

Evaluation de l'impact de la variabilité spatiale de l'APL et du mode d'échantillonnage sur l'estimation de l'APL à l'échelle de la parcelle agricole



Ce document doit être cité de la manière suivante :

Bah B., Vandenberghe C., Colinet G. 2016. *Evaluation de l'impact de la variabilité spatiale de l'APL et du mode d'échantillonnage sur l'estimation de l'APL à l'échelle de la parcelle agricole*. Dossier GRENeRA **16-08**. 20p. 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 la Structure d'encadrement Nitrawal*. Université catholique de Louvain et Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech, 20 p.

Table des matières

1. INTRODUCTION.....	4
2. MODÉLISATION DE LA VARIABILITÉ SPATIALE.....	5
2.1. METHODOLOGIE.....	5
2.2. RESULTATS.....	6
2.2.1. <i>Distribution spatiale de l'APL</i>	6
2.2.2. <i>Variogramme et interpolation spatiale de l'APL</i>	7
2.2.3. <i>Types d'échantillonnage et ré-estimation de l'APL moyen à la parcelle</i>	9
3. EVALUATION <i>IN SITU</i> DE LA VARIABILITÉ DE L'APL À L'ÉCHELLE DE LA PARCELLE.....	15
3.1. OBJECTIF.....	15
3.2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL.....	15
3.3. RESULTATS.....	15
4. CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES.....	19
5. BIBLIOGRAPHIE.....	20

1. Introduction

Au cours de la campagne d'échantillonnage et d'analyse APL (Azote Potentiellement Lessivable) 2015, plusieurs questions se sont posées quant à la précision de la mesure de l'APL suite à des contre-expertises sollicitées par des agriculteurs ou lors du contrôle des laboratoires. Notamment, des recontrôles sur la même parcelle et réalisées par le même laboratoire ont parfois conduit à des résultats très différents de ceux obtenus lors du contrôle.

Une des causes de cette différence est à imputer à la variabilité spatiale de l'APL à l'échelle de la parcelle. Pour être représentatif et contenir cette variabilité, un nombre minimum de points de prélèvement de carottes de sol doit être défini pour constituer l'échantillon composite sur lequel l'APL est mesuré. Ce nombre de points dépend aussi de la précision recherchée autour de l'APL moyen de la parcelle.

Pour déterminer le nombre de carottes de sols à prélever pour constituer l'échantillon composite, de l'ordre de 140 carottes de sol ont été prélevées par GRENeRA en 2002 dans deux parcelles agricoles et analysées individuellement. Le traitement statistique des résultats (Colinet et al., 2014) a conduit à proposer le prélèvement d'une quinzaine de carottes pour obtenir une marge d'erreur inférieure à 10 kg N-NO₃/ha ($\alpha = 0,05$) dans une gamme d'APL moyen n'excédant pas 100 kg N-NO₃/ha.

La présente étude vise à estimer, par modélisation de la variabilité spatiale du reliquat azoté, le nombre de carottes de sols à prélever en fonction de la précision recherchée, pour une gamme d'APL moyen autour de 200 kg N-NO₃/ha. On pourra dès lors disposer du nombre d'échantillons nécessaires pour une marge d'erreur inférieure à 10 kg N-NO₃/ha autour de l'APL moyen de 200 kg N-NO₃/ha, ou déterminer la précision maximale autour de cette moyenne de 200 si on ne prélève que 15 carottes de sols par parcelle tel que recommandé par le protocole d'échantillonnage actuel.

2. Modélisation de la variabilité spatiale

2.1. Méthodologie

La modélisation de la variabilité spatiale de l'APL pour une moyenne proche de 200 kg N-NO₃/ha suit les étapes explicitées ci-après.

- 1) Création d'un jeu de 150 points (observations) distribués spatialement selon une maille de 20 m de côté, afin de couvrir l'entièreté de la parcelle.
- 2) Affectation aléatoire de valeurs APL comprises entre 150 et 250 kg N-NO₃/ha au jeu de données de 150 points de sorte que l'APL moyen de ces points soit proche de 200 kg N-NO₃/ha. L'affectation des valeurs APL aux 150 points est réalisée selon trois structures spatiales de distributions d'APL à l'échelle d'une parcelle (dans la réalité une infinité de situations est possible) :
 - distribution aléatoire de l'APL selon une loi uniforme ;
 - distribution en gradient marqué nord-sud ;
 - distribution en zones homogènes.
- 3) Ajustement d'un modèle de variogramme (covariance) réaliste sur le variogramme expérimental des 150 valeurs APL générées et simuler par krigeage (interpolation) ordinaire une carte de la distribution spatiale de l'APL. Le variogramme estimé permet de garantir la conformité des valeurs simulées (au niveau des 150 points de départ ou sur base d'une nouvelle grille) à la structure spatiale du jeu de données en entrée (150 valeurs APL). Le variogramme se base sur le concept de l'auto-corrélation spatiale : il existe une relation entre distance de séparation et corrélation, cette dernière étant le plus souvent exprimée comme la semi-variance (semi-variogramme).
- 4) Réalisation d'une interpolation spatiale par krigeage ordinaire. Le krigeage implique une distribution normale des données en entrée. Cette normalité est assurée par la transformation des données par la méthode du score normal et l'estimation du variogramme sur les données transformées. Les réalisations (simulations) sont générées à partir du modèle de variogramme transformé. Une transformation inverse des résultats de la simulation permet un retour vers la distribution (unités) de départ. La carte produite par krigeage fournit en tout point de la parcelle une valeur moyenne de l'ensemble des valeurs APL possibles en ce point.
- 5) On prélève ensuite sur les trois cartes (des trois structures spatiales retenues ; cf. point 2 ci-dessus) produites par simulation (cf. point 3 ci-dessus) 100 échantillons selon plusieurs densités de points de prélèvements (pour constituer l'échantillon) différentes (5, 10, 15, 20, 25, 30 points, etc.)¹ et selon 2 types :
 - un prélèvement complètement aléatoire ;
 - un prélèvement couvrant la parcelle selon les 2 grandes diagonales (en croix) ;

L'étude se base donc sur l'analyse de 6 cas d'études de la variabilité spatiale de l'APL : deux types de prélèvement d'échantillons appliqués sur trois structures de distribution spatiales.

¹ C'est-à-dire qu'on prélève 100 fois 5 carottes de sols pour constituer 100 échantillons, 100 fois 10 carottes de sols, etc.

2.2. Résultats

2.2.1. Distribution spatiale de l'APL

Nous affectons des valeurs APL comprises entre 150 et 250 kg N-NO₃/ha au jeu de données de 150 points d'observations de la maille de 20 m de côté, de sorte que l'APL moyen de la parcelle soit proche de 200 kg N-NO₃/ha. Trois types de distributions (structures) spatiales sont étudiés :

- une distribution aléatoire uniforme (figure 1) ;
- une distribution selon un gradient nord-sud (figure 2)
- une distribution en zones homogènes (figure 3)

Les histogrammes (figures 1 à 3) montrent que les données APL des 3 parcelles fictives ne sont pas distribuées selon une loi normale. Elles sont donc transformées de manière à ce que leurs distributions suivent une loi normale et le modèle de variogramme pour l'interpolation spatiale (par krigeage ordinaire) estimé sur base des données transformées. Ensuite, une transformation inverse (back transformation) est réalisée pour revenir vers la distribution et les unités (kg N-NO₃/ha) de départ de la variable APL.

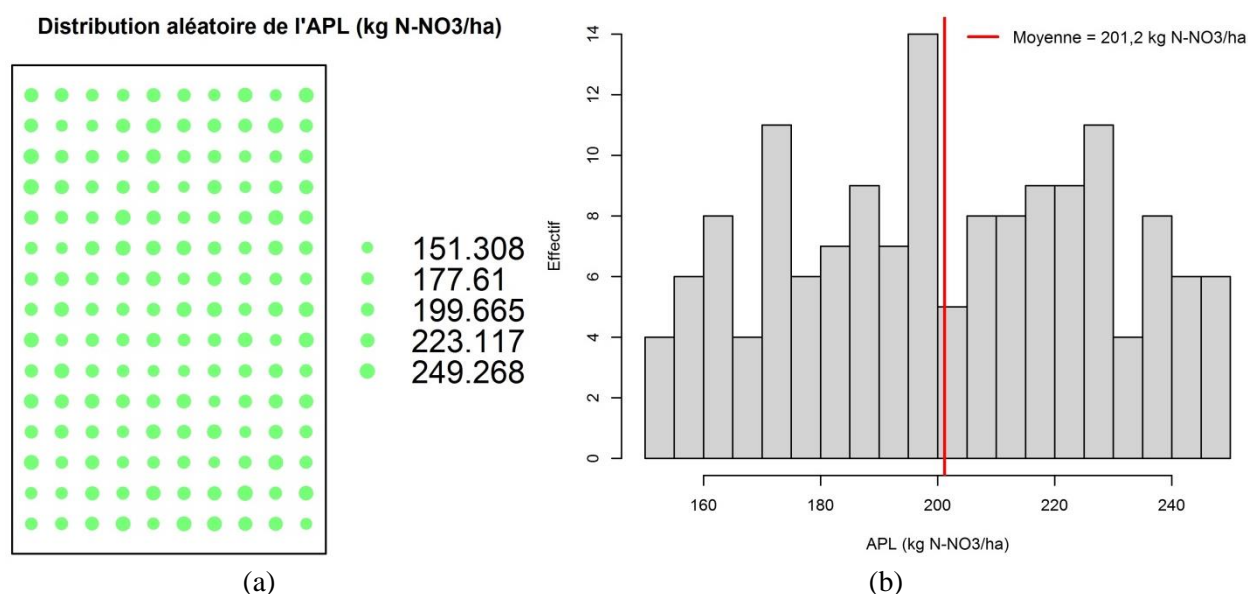


Figure 1. (a) Distribution spatiale aléatoire des valeurs APL aux 150 points distribués selon une maille de 20 m de côté. La taille des points est proportionnelle à la valeur APL affectée au point. La légende reprend les 5 quantiles (min = 151,3 ; q.25 = 177,6 ; médiane = 199,7 ; q.75 = 223,1 et max =249,3) de la distribution. (b) Distribution de fréquence des valeurs APL affectées aléatoirement aux 150 points.

Distribution en gradient nord-sud de l'APL (kg N-NO3/ha)

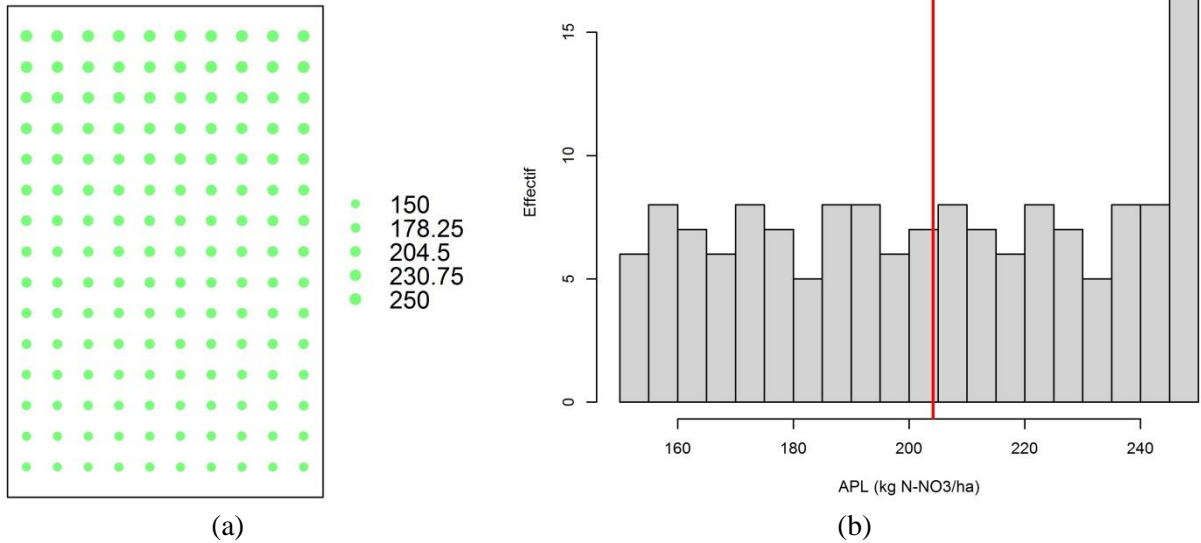


Figure 2. (a) Distribution spatiale en gradient nord-sud des valeurs APL aux 150 points distribués selon une maille de 20 m de côté. La taille des points est proportionnelle à la valeur APL affectée au point. La légende reprend les 5 quantiles (min = 150 ; q.25 = 178,2 ; médiane = 204,5 ; q.75 = 230,7 et max =250) de la distribution. (b) Distribution de fréquence des valeurs APL affectées aléatoirement aux 150 points.

Distribution en zones homogènes de l'APL (kg N-NO3/ha)

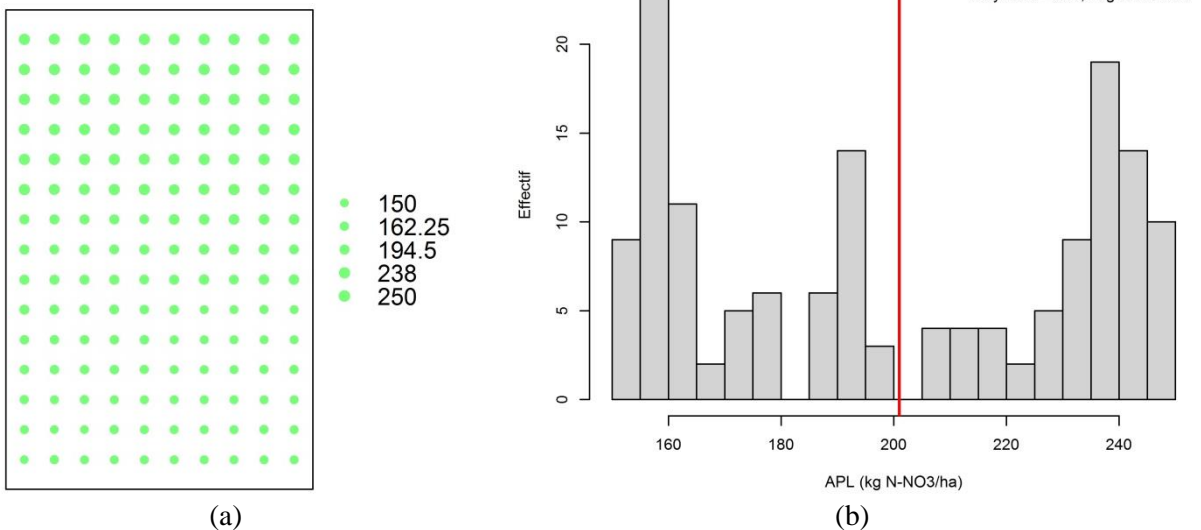


Figure 3. (a) Distribution en zones homogènes des valeurs APL aux 150 points distribués selon une maille de 20 m de côté. La taille des points est proportionnelle à la valeur APL affectée au point. La légende reprend les 5 quantiles (min = 150 ; q.25 = 162,2 ; médiane = 194,5 ; q.75 = 238 et max =250) de la distribution. (b) Distribution de fréquence des valeurs APL affectées aléatoirement aux 150 points.

2.2.2. Variogramme et interpolation spatiale de l'APL

Les figures 4 à 6 présentent le modèle de variogramme utilisé ainsi que la carte d'interpolation (krigeage ordinaire) de l'APL qui en résulte, pour chaque type de structure spatiale des données APL étudiée.

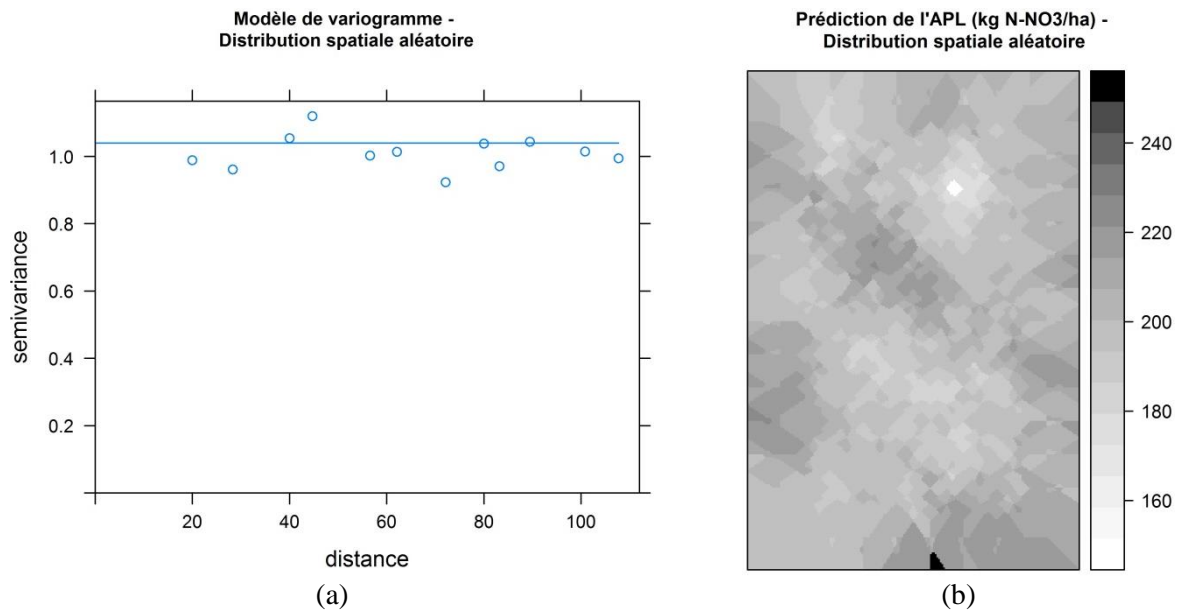


Figure 4. (a) Variogramme expérimental (points) et modèle de variogramme (ligne) utilisé pour produire (b) la carte APL par krigeage ordinaire des données APL affectées de manière aléatoire aux 150 points d'observations de la maille de 20 m de côté.

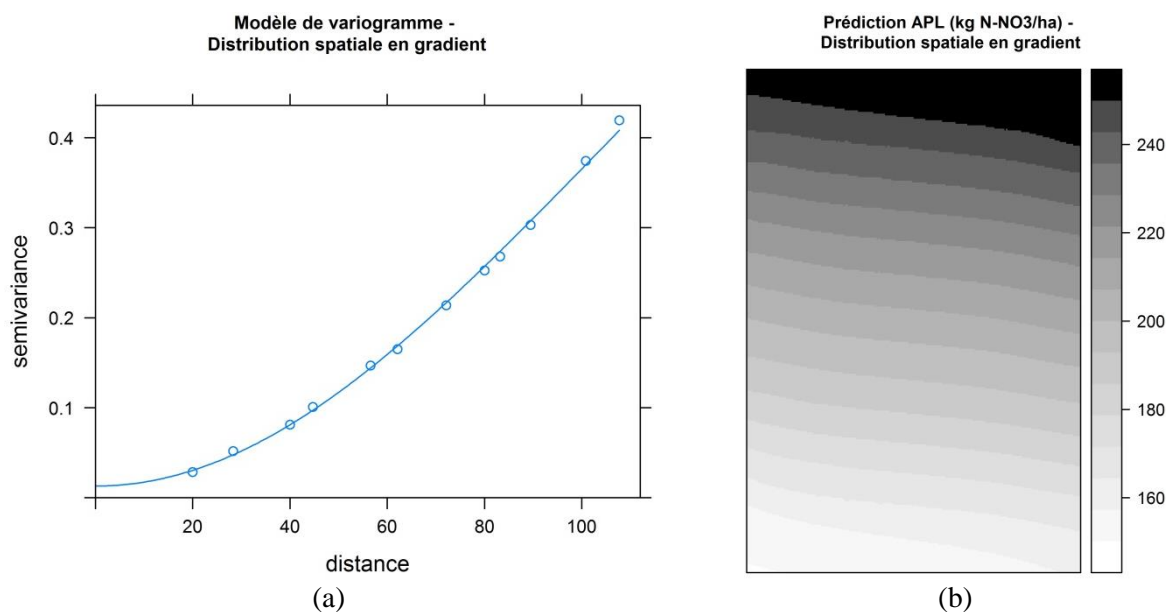


Figure 5. (a) Variogramme expérimental (points) et modèle de variogramme (ligne) utilisé pour produire (b) la carte APL par krigeage ordinaire des données APL affectées selon un gradient nord-sud aux 150 points d'observations de la maille de 20 m de côté.

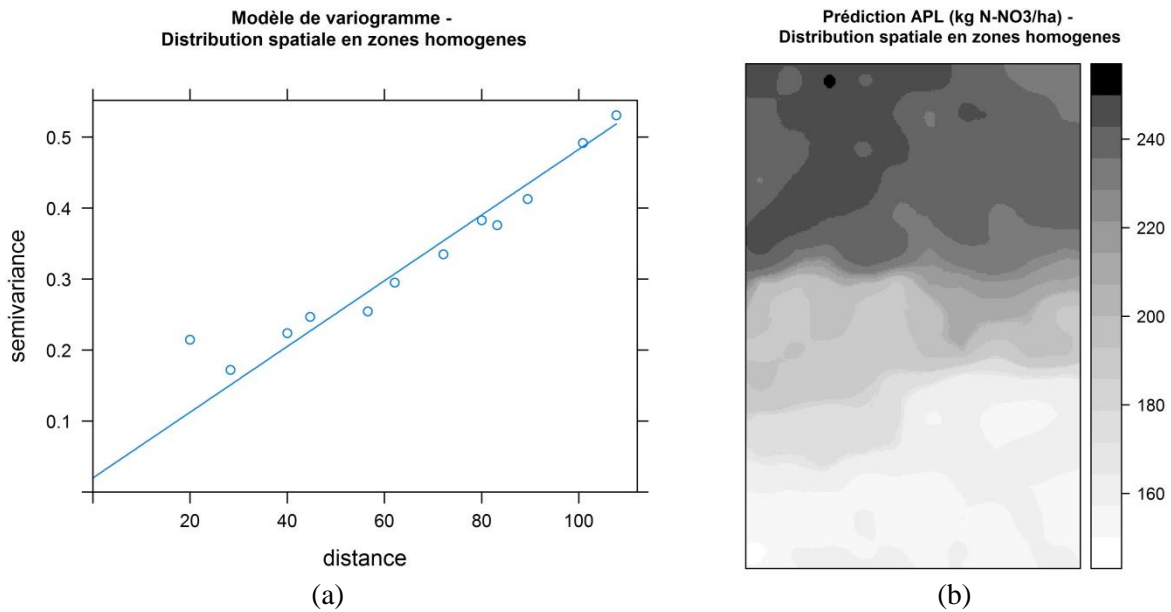


Figure 6. (a) Variogramme expérimental (points) et modèle de variogramme (ligne) utilisé pour produire (b) la carte APL par krigeage ordinaire des données APL affectées par zones homogènes aux 150 points d'observations de la maille de 20 m de côté.

2.2.3. Types d'échantillonnage et ré-estimation de l'APL moyen à la parcelle

L'objectif est de déterminer, par type d'échantillonnage, le nombre minimum de points nécessaire afin d'estimer l'APL avec une erreur maximale de 10 kg N-NO₃/ha autour de la moyenne des 200 kg N-NO₃/ha (donc moyenne comprise entre 190 et 210 kg N-NO₃/ha).

Cent (100) échantillons ont été prélevés sur chaque carte générée en appliquant différentes densités (nombre de carottes de sols par échantillon) d'échantillonnage de 5, 10, 15, 20, 25, 30... carottes de sols et selon 2 types d'échantillonnage (aléatoirement et en croix selon les deux grandes diagonales)². Les figures 7 à 9 illustrent, à titre d'exemple, les 2 types d'échantillonnage employés pour une densité d'échantillonnage de 15 points prélevés 5 fois (sur 100 au total). Dans une deuxième étape, l'APL moyen de chaque échantillon est calculé (soit donc 100 moyennes pour chaque densité de points fixée - 5, 10, 15, etc.).

² On a donc prélevé sur chaque carte 5 échantillons 100 fois, 10 échantillons 100 fois, etc.

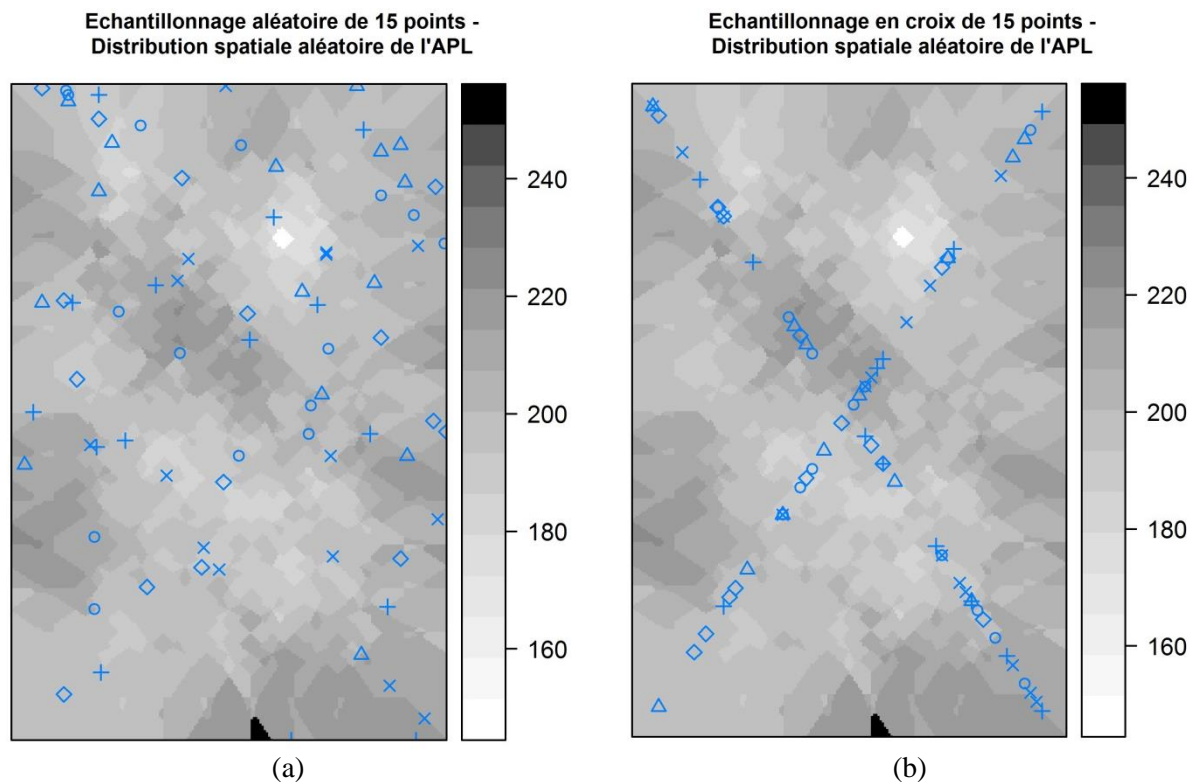


Figure 7. Illustration de 5 échantillonnages aléatoires (a) et en croix (b) de 15 carottes de sols prélevées sur la carte APL 'aléatoire'.

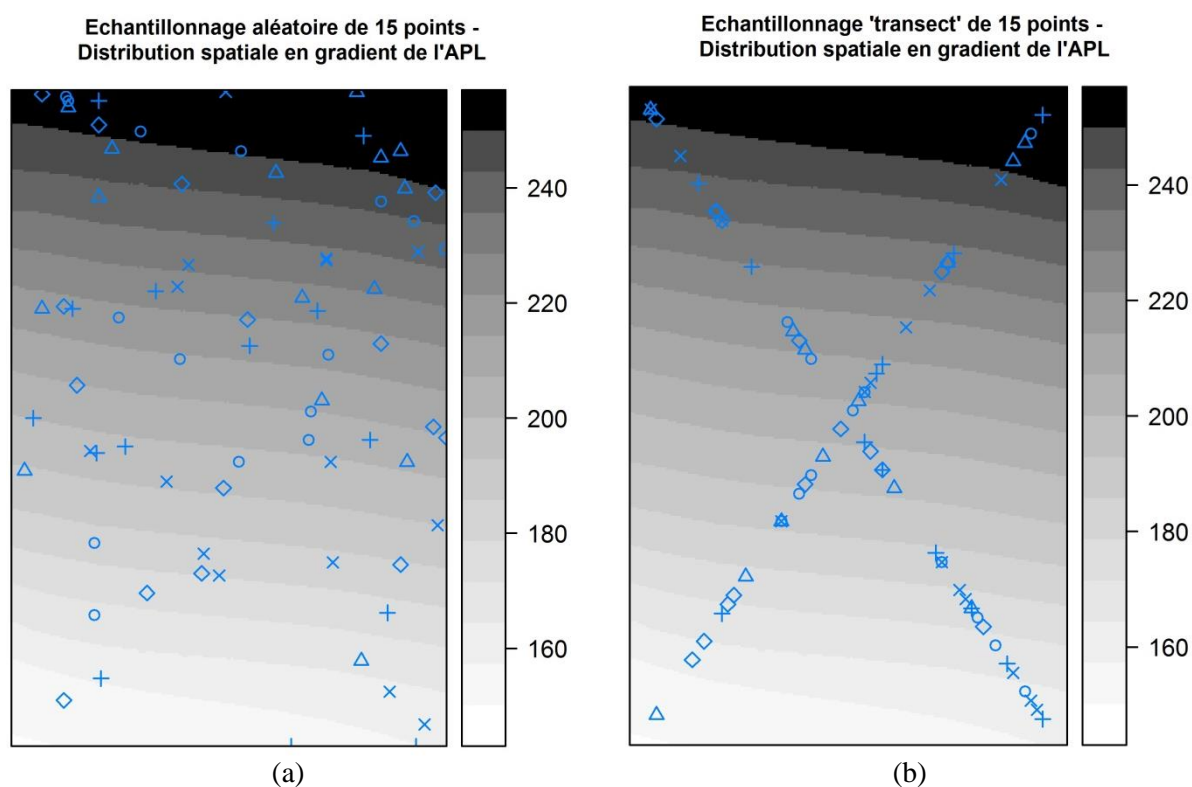
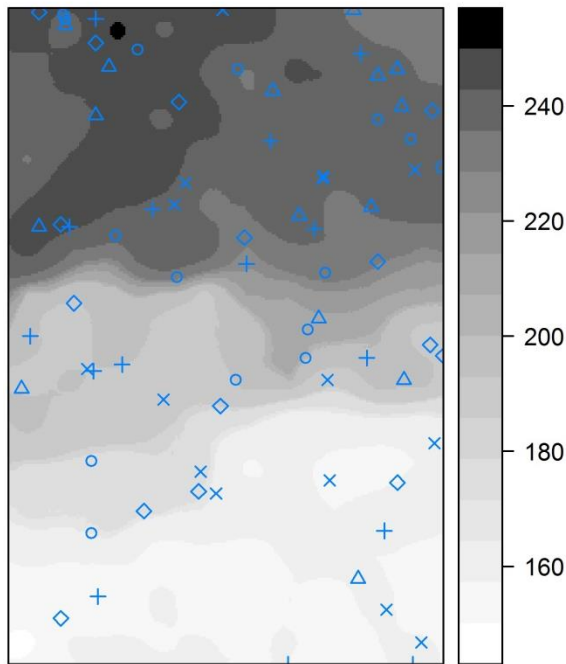


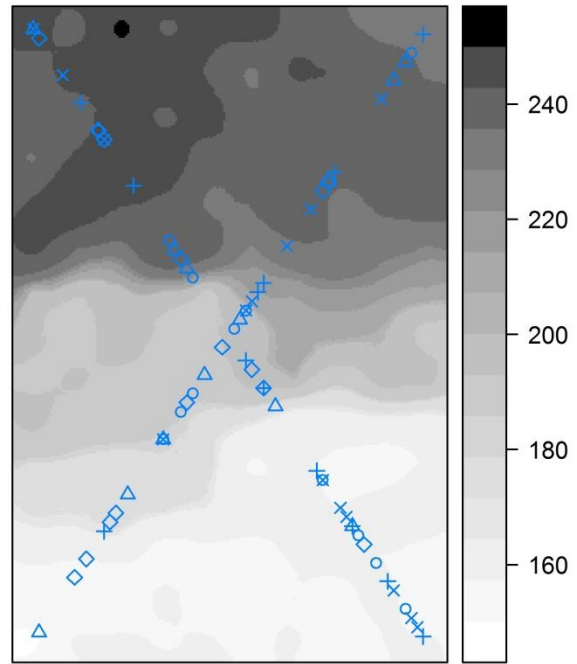
Figure 8. Illustration de 5 échantillonnages aléatoires (a) et en croix (b) de 15 carottes de sols prélevées sur la carte APL 'en gradient'.

Echantillonnage aléatoire de 15 points -
Distribution spatiale de l'APL en zones homogènes



(a)

Echantillonnage 'transect' de 15 points -
Distribution spatiale de l'APL en zones homogènes



(b)

Figure 9. Illustration de 5 échantillonnages aléatoires (a) et en croix (b) de 15 carottes de sols prélevées sur la carte APL 'en zones homogènes'.

Les figures 10 à 12 reprennent, respectivement pour chaque structure spatiale étudiée, les distributions (sous forme de boîtes à moustaches - Boxplot) des moyennes des 100 échantillons par nombre fixé de carottes de sols, pour les deux types d'échantillonnage utilisés.

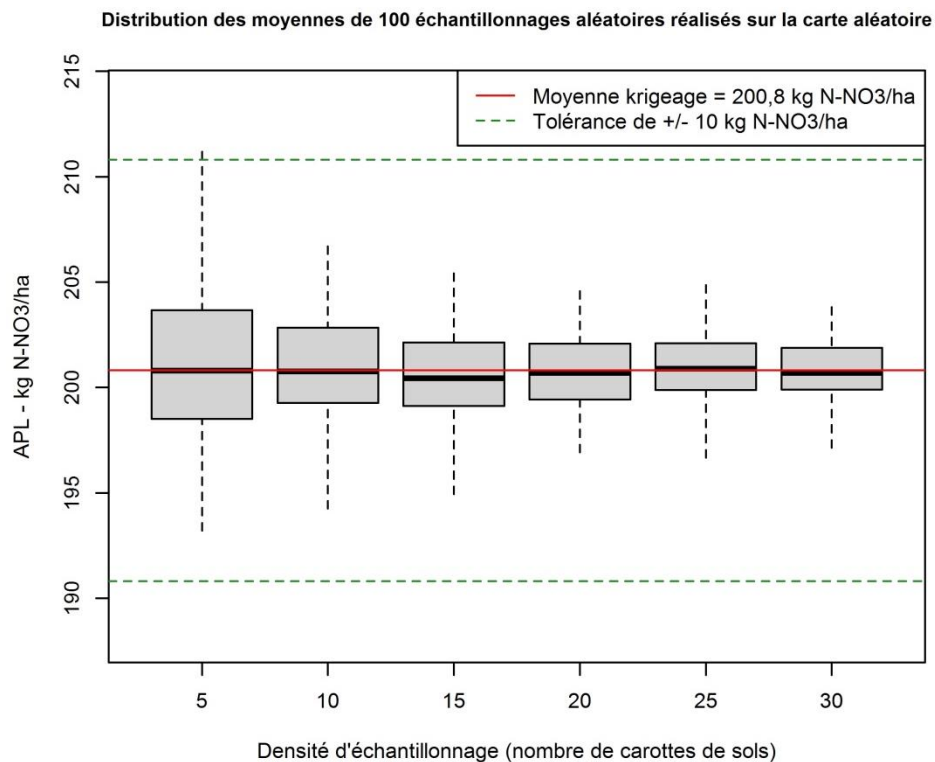
Dans le cas d'une distribution spatiale aléatoire de l'APL (figure 10), le prélèvement de l'ordre de 6 carottes conduit à respecter la marge d'erreur fixée de 10 kg N-NO₃/ha pour un reliquat moyen attendu de 200 kg N-NO₃/ha. Le prélèvement de 15 carottes conduit à une précision de la mesure de l'ordre de 5 kg N-NO₃/ha pour un reliquat moyen attendu de 200 kg N-NO₃/ha.

Dans le cas d'une distribution spatiale de l'APL en gradient (figure 11), un prélèvement de 40 carottes est nécessaire pour respecter la marge d'erreur maximale de 10 kg N-NO₃/ha pour la moyenne attendue de 200 kg N-NO₃/ha. Pour la distribution spatiale en zones homogènes (figure 12), il faudra de l'ordre de 52 carottes pour obtenir une précision de la mesure de l'ordre de 10 kg N-NO₃/ha pour la moyenne attendue de 200 kg N-NO₃/ha.

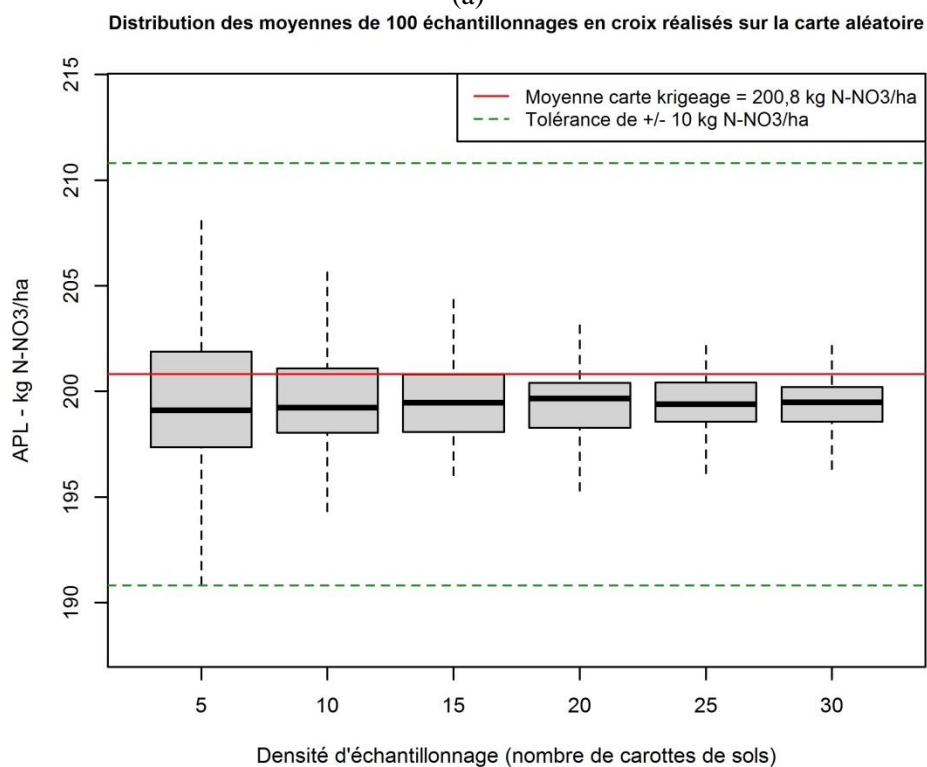
Si 15 carottes sont prélevées, la précision de la mesure, dans une parcelle à reliquat attendu de l'ordre de 200 kg N-NO₃/ha, sera de l'ordre de 18 kg N-NO₃/ha dans le cas d'une distribution spatiale en gradient de l'APL sur la parcelle, et de 20 kg N-NO₃/ha pour la parcelle avec la distribution spatiale en zones homogènes.

L'étude de Colinet et al. (2014) arrivait, pour une précision de la mesure de 10 kg N-NO₃/ha, à une densité de prélèvement de l'ordre de 15 carottes lorsque le reliquat moyen de la parcelle est d'environ 100 kg N-NO₃/ha.

Enfin, on observe que le type d'échantillonnage (aléatoire ou en croix) n'influence pas de manière significative la précision de la mesure et la valeur moyenne (de l'ordre de 200 kg N-NO₃/ha pour les deux schémas d'échantillonnage).



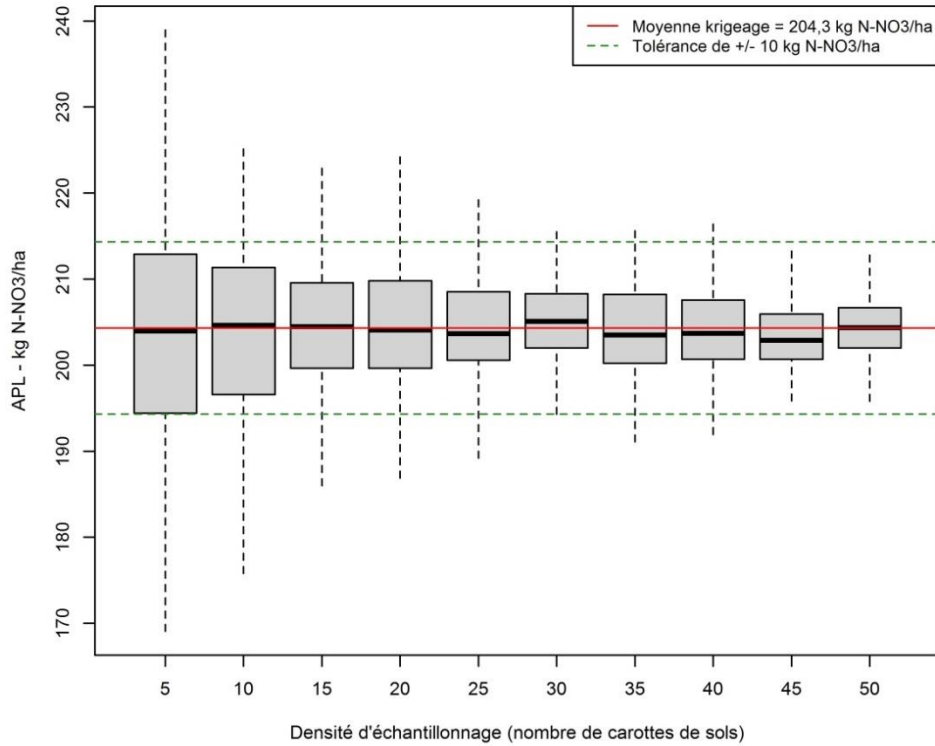
(a)



(b)

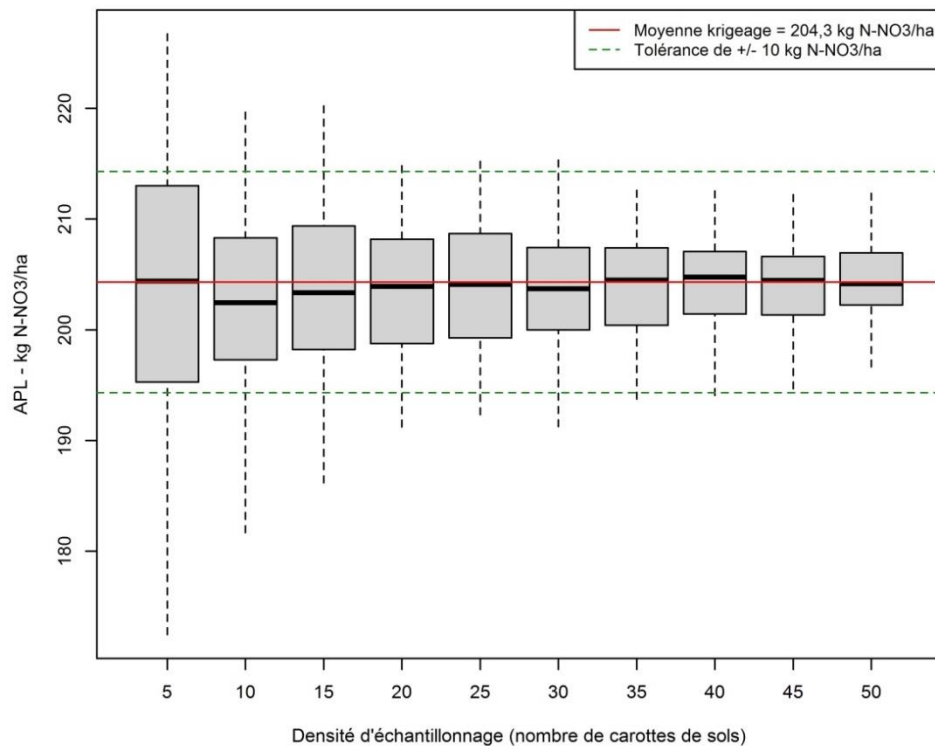
Figure 10. Distribution des moyennes de 100 échantillons prélevés aléatoirement (a) et en croix (b) sur la carte 'aléatoire', par nombre de carottes de sols fixé (5, 10, 15, etc.). La ligne continue correspond à l'APL moyen à la parcelle (moyenne krigeage) tandis que les lignes en pointillé correspondent à la tolérance maximale (10 kg N-NO₃/ha) fixée.

Distribution des moyennes de 100 échantillonnages aléatoires réalisés sur la carte en gradient



(a)

Distribution des moyennes de 100 échantillonnages en croix réalisés sur la carte en gradient



(b)

Figure 11. Distribution des moyennes de 100 échantillons prélevés aléatoirement (a) et en croix (b) sur la carte 'en gradient', par nombre de carottes de sols fixé (5, 10, 15, etc.). La ligne continue correspond à l'APL moyen à la parcelle (moyenne krigage) tandis que les lignes en pointillé correspondent à la tolérance maximale (10 kg N-NO₃/ha) fixée.

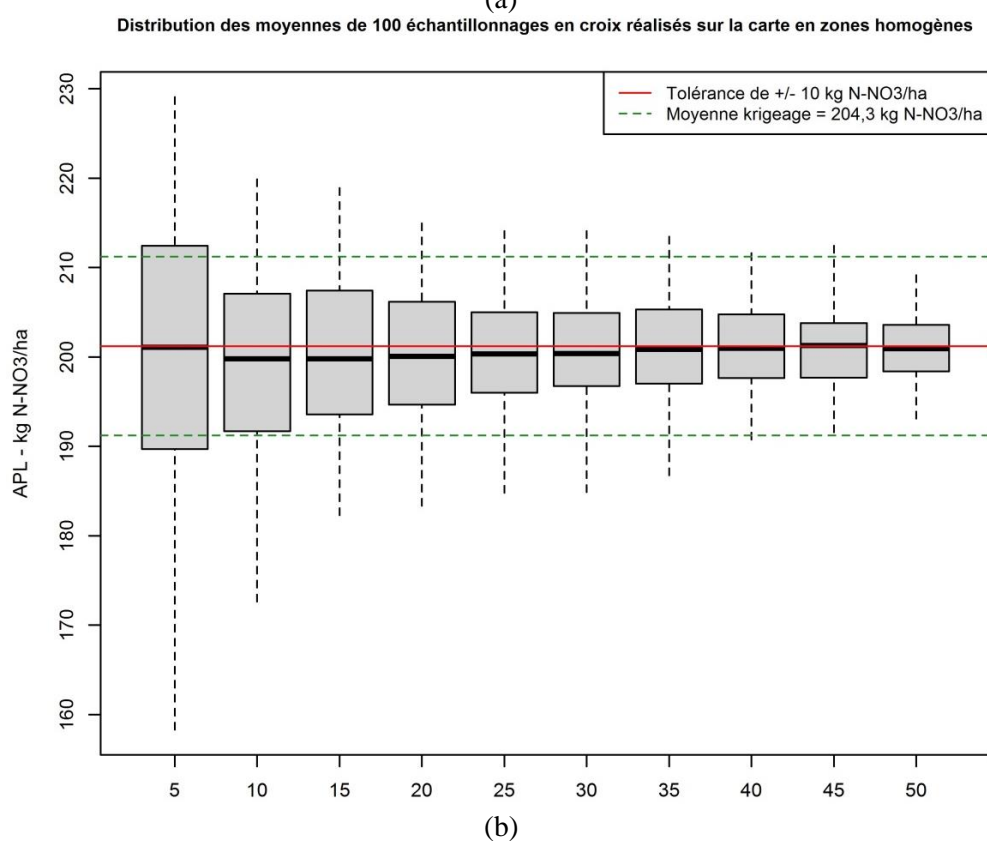
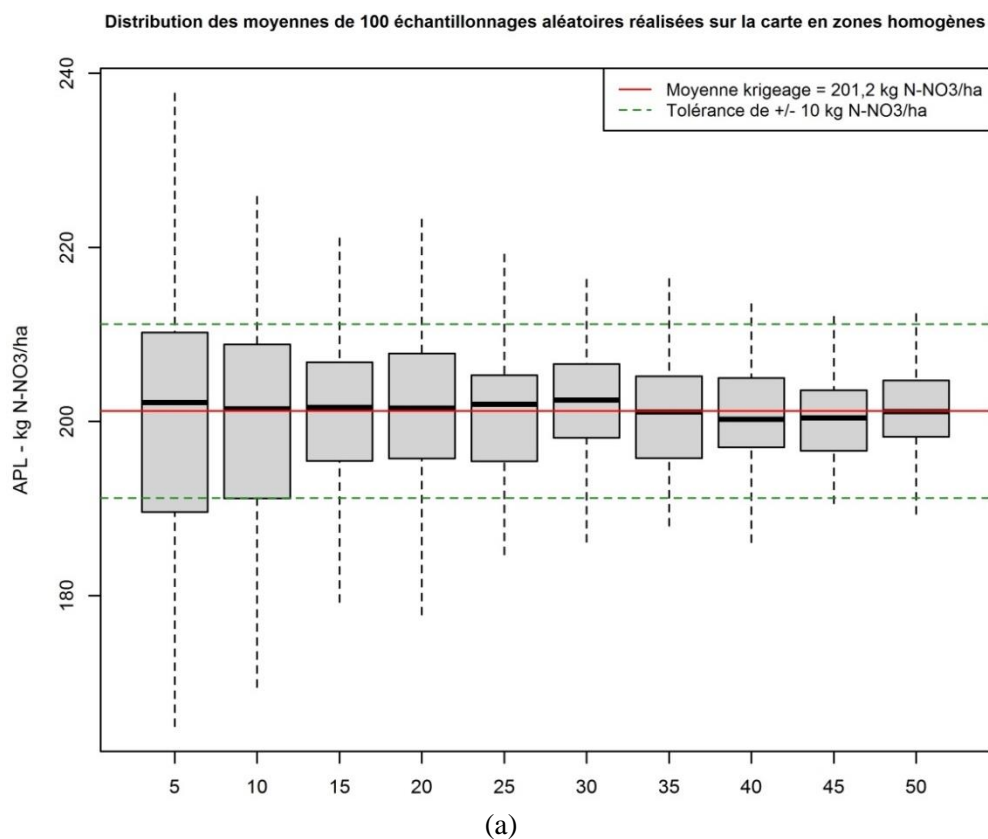


Figure 12. Distribution des moyennes de 100 échantillons prélevés aléatoirement (a) et en croix (b) sur la carte 'en zones homogènes', par nombre de carottes de sols fixé (5, 10, 15, etc.). La ligne continue correspond à l'APL moyen à la parcelle (moyenne krigeage) tandis que les lignes en pointillé correspondent à la tolérance maximale (10 kg N-NO₃/ha) fixée.

3. Evaluation *in situ* de la variabilité de l'APL à l'échelle de la parcelle

3.1. Objectif

L'objectif de cette expérimentation est triple :

- d'une part, à travers l'analyse de 4 échantillons composites par parcelle, évaluer la variabilité d'un résultat liée à l'échantillonnage ;
- d'autre part, en répétant les prises et analyses de 30 gr de sol dans les échantillons composites, évaluer la variabilité du contenu en azote nitrique dans les échantillons composites ;
- enfin, en répétant l'échantillonnage dans deux parcelles, évaluer la variabilité inter parcellaire.

Cette expérimentation a donc pour objectif de contribuer à la validation ou l'adaptation du protocole d'échantillonnage et d'analyse APL.

3.2. Protocole expérimental

Un échantillonnage a été réalisé sur deux parcelles et par deux échantillonneurs. Sur chaque parcelle, 4 échantillons ont été prélevés par les deux opérateurs (2 par opérateur) pour chacune des couches 0-30 cm et 30-60 cm. Ce qui fait un total de 8 échantillons par parcelle (4 par couche de sol). Chaque échantillon (1 sac) est constitué de 15 prélèvements de carottes de sols.

Au laboratoire, les échantillons sont tamisés (par sac) et un prélèvement de 30 gr est réalisé par sac et analysé. L'opération est répétée 3 fois par échantillon, soit donc 3 analyses de 30 gr par sac. Ce qui fait en tout 12 analyses de 30 gr par couche (0-30 cm et 30-60 cm).

3.3. Résultats

Le tableau 1 présente les statistiques descriptives par parcelle, par couche et par échantillon.

A l'échelle de la parcelle, 60 carottes ont été prélevées et ont fait l'objet de 12 analyses. On considère donc que la moyenne des 12 analyses (notée *moyenne E1-E4*) représente la valeur vraie de la parcelle.

Les deux parcelles présentent un profil assez comparable puisque un peu plus des deux tiers du reliquat azoté se trouve dans la première couche sondée. La seconde parcelle présente cependant un reliquat plus important (70 kg N-NO₃/ha) que la première (51 kg N-NO₃/ha).

La variabilité des résultats inter échantillons est également assez comparable pour les deux parcelles : l'écart type est identique (5 kg N-NO₃/ha) ; le coefficient de variation est un peu plus faible pour la seconde (7 %) étant donné que la moyenne y est supérieure mais on reste néanmoins dans un ordre de grandeur assez proche

Compte tenu de cette similarité de variabilité entre les deux parcelles, on considère donc que celles-ci sont assez représentatives d'une certaine « normalité ».

En ce qui concerne les écarts entre chaque échantillon et la moyenne générale (notée *moyenne E1-E4*) considérée comme 'valeur vraie' de la parcelle, on observe que ceux-ci sont, par couche, inférieurs à 6 kg N-NO₃/ha et pour le total 0-60 cm, inférieurs à 8 kg N-NO₃/ha. En extrapolant à la couche 0-90 cm, il est vraisemblable que les écarts restent inférieurs à 10 kg N-NO₃/ha.

Tableau 1. Description des résultats d'analyses du reliquat (kg N-NO₃/ha des 3 prélèvements de 30 gr par échantillon.

Parcelle A					Parcelle B					
Couche 0-30					Couche 0-30					
Echantillons	E1	E2	E3	E4	Echantillons	E1	E2	E3	E4	
Minimum	38	33	29,2	34,8	Minimum	51,5	42,8	50,4	48,7	
Maximum	39,6	38,2	30,2	37,4	Maximum	57,2	47,8	54,6	54,2	
Moyenne	38,9	35,9	29,6	36	Moyenne	54,1	45,6	52,3	52,2	
Ecart-type	0,8	2,7	0,6	1,3	Ecart-type	2,9	2,5	2,1	3,1	
C.V.	2,30%	6,90%	0,50%	4,10%	C.V.	5,30%	5,60%	4,10%	5,90%	
variabilité intraparcellaire 0-30										
moyenne E1-E4	35				51					
écart-type	3				3					
C.V.	10%				6%					
Couche 30-60					Couche 30-60					
Echantillons	E1	E2	E3	E4	Echantillons	E1	E2	E3	E4	
Minimum	18	7,8	15,8	14,6	Minimum	15,5	15,7	20,8	17,8	
Maximum	22,8	10,6	20	19,5	Maximum	21	17,8	26,3	19,5	
Moyenne	19,6	9,1	18,1	16,4	Moyenne	17,8	16,6	24,1	18,8	
Ecart-type	2,8	1,4	2,1	2,7	Ecart-type	2,9	1,1	2,9	0,9	
C.V.	14,10%	15,40%	11,70%	16,30%	C.V.	16,10%	6,50%	12,10%	4,70%	
variabilité intraparcellaire 30-60										
moyenne E1-E4	16				19					
écart-type	4				3					
C.V.	26%				15%					
Couche 0-60					Couche 0-60					
Moyenne	58,5	45	47,7	52,4		71,9	62,2	76,4	71	
variabilité intraparcellaire 0-60										
moyenne E1-E4	51				70					
écart-type	5				5					
C.V.	10%				7%					

(E1 et E2 : 2 répétitions du 1^{er} échantillonneur ; E3 et E4 : 2 répétitions du second échantillonneur)

Néanmoins, comme l'illustrent les figures 13 et 14 et les tableaux 2 et 3 (tests de comparaison deux à deux des moyennes³ respectivement pour chacune des couches de sols analysées (0-30 cm et 30-60 cm)), on peut observer des différences significatives entre échantillons composites.

Ainsi, pour la couche 0-30 cm (tableau 2), on observe une différence significative entre le reliquat moyen de l'échantillon E3 avec les moyennes des trois autres échantillons (E1, E2 et E4) dans la parcelle « A », tandis que dans la parcelle « B » on n'observe de différence significative qu'entre les moyennes des échantillons E1 et E2. Pour la couche 30-60 cm (tableau 3), le reliquat moyen de

³ Ce test calcule une valeur de probabilité (*p-value*). L'hypothèse du test suppose l'égalité des moyennes. Pour toutes les *p-values* inférieures au seuil α (alpha) = 5 % (0,05), on peut conclure que les moyennes sont différentes dans la population visée (avec 5 % de chances de se tromper en affirmant cela). Dans le cas contraire (*p-values* > 0,05), on accepte l'hypothèse nulle (égalité des moyennes).

l'échantillon E2 est significativement différent des moyennes des trois autres échantillons dans la parcelle « A », alors que dans la parcelle « B » le reliquat moyen de l'échantillon E3 est significativement différent des moyennes des échantillons E1 et E2.

Dans le contexte de la réglementation en vigueur lors d'un contrôle APL, l'existence de ces différences ne remet pas en cause la validité du contrôle puisque lorsqu'un résultat ne sied pas à un agriculteur, celui-ci a la possibilité de solliciter un nouvel échantillonnage de sa parcelle. Dans ce cas, le résultat le plus favorable est considéré pour l'appréciation de la conformité.

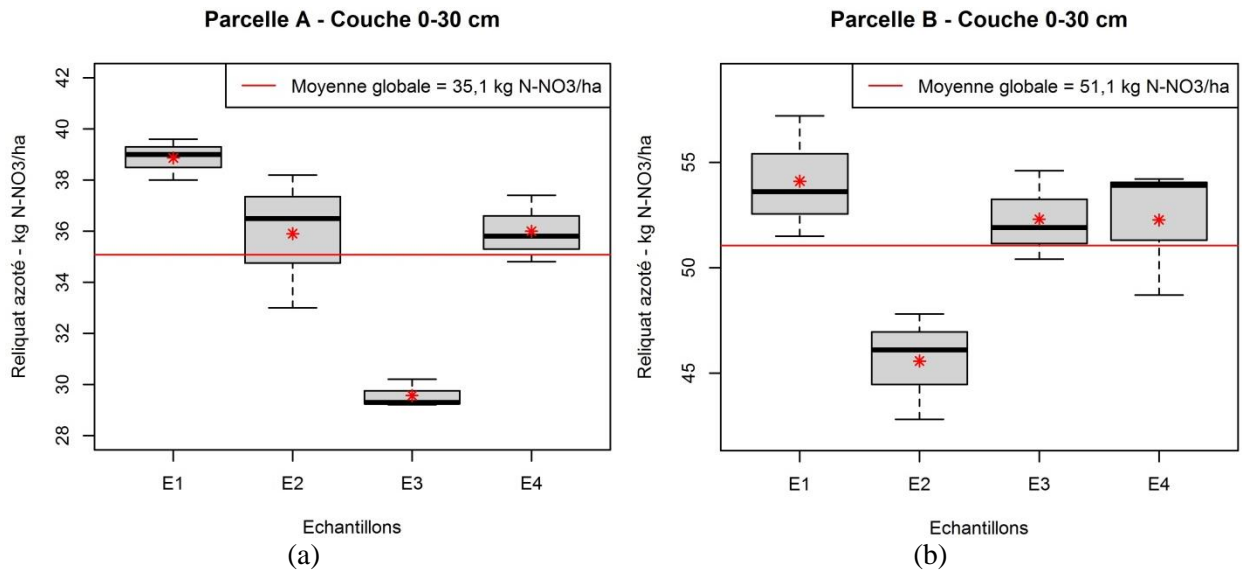


Figure 13. Distribution des résultats par échantillon de la couche 0-30 cm pour la parcelle A (a) et la parcelle (B).

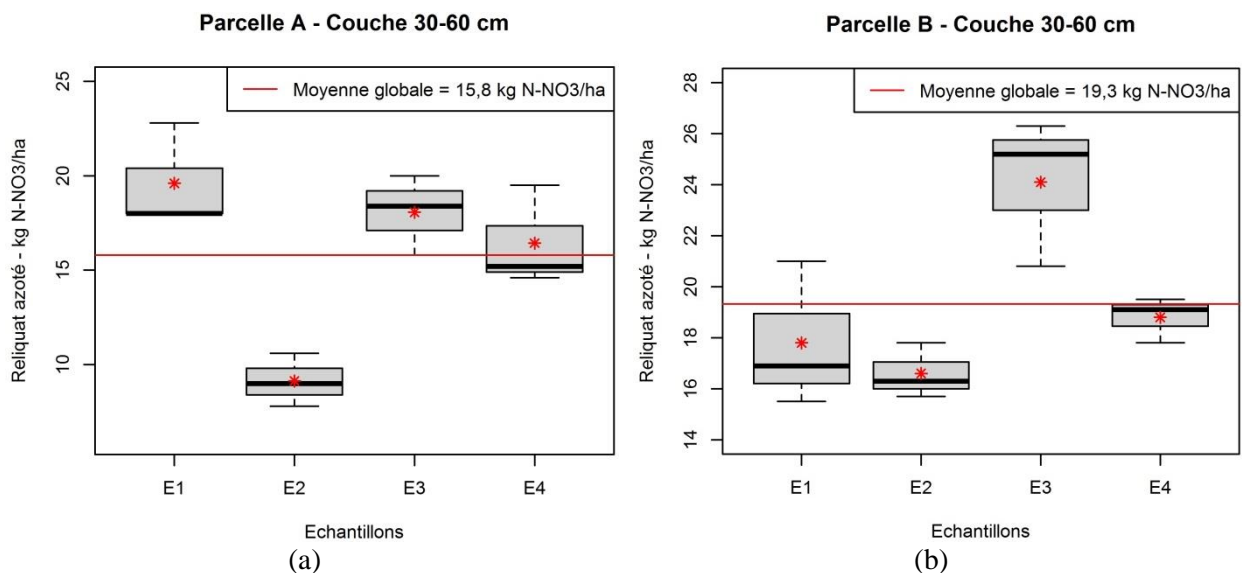


Figure 14. Distribution des résultats par échantillon de la couche 30-60 cm pour la parcelle A (a) et la parcelle (B).

Tableau 2. Résultats du test de comparaison deux à deux des moyennes par échantillon de la couche 0-30 cm pour la parcelle A et pour la parcelle B.

<i>Parcelle A – 0-30 cm</i>				<i>Parcelle B – 0-30 cm</i>			
	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>		<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>
<i>E2</i>	0,169	-	-	<i>E2</i>	0,019	-	-
<i>E3</i>	0,000	0,005	-	<i>E3</i>	0,843	0,060	-
<i>E4</i>	0,188	0,999	0,004	<i>E4</i>	0,836	0,061	0,999

(p-value des différences significatives en **gras**)

Tableau 3. Résultats du test de comparaison deux à deux des moyennes par échantillon de la couche 30-60 cm pour la parcelle A et pour la parcelle B.

<i>Parcelle A – 30-60 cm</i>				<i>Parcelle B – 30-60 cm</i>			
	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>		<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>
<i>E2</i>	0,002			<i>E2</i>	0,901		
<i>E3</i>	0,846	0,006		<i>E3</i>	0,029	0,012	
<i>E4</i>	0,392	0,020	0,821	<i>E4</i>	0,939	0,616	0,066

(p-value des différences significatives en **gras**)

En ce qui concerne la variabilité intra échantillon (pour mémoire, 3 analyses par sac), on observe (tableau 1) que celle-ci (écart type compris entre 1 et 3 kg N-NO₃⁻/ha) est toujours inférieure à celle observée entre échantillons (écart type compris entre 3 et 4 kg N-NO₃⁻/ha). Si l'on souhaite améliorer la précision d'un résultat, il conviendrait donc d'agir prioritairement sur la densité d'échantillonnage. Il convient cependant de mentionner qu'il est plus simple de doubler la quantité de sol analysé (30 à 60 gr) que de doubler le nombre de carottes à prélever (15 à 30 carottes) !

4. Conclusion générale et perspectives

L'approche par modélisation spatiale a permis de définir la densité de prélèvement requise pour un APL moyen attendu à la parcelle de 200 kg N-NO₃/ha, en fonction de la précision de la mesure recherchée. Une densité d'environ 10 carottes par échantillon est nécessaire lorsque l'azote nitrique est distribué aléatoirement sur la parcelle, tandis qu'une densité de 40 carottes est requise lorsque la distribution de l'azote nitrique suit un gradient ou est en zones homogènes.

Néanmoins, une question reste de savoir si l'objectif est d'orienter les échantillonneurs dans une même zone de la parcelle afin de chercher à reproduire les mêmes résultats lors d'un éventuel recontrôle, les conditions météorologiques et de pratiques agricoles restant similaires, ou s'il faut plutôt chercher à assurer une représentativité de la parcelle en toutes circonstances, en couvrant l'ensemble de la parcelle lors de l'échantillonnage et en densifiant l'échantillonnage en fonction de la précision recherchée.

La modélisation spatiale permet de répondre à la question liée à la représentativité et à la précision du reliquat attendu à la parcelle. En ce qui concerne la question de la répétabilité/reproductibilité de l'APL, une des pistes pour « contenir » la variabilité est de réduire la zone d'échantillonnage dans des zones dites « pédologiquement homogènes », en supposant qu'en répétant l'échantillonnage dans ces zones on retombera vraisemblablement sur le même résultat, les conditions météorologiques et de pratiques restant similaires. Dans ce cadre, l'outil REQUACARTO permettra de délimiter ces zones homogènes d'un point de vue pédologique en se basant sur la carte numérique des sols de Wallonie. Ainsi, il sera possible d'orienter un échantillonneur vers telle ou telle autre zone homogène de la parcelle (amélioration de la répétabilité).

Néanmoins, l'approche par « zones pédologiques homogènes » pourrait être confrontée à une contrainte technique dans le cadre de la mesure de l'APL car il faudra systématiquement géolocaliser les points de prélèvements pour être certain de revenir sur les mêmes lors d'éventuels recontrôles. Par ailleurs, cette approche « consacre » l'influence des types de sols sur l'APL dans le sens où elle incitera l'agriculteur à raisonner sa fertilisation en fonction des différentes zones pédologiques de sa parcelle (agriculture de précision) pour être certain que quelle que soit la zone pédologique contrôlée sur sa parcelle il ne risque d'être « mauvais » d'un point de vue de l'APL. Sans oublier la difficulté de mise en œuvre de cette fertilisation raisonnée (coûts) pour l'agriculteur.

L'approche par prise en compte de la parcelle entière montre une première contrainte liée à la taille du fait que l'échantillonneur doit la parcourir entièrement selon les 2 grandes diagonales pour en assurer la représentativité. Par ailleurs, la répétabilité de la mesure APL n'est pas toujours assurée. Notamment, dans le cas où le reliquat azoté de la parcelle est élevé (plus de 100 kg N-NO₃/ha), cette étude-ci montre qu'avec 15 carottes on n'aura pas une densité d'échantillonnage suffisante pour assurer une marge d'erreur maximale de 10 kg N-NO₃/ha autour de la moyenne attendue à la parcelle. Cependant, s'il y a contestation par l'exploitant et donc recontrôle (nécessitant un nouvel échantillonnage de 15 carottes et analyse), le résultat le plus favorable des 2 mesures (15 carottes prélevées pour chaque analyse, soit 30 carottes en tout analysées pour la parcelle) est conservé pour l'exploitant. On garde donc finalement les 15 « meilleures » carottes pour l'agriculteur.

L'expérimentation (échantillonnage et analyses au laboratoire) réalisée montre que les reliquats moyens d'azote nitrique de plusieurs échantillons d'une même couche (0-30 cm ou 30-60 cm) de sol peuvent être significativement différents mais sans que cette différence ne soit supérieure à 10 kg N-NO₃/ha. L'étude permet également de conclure que le prélèvement de 30 gr par sac d'échantillon est suffisant pour estimer l'APL moyen de l'échantillon avec une marge d'erreur de 10 kg N-NO₃/ha.

5. Bibliographie

Colinet G. & Vandenberghe C. 2014. *Estimation of the soil nitric nitrogen concentration at plot scale. Impact of the sampling density on the result's precision.* Poster presented at the Young Soil Scientist day, 2014. Soil Science Society of Belgium. Brussels, Belgium