la Wallonie, ce simple constat illustre l'importance du maïs (régulièrement en monoculture) dans le paysage agricole cultivé de cette région.

Le maïs représente, avec le précédent 'céréale paille enlevée' (figure 12), l'occupation du sol la plus distribuée dans toutes les régions agricoles.

Une analyse de la variance met en évidence des différences hautement significatives entre régions ; en l'occurrence (test de Tukey), entre d'une part la région herbagère liégeoise (79 kg N-NO₃/ha) et d'autre part, la région limoneuse humide (50 kg N-NO₃/ha), le Condroz (57 kg N-NO₃/ha) et la région sablo-limoneuse (51 kg N-NO₃/ha).

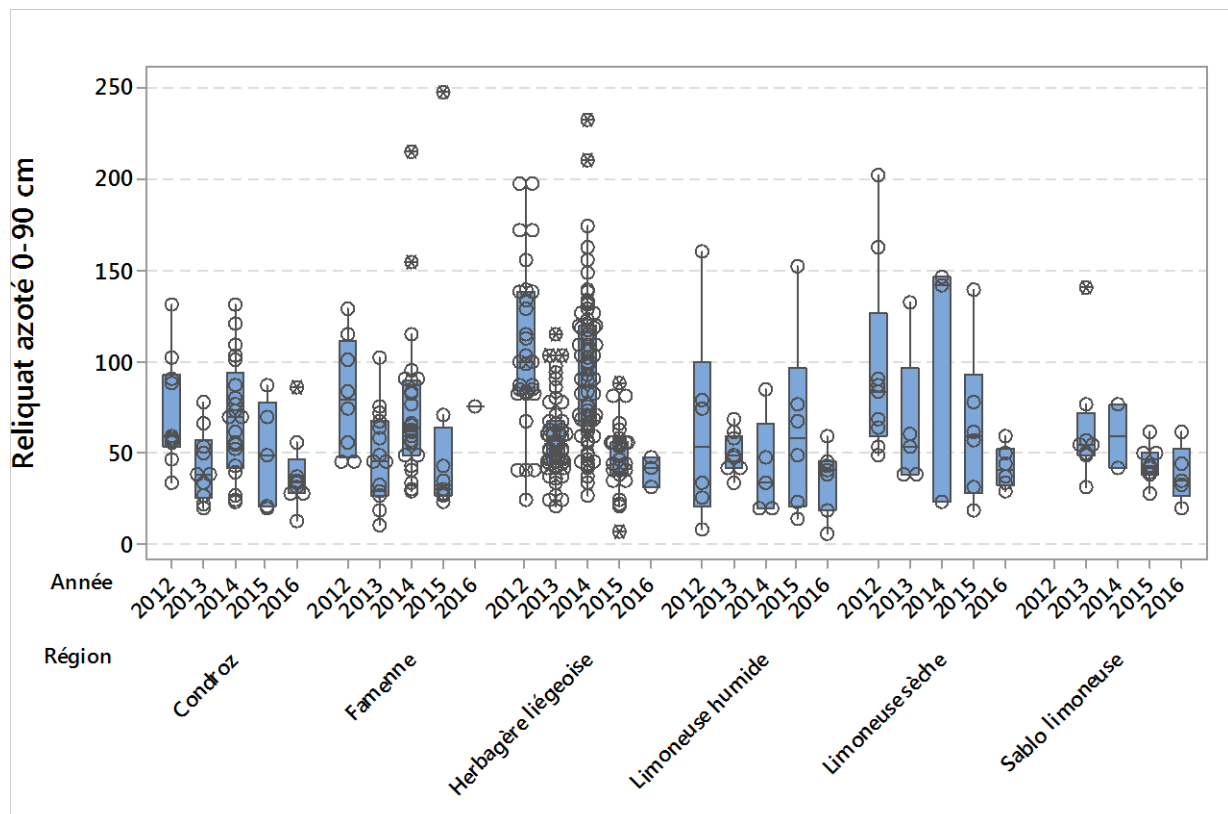


Figure 16. Synthèse des observations après un précédent maïs.

Comme pour les autres précédents culturaux, on observe une diminution du reliquat azoté au cours de la période 2012-2016.

3.3. Conclusion

Une analyse de la variance indique une relation très hautement significative entre le reliquat azoté en sortie d'hiver (RSH) et les facteurs 'précédent cultural', 'année' et 'région agricole'.

La figure 17 illustre l'importance de ces trois facteurs.

La première 'colonne' de graphique met en évidence la variabilité interannuelle du RSH post maïs fourrager et sa dépendance à la région herbagère liégeoise.

La deuxième 'colonne' met en évidence le niveau assez bas du RSH pour le colza en place, quelle que soit l'année ou la région agricole.

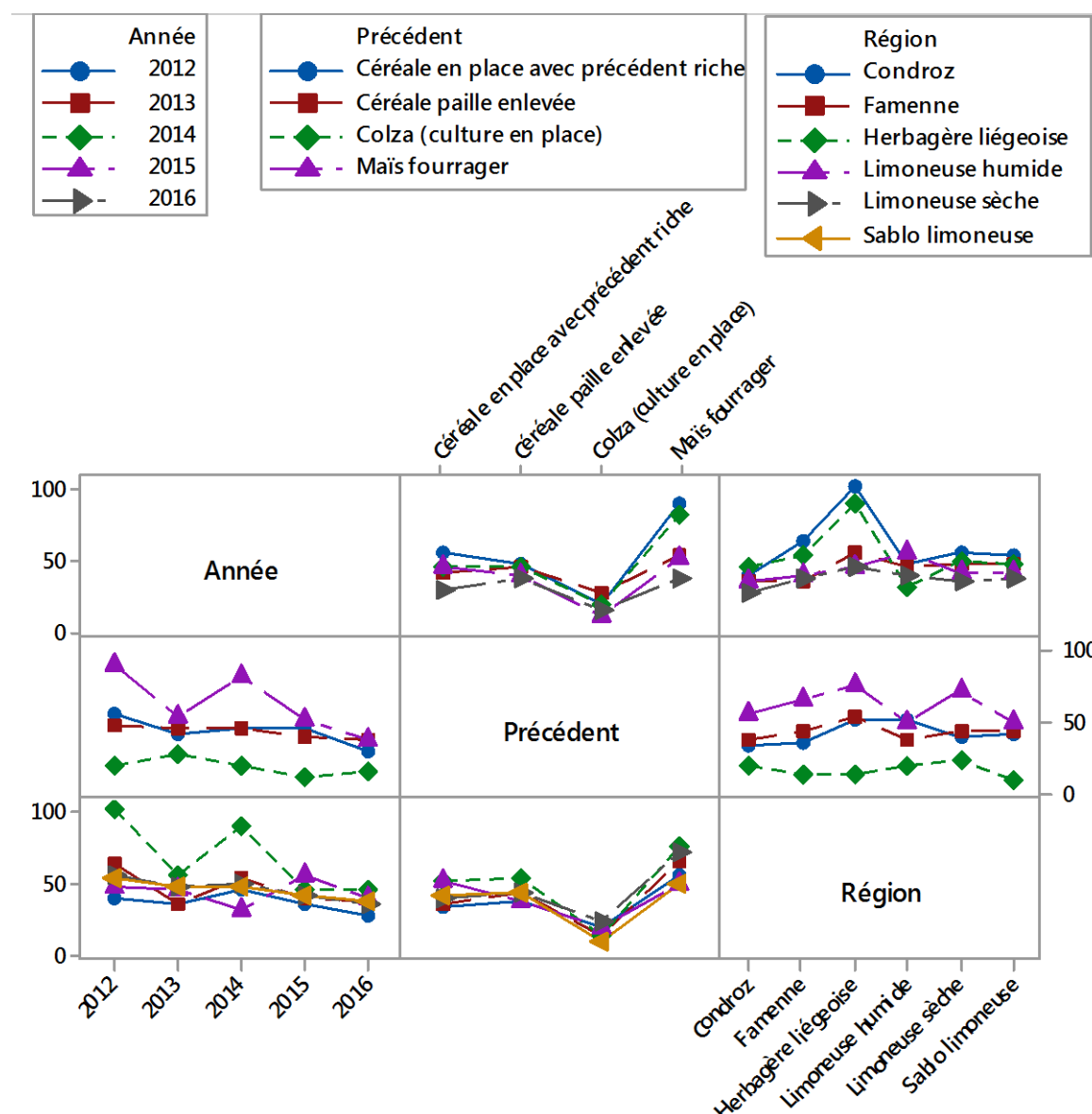


Figure 17. Synthèse des observations par précédent, année ou région agricole.

Il convient dès lors que la Structure Protect'eau poursuive son activité annuelle de collecte et de diffusion des résultats d'analyse de sol en sortie d'hiver afin de disposer de valeurs représentatives du reliquat azoté et ainsi proposer des conseils de fertilisation adéquats.

Par ailleurs, il apparaît régulièrement que les observations menées en Condroz, Famenne et/ou région sablo-limoneuse présentent des moyennes plus petites que celles observées en région limoneuse (sèche et/ou humide). Ce constat trouve vraisemblablement en partie de son explication dans un contexte pédologique différencié. En effet, en Condroz et Famenne, la présence régulière d'une charge caillouteuse significative soustrait un volume de sol à l'action de la percolation. En d'autres termes, à pluviosité et toute autre condition que le charge caillouteuse équivalentes, un même volume d'eau traverse un volume de terre plus petit dans ces deux régions qu'en région limoneuse ; le volume de 'rinçage' par unité de volume de terre est donc plus important.

Il en est de même en région sablo-limoneuse, la réserve utile étant plus faible qu'en région limoneuse, dû à la plus grande abondance de sable, ces sols sont plus abondamment 'rincés' que les sols limoneux.

Ce constat n'est pas contredit par l'état des masses d'eau : les concentrations les plus élevées sont observées dans la masse d'eau des Sables du Bruxelliens. En Condroz et Famenne, la qualité des masses d'eau est meilleure car, entre autres, les surfaces boisées représentent une part plus importante du territoire et les prairies sont également plus abondantes dans le paysage agricole qu'ailleurs (régions limoneuses et sablo-limoneuse).

4. Evolution du reliquat azoté au cours de l'hiver 2015-2016 dans les parcelles de céréale

Fin janvier 2016, dans le cadre de la campagne d'échantillonnage (RSH – Reliquat Sortie Hiver) en vue de la rédaction du Livre Blanc, GRENeRA a échantillonné 92 parcelles dans des exploitations du SSA (voir § 2.1).

Pour 47 de ces parcelles, des échantillons avaient déjà été prélevés en automne pour l'établissement des références APL.

La figure 18 illustre la distribution des différences observées entre les résultats de décembre (APL) et ceux de janvier (RSH) :

- pour un peu plus de 10% des parcelles, la différence est négative (RSH > APL). Il s'agit essentiellement de parcelles où la céréale succède à une récolte de betterave. La minéralisation (relativement importante grâce aux « verts » de betterave) est plus importante que la lixiviation (la consommation d'azote par la céréale au cours de cette période étant jugée négligeable) ;
- pour un quart des parcelles, la différence est insignifiante ;
- pour deux tiers des parcelles, la lixiviation est nettement supérieure à la minéralisation. Dans le cas présent (régulièrement observé dans un contexte de précédent pomme de terre ou maïs), la minéralisation ne peut être très élevée puisque soit (pomme de terre) les feuilles ont été défanées quatre mois auparavant (dans ce cas, leur décomposition est terminée), soit (maïs) la plante entière a été récoltée.

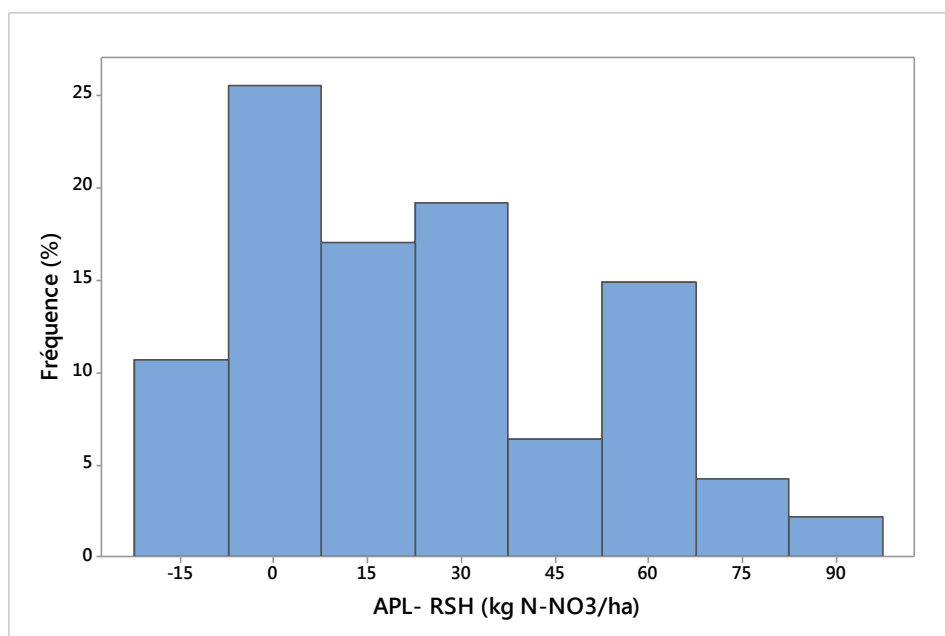


Figure 18. Histogramme des différences entre l'APL et le RSH.

Si on ne considère que les 36 parcelles où la différence est positive (RSH < APL), on observe que cette différence (qu'on peut alors considérer comme la lixiviation minimale¹) est en moyenne de 33 kg N-NO₃/ha.

¹ puisque la part fournie par le sol via la minéralisation n'est pas connue

Au cours de cette période (4/12/2015² – 26/01/2016³), il a plu 123 mm⁴. En considérant les sols à saturation en début de période, on peut évaluer la concentration en nitrate (mise en solution de 33 kg N-NO₃/ha dans 123 mm d'eau) de l'eau de percolation a, en moyenne, 119 mg/l.

Compte tenu que dans la majeure partie de ces situations, la céréale prend place dans une parcelle où l'APL est élevé, ce constat met à nouveau (cf. parcelles équipées de lysimètres⁵) en lumière l'importance de bien maîtriser la fertilisation azotée dans les parcelles de colza, maïs, pomme de terre ou légume.

² date moyenne d'échantillonnage APL lors de la campagne de décembre (1^{er} au 10 décembre)

³ date moyenne d'échantillonnage RSH (25 au 28 janvier)

⁴ source : CRAW – station de Gembloux

⁵ Dossier GRENeRA 16-04