

PI 7 – Rotation maïs ensilage-blé-colza-blé sur limon argileux à silex en Picardie

Intitulé du cas-type	Rotation sur limon argileux à silex en Picardie
Localisation	Département de l’Oise
Type de sol	Limon argileux à silex sur argile à silex
Type de climat	Série climatique 2000-2018
Rotation	Maïs ensilage- Blé-Colza -Blé
Pratiqué ou prototype	Pratiqué
N° Cas-types comparables	PI 2, PI 3, PI 4, PI 5, PI 6
Contact	Christine Leclercq, UniLaSalle Beauvais

I. Contexte

a. Localisation et présentation générale du SdC

i. Contexte agricole et enjeux de l’azote (et autres) dans cette situation

Le Plateau Picard, entaillé par des vallées souvent sèches, présente une grande diversité de sols largement dépendante de la topographie. Les versants notamment se caractérisent par des sols superficiels : argiles à silex sur craie et « cranettes » sur craie (Figure 1)). La diversité des potentiels résultant de la réserve utile se traduit par une diversité de systèmes de culture. La polyculture domine le paysage : céréales et oléoprotéagineux, betterave voire pomme de terre et légumes d’industrie sur les limons les plus profonds. Les exploitations de polyculture élevage bovin laitier ou allaitant sont de moins en moins nombreuses.

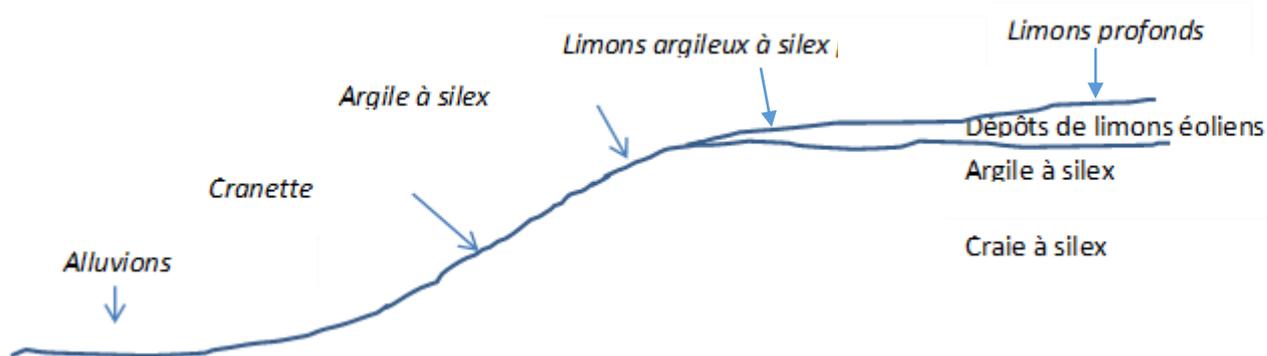


Figure 1 : Répartition typique des sols selon le relief en Plateau Picard

Si les eaux de surface sont rares, la nappe de la craie est profonde mais vulnérable aux pollutions par les nitrates ce qui justifie le classement -à titre préventif- du département de l’Oise en zone vulnérable dès 2001.

ii. Système de culture présenté

La rotation maïs ensilage/ blé/colza/ blé s’observe dans les exploitations de polyculture-élevage (laitier ou taurillon).

b. Climat

Le climat se caractérise par des précipitations assez faibles (685 mm en moyenne par an) mais fréquentes (104 j/an) et assez régulièrement réparties (Figure2). La température moyenne annuelle s'établit à 11,1 °C, les températures moyennes de janvier et de juillet sont respectivement de 4,1 °C et 18,9 °C (Figure 3). Le « bilan » ($P - 0.5*ETP$) est excédentaire en hiver et de niveau moyen (262 mm du 01/10 au 31/03 entre 1969 et 1993).

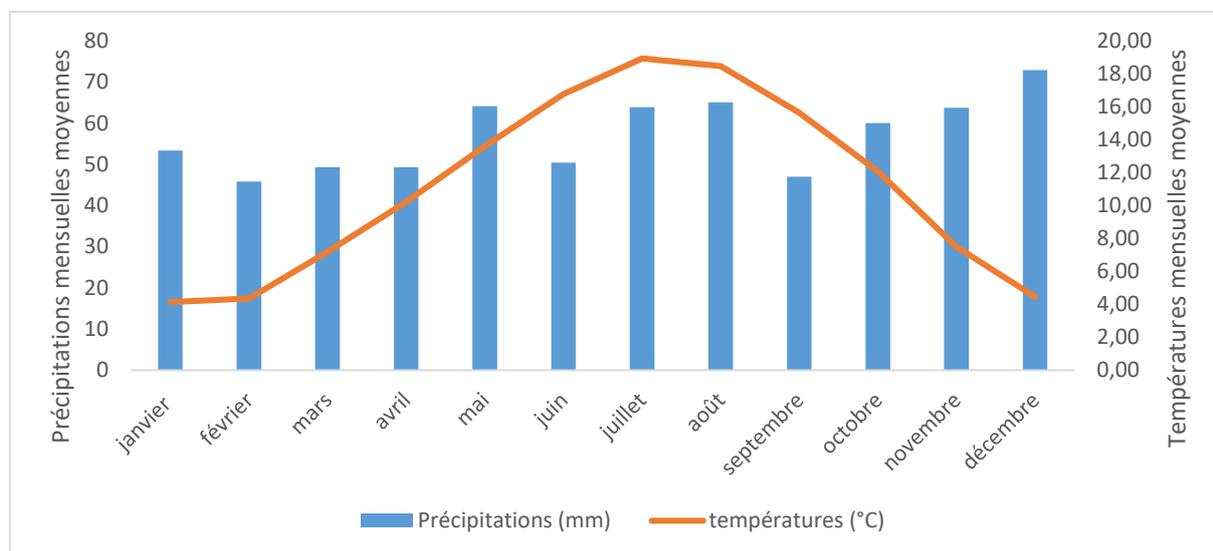


Figure 2 : Diagramme ombrothermique – Beauvais (1999-2018).

b. Sol sur lequel est « testé » le SdC

Il s'agit d'un sol de limon argileux à silex sur argile à silex (Tableau 1).

La profondeur maximale d'enracinement est de 95 cm.

Tableau 1 : caractéristiques physico-chimiques des limons à silex de l'Oise

Profondeur (cm)	Argile (%)	Limons (%)	Sables (%)	Densité apparente	Cailloux (%)	Norg (%)	MO (%)	C/N	CaCO3 (%)	pH _{eau}	CEC (meq)
0-30	21	69	10	1.4	10	0.14	2.2	8.8	0.2	6.3	14
30-55	30	60	10	1.5	10						
55 - 85	32	60	8	1.1	50						
85 -135	64	16	10	1.1	10						

(Texture, densité, pierrosité, % MO, % CaCo3, CEC, d'après la fiche « limon à silex » du Guide Agronomique des Sols de l'Oise).

II. Le système de culture

Tableau 2 : Itinéraire technique de chaque culture et couverts végétaux de la rotation.

Culture	Implantation et travail du sol	Stratégie de fertilisation (/ha)	Irrigation	Récolte (date, destruction et gestion des couverts) et niveau de rendement
Couvert de moutarde	mi-août	néant	néant	Peuplement dense Détruit par le gel fin janvier
Maïs ensilage	Labour, herse rotative et semis mi-avril	20 t de fumier de bovins en janvier Solution azotée 39 : 70 N début avril	néant	Récolte mi-septembre 15 T Ms / ha
Blé	Semis mi-octobre sur travail superficiel	Solution azotée 39 : 65 N début mars 60 N fin mars 60 N fin avril Ammonitrate 43 N mi-mars	néant	Récolte mi-juillet 8.5 t/ha Paille exportée
Colza	Semis fin août sur travail superficiel	35 m3 t de lisier de bovins mi-août Solution azotée 39 : 84 N début mars	néant	Récolte mi-juillet 4 t/ha Résidus non exportés
Repousses de colza	néant	néant	néant	Destruction chimique début octobre
Blé	Semis mi-octobre sans travail du sol	Solution azotée 39 : 50 N mi-mars 85 N fin mars 50 N fin avril	néant	Récolte mi-juillet 8.5 t/ha Résidus non exportés

L'enjeu de la culture du maïs est l'autonomie fourragère du troupeau laitier et, par suite, la rentabilité de l'élevage et de l'exploitation. Pour limiter le risque de stress hydrique et de déficit fourrager qui nécessiterait la recherche et l'achat de maïs sur pied à proximité et/ou de concentré, elle est réservée aux sols les plus profonds et/ou sa sole majorée d'une marge de sécurité (qui sera récoltée en grain en année favorable).

La présence du colza et du maïs permet de valoriser le lisier et le fumier produits par l'élevage laitier et de réduire les charges de fertilisation.

Pour assurer la marge maximale, la fertilisation est fondée sur le bilan azoté, la densité de peuplement sortie hiver et un objectif de rendement réaliste.

La rotation maïs / colza/ blé/ orge d'hiver et le labour limitent le risque de spécialisation de la flore adventice. L'implantation de couverts jugée couteuse, exigeante en main d'œuvre et leur réussite trop aléatoire, seule une moutarde est semée dans l'interculture qui précède le maïs et les « repousses » de colza font office de piège à nitrate.

III. Résultats attendus en termes de pertes d'azote

Les attentes en termes de pertes par lixiviation de l'azote et par volatilisation sont précisées dans le Tableau 3. Nous visons un système à moins de 10 kgN pour 100 mm d'eau drainée et moins de 10 % de pertes par volatilisation pour 100 kgN/ha apportés. Ces seuils ont été déterminés dans le cadre du projet AgroecoSyst'N vis-à-vis de la qualité de l'eau (potabilité) et de l'air.

Tableau 3 : Seuils de satisfaction des pertes en nitrates et en ammoniac du système de culture

Seuils de pertes	Volatilisation d'ammoniac : > 10 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)	Volatilisation d'ammoniac : 5 % à 10 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)	Volatilisation d'ammoniac : < 5 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)
Lixiviation de nitrate : < 5 kgN/100 mm de lame d'eau drainante		Haute performance azotée (HPN)	Haute performance azotée (HPN)
Lixiviation de nitrate : 5 à 10 kgN/100 mm de lame d'eau drainante			Haute performance azotée (HPN)
Lixiviation de nitrate : > 10 kgN/100 mm de lame d'eau drainante			

Légende :

	Haute performance azotée (HPN)
	Performance azotée partielle
	Basse performance azotée

IV. Présentation des simulations réalisées avec Syst'N®

Les simulations de la rotation Maïs ensilage / blé / colza / blé / ont été réalisées sur période 2000- 2018 sur la base des itinéraires techniques de 2014 à 2016 (sauf dates d'implantation moyennes).

V. Evaluation des pertes d'azote

a. Présentation des résultats moyens du système de culture

Les flux d'azote moyens à l'échelle du système de culture sont présentés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Flux moyens d'azote total simulés à l'échelle du champ cultivé, calculés sur l'ensemble de la succession, ramenés à l'année.

a	Entrées d'azote (kgN/ha/an)	a1 : Apport: fertilisation minérale	168
		a2 : Apport: fertilisation organique	62
		a3 : Fixation biologique d'azote	0
b	Sorties d'azote (kgN/ha/an)	b1 : Exportation par les récoltes	129
		b2 : Exportation par les résidus de cultures exportés de la parcelle	8.5
c	Minéralisation de l'azote du sol et des résidus de culture (kgN/ha/an)		125
d	Pertes d'azote moyennes annuelles (kgN/ha/an)	d1 : Protoxyde d'azote (N ₂ O)	0.6
		d2 : Ammoniac (NH ₃)	24
		d3 : Nitrate lessivé (NO ₃ ⁻)	13
		d4 : Nitrate ruisselé (NO ₃ ⁻)	0
e	Lame d'eau drainante annuelle (mm d'eau/an)		125

NB : sur un total moyen de 94 kg N /ha mobilisés dans les résidus, seuls 8.5 kgN/ha sont exportés annuellement.

A partir des flux simulés et présentés dans le Tableau 4 nous sommes en mesure de calculer des indicateurs de performances azoté de cette situation culturale (Tableau 5).

Tableau 5 : Indicateurs retenus pour évaluer les performances azotées de la situation culturale.

a-b	Bilan apparent : Entrées – Sorties par exportation (kgN/ha/an)	93
a - (b+d)	Variation du stock d'azote total dans le sol (kgN/ha/an)	55
(d3*100)/e	Pertes d'azote par lixiviation pour 100 mm de lame d'eau drainante (kgN/100 mm)	10
(d3*100*4.43)/e	Pertes de nitrates par lixiviation pour 100 mm de lame d'eau drainante (kgNO ₃ ⁻ /100 mm) ou concentration moyenne en nitrate (NO ₃ ⁻) sous le profil (mgNO ₃ ⁻ /l)	46
d2/(a1+a2)	Pertes d'azote sous forme d'ammoniac (NH ₃) en % des apports totaux	10

NB : 1 kg N = 4.43 kg NO₃⁻

Avec une concentration moyenne de 46 mg/l de nitrates, des pertes annuelles de nitrate 10 kg N/100 mm de lame d'eau drainante et d'ammoniac de 24 Kg N/ha/an, cette situation se caractérise par des pertes assez élevées.

Le bilan apparent est 93 kg N/ha/an et, compte tenu des pertes (38 kg N/ha/an), le stock d'azote total augmente de 55 kgN/ha/an. La lame drainante étant assez faible (125 mm/an), les pertes de nitrates s'expliquent par des quantités moyennes d'azote minéral dans le sol en début de période de drainage. En effet, minéralisation nette de l'azote organique du sol et des résidus et fertilisation minérale (125 + 168 = 262 kgN/ha/an) dépassent très largement les exportations par les récoltes (129 kg N/ ha/an) et, même si une partie de cet excédent est mobilisé dans les résidus non exportés (85 kg N/ha/an), la quantité d'azote minéral en jeu apparaît moyenne.

La combinaison des pertes assez faibles et d'une lame drainante plutôt faible se traduit par une concentration moyenne en nitrates sous le profil assez élevée (46 mgNO₃⁻/L).

Les pertes d'ammoniac sont assez élevées.

N.B. : l'ensemble des Figures présentées ci-après sont disponibles au téléchargement sous image (png) pour une meilleure lisibilité et plus grande facilité d'utilisation de ces Figures pour le conseil ou la formation.

Par ailleurs les dynamiques complètes plante-sol-atmosphère de ce cas-types sont également présentées en annexe.

b. Dynamiques et pertes azote : sorties graphiques Syst'N

La Figure 4 présente les dynamiques des pertes moyennes d'azote par lixiviation et volatilisation. Les pertes indiquées sont des moyennes calculées pour chaque culture les années climatiques sur lesquelles la culture concernée est présente.

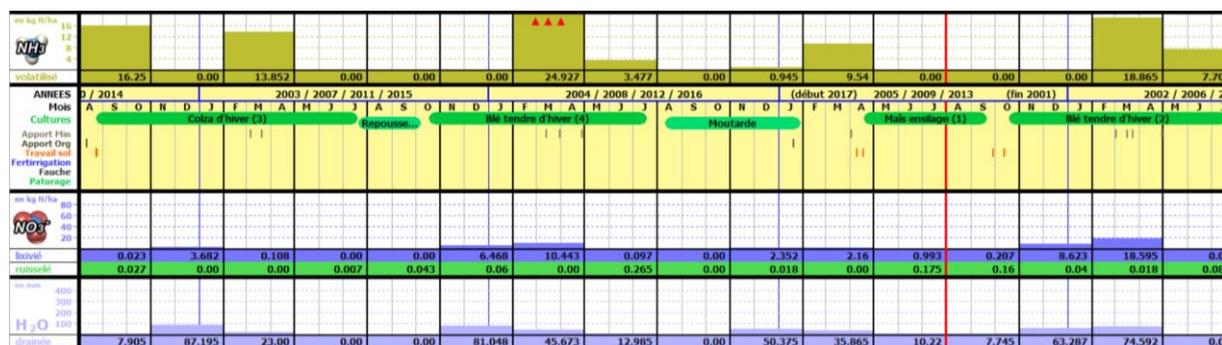


Figure 4 : dynamiques des pertes moyennes d'azote par lixiviation et volatilisation simulées sur les 18 années climatiques.

Lixiviation des nitrates

En moyenne, sur les 4 cycles de la rotation (figure 4), la période de drainage et de lixiviation a lieu en fin d'automne (novembre à janvier) et fin d'hiver (février à avril).

La quantité d'eau drainée apparaît

- élevée sous colza en fin d'automne puis moyenne,
- élevée en fin d'automne puis assez élevée sous le blé qui suit le colza mais plus faible en fin d'automne et plus élevée en fin d'hiver pour le blé qui suit le maïs ensilage,
- assez élevée puis moyenne sous la moutarde qui précède le maïs ensilage.

Les pertes de nitrate sont

- quasi nulles sous le colza et la moutarde,
- faibles sous blé dans l'ensemble quoique un peu plus élevées en fin d'hiver sous le blé qui suit le maïs ensilage,

Les dynamiques des pertes moyennes d'azote par lixiviation et volatilisation, l'évolution de la quantité d'azote minéral dans le sol et l'absorption par les cultures sur l'ensemble de la série climatique figurent en annexe.

L'analyse complète de la série montre une grande variabilité interannuelle de la lame drainante sous toutes les cultures en fin d'automne (figure 5) et dans une moindre mesure en fin d'hiver (figure 6). En outre, en fin de printemps sous maïs la lame drainante varie entre 0 et 29 mm sous maïs et atteint 52 mm en 2016 sous blé.

Pour une même période de la rotation (trimestre*culture), on observe également des variations interannuelles de la quantité d'azote lixivié principalement en relation avec la lame drainante (figures 5 et 6). En fin d'automne, si la lixiviation est quasi nulle 3 années sur 4 sous colza, sous l'effet d'une très forte lame d'eau, elle atteint en 2002 des valeurs comparables à celles d'autres cultures. La quantité d'azote lixivié est négligeable 1 année sur 2 sous blé quel que soit le précédent.

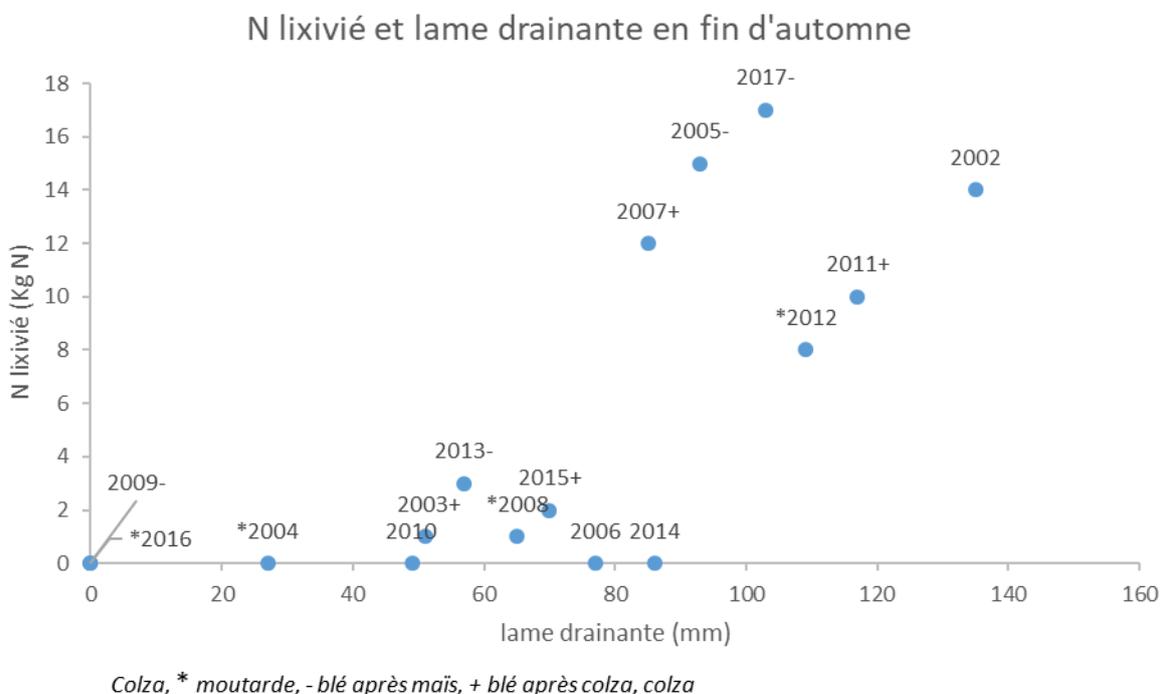


Figure 5 : Relation entre quantité d'azote lixivié et lame drainante de novembre à janvier.

En fin d’hiver, on n’observe ni forte lame drainante ni lixiviation sous colza ou avant maïs. En revanche, la quantité d’azote lixivié dépasse 10 kg/ha plus d’une année sur sous blé (3/4 sous blé après colza).

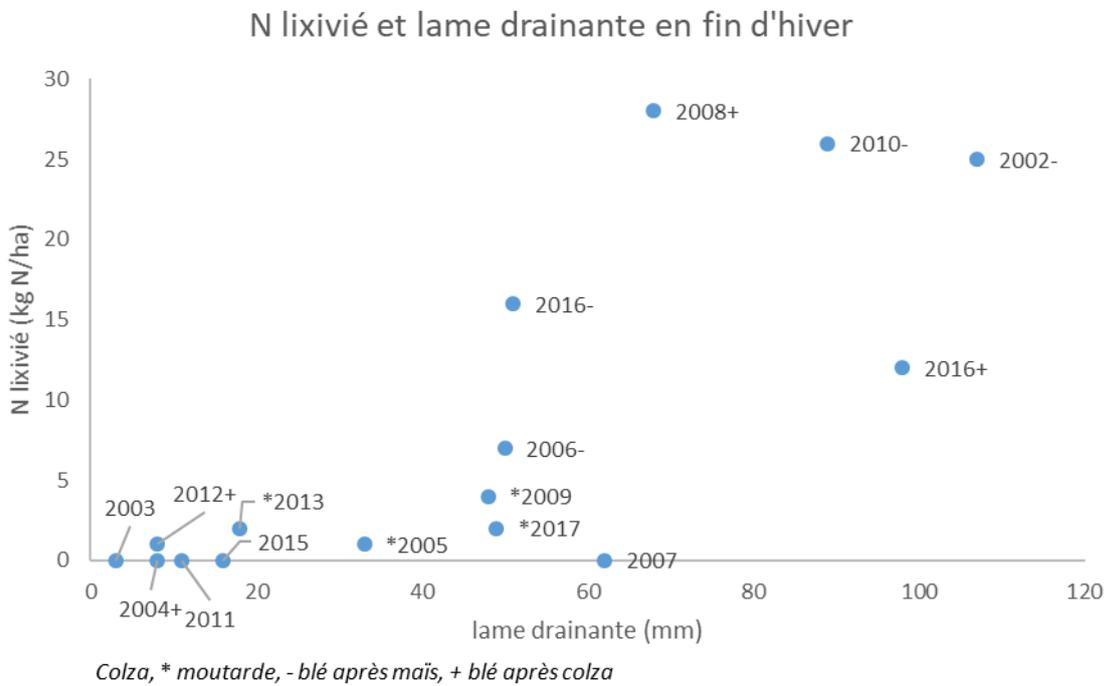


Figure 6 : Relation entre quantité d’azote lixivié et lame drainante de février à avril.

La quantité d’azote minéral dans le sol connaît également de fortes variations interannuelles. La séquence 2010/2014 paraît typique (Figure 7)

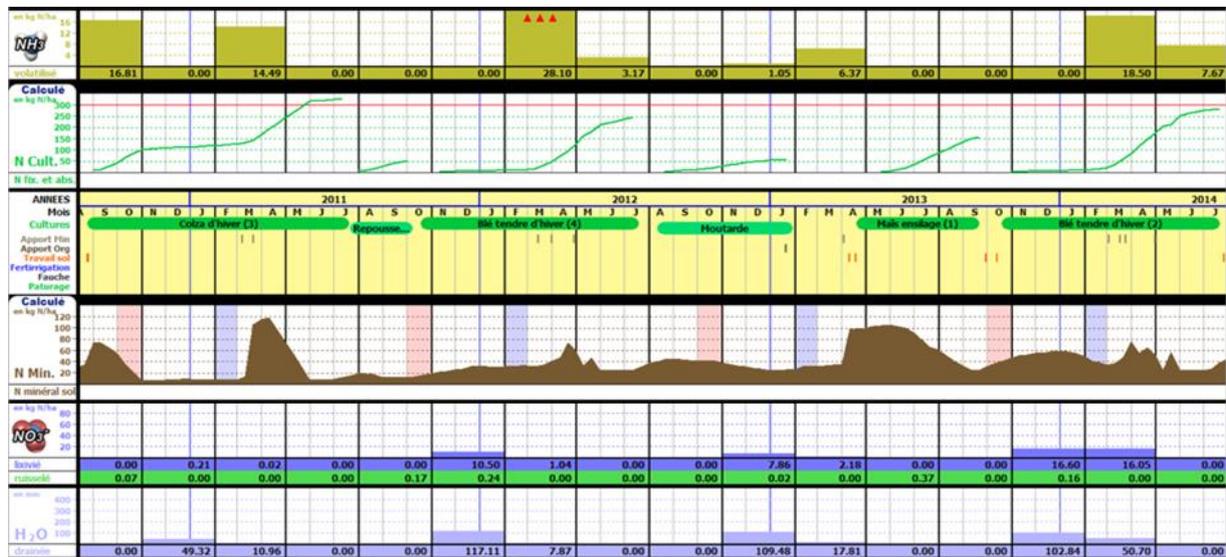


Figure 7 : Dynamiques des pertes moyennes d’azote par lixiviation et volatilisation, l’évolution de la quantité d’azote minéral dans le sol et l’absorption par les cultures de 2010 à 2014.

En août 2010, le stock d’azote minéral du sol augmente à la suite de l’apport de lisier puis est réduit au minimum par les prélèvements du colza en croissance dès l’automne. Ce niveau minimal à l’entrée de l’hiver ne donne pas lieu à lixiviation malgré une lame drainante moyenne. Les apports réalisés en mars entraînent un pic rapidement consommé par la reprise de la végétation. Dès juin 2011, le stock

est à nouveau quasi nul et, grâce aux repousses, augmente peu sous l'effet de la minéralisation estivale. Après leur destruction, leur minéralisation alimente une croissance lente du stock que les faibles besoins du blé à l'automne ne consomment pas. Il en résulte un reliquat entrée hiver moyen et un flux de lixiviation de 10 kg N / ha, compte tenu d'une lame drainante forte en fin d'automne mais limitée en fin d'hiver. En l'absence de drainage, les premiers apports minéraux en phase de faible croissance ne subissent pas de lixiviation. A partir de mi-avril les besoins du blé se traduisent par une hausse limitée puis une chute rapide de la quantité d'azote minéral dans le sol. Durant l'été le produit de la minéralisation estivale est consommé par le couvert de moutarde, le stock augmente peu puis se maintient pendant l'hiver. En dépit d'une lame drainante de plus de 100 mm entre novembre 2012 et janvier 2013 et de l'apport précoce de fumier, ce reliquat modéré permet de limiter la lixiviation. Les apports organiques minéraux de printemps provoquent une hausse du stock mais la faible lame drainante n'engendre pas de lixiviation. La croissance du maïs entame le stock et consomme les produits de la minéralisation des matières organiques du sol et du fumier. La minéralisation de matière organique du sol se poursuit et, faute de prélèvements significatifs par le blé, alimente la croissance du stock. De fortes lames d'eau en fin d'automne et en hiver (150 mm) engendrent la lixiviation d'une partie de ce stock (30 kg N /ha).

La séquence 2006 /2010 se distingue par des épisodes de lixiviation plus marqués et des stocks d'azote minéral plus élevés durant la succession colza / blé (Figure 8).

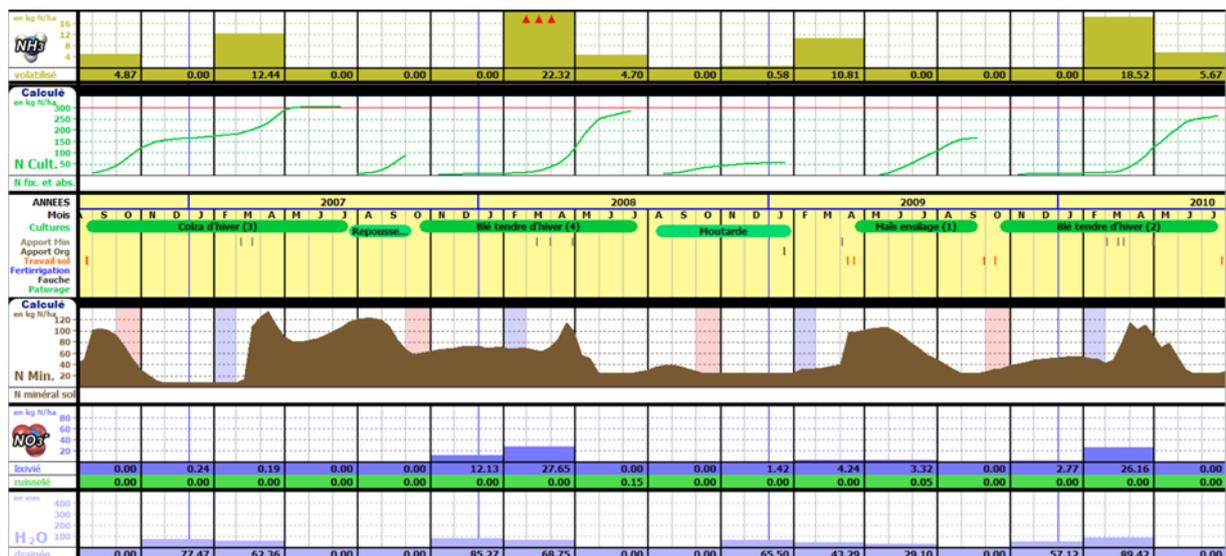


Figure 8 : dynamiques des pertes moyennes d'azote par lixiviation et volatilisation, l'évolution de la quantité d'azote minéral dans le sol et l'absorption par les cultures de 2006 à 2010

En août 2007, le stock d'azote minéral du sol connaît un pic consécutif à l'apport de lisier puis est largement absorbé par la croissance du colza à l'automne. A un niveau minimal à l'entrée de l'hiver, il ne donne pas lieu à lixiviation malgré une lame drainante élevée. Les apports réalisés en mars entraînent une hausse très rapide du stock qui n'est pas affecté par le drainage mais alimente la reprise de la végétation. Toutefois, à l'issue de cette phase, le stock reste important et augmente sous l'effet d'une forte minéralisation estivale jusqu'à ce que l'absorption par les repousses vienne le limiter. Les faibles besoins du blé à l'automne ne permettant pas de le réduire, le reliquat entrée hiver atteint près de 80 kg N / ha et la lame drainante élevée en fin d'automne puis fin d'hiver entraîne la lixiviation de 40 kg N/ ha. Les premiers apports minéraux en phase de faible croissance ne se manifestant pas par une hausse du stock, il n'est pas exclu qu'une partie soit lixiviée. A partir de mi-avril les besoins du blé se traduisent par une chute rapide de la quantité d'azote minéral dans le sol. Durant l'été sous le double effet de la minéralisation estivale et des prélèvements par le couvert de moutarde, le stock augmente peu puis se maintient pendant l'hiver, limitant la lixiviation hivernale à des valeurs très

faibles malgré une lame drainante de plus de 100 mm et un apport de fumier précoce. Les apports minéraux de printemps provoquent une hausse du stock et un faible flux de lixiviation (en l'absence de végétation active au printemps, la lame drainante est significative). Malgré la minéralisation des matières organiques du sol et du fumier, le stock diminue rapidement durant l'été sous l'effet de la croissance du maïs. Sous le blé, dont les besoins sont négligeables à l'automne, il s'accroît encore de la minéralisation de matière organique du sol.

Emissions d'ammoniac

En moyenne, sur les 4 cycles de la rotation (figure 4), les émissions d'ammoniac ont lieu en fin d'hiver (à l'occasion des apports minéraux ou de fumier) et se prolongent un peu sous blé (dernier apport plus tardif). Un épisode intervient également en fin d'été lors de l'épandage de lisier avant colza. Moyennes sous colza ou avant maïs ensilage en fin d'hiver, elles apparaissent plus élevées sous le blé qui suit le colza.

Si le pH du sol (6.5) n'est pas un facteur favorable, la forme des apports minéraux, le plus souvent sous forme de solution azotée 39 dont 50 % de l'azote se présente sous forme d'urée plus propice à la volatilisation.

La variabilité interannuelle des émissions résultant de différences de température et d'humidité du sol reste faible. Malgré des apports minéraux sur blé après colza inférieurs de 43 kg/ha/an à ceux du blé après maïs, et un premier apport plus tardif, les émissions de fin d'hiver s'avèrent systématiquement plus élevées (30 kgN/ha contre 20 kgN/ha en moyenne).

VI. Diagnostic des performances azotées et discussion des résultats

Avec une concentration moyenne de 46 mg/l de nitrates, des pertes annuelles de nitrate 10 kg N/100 mm de lame d'eau drainante et d'ammoniac de 24 Kg N/ha/an, cette situation ne satisfait pas les objectifs (Tableau 4).

Tableau 4 : Seuils de satisfaction des pertes en nitrates et en ammoniac du système de culture

Seuils de pertes	Volatilisation d'ammoniac : > 10 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)	Volatilisation d'ammoniac : 5 % à 10 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)	Volatilisation d'ammoniac : < 5 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)
Lixiviation de nitrate : < 5 kgN/100 mm de lame d'eau drainante		Haute performance azotée (HPN)	Haute performance azotée (HPN)
Lixiviation de nitrate : 5 à 10 kgN/100 mm de lame d'eau drainante			Haute performance azotée (HPN)
Lixiviation de nitrate : > 10 kgN/100 mm de lame d'eau drainante	10.4 kgN lixivié / 100 mm d'eau drainée et 10% de l'azote total apporté volatilisé		

Légende :

	Haute performance azotée (HPN)
	Performance azotée partielle
	Basse performance azotée

La quantité d'azote lixivié s'est avéré sensible aux années à risque (cf coïncidence entre les lames d'eau maximales et les quantités lixiviées maximales en fin d'automne et en fin d'hiver) mais sur les 16 années (première et dernière année de simulation exclues), elle n'atteint 40 kg/ha/an qu'une fois et

ne dépasse 15 kgN/ha/an qu'à 5 reprises dont 3 sous blé après maïs ensilage, c'est-à-dire sans piégeage d'azote par le colza ou un couvert (moutarde ou repousses de colza).

La limitation de la lixiviation permise par le colza, ses repousses ou le couvert de moutarde reste dépendante du succès de leur implantation, elle-même très sensible aux conditions climatiques estivales. La succession d'étés secs et les échecs de ces implantations ces dernières années montre les limites de ce système. Une voie d'amélioration réside donc dans la recherche de modalités d'implantation précoces de couverts voire de semis de CIPAN sous couvert pour augmenter leurs chances de succès. D'autre part, la contribution à l'atténuation du changement climatique suppose l'introduction de légumineuses dans la rotation : culture principale pure (voir cas PI 5) ou association, plante compagne, en mélange dans un couvert qui, à travers la minéralisation de leurs résidus, modifieront la fertilisation de la culture suivante, la dynamique de l'azote dans le sol, les risques de lixiviation et de volatilisation.

Par ailleurs, Il faut noter que la profondeur et la charge en éléments grossiers dans les différents horizons du profil, variables dans ce type de sol, influent largement sur sa capacité de rétention et sur la lame drainante. Un pierrosité plus forte ou une profondeur d'enracinement plus faible se traduiront par un risque plus élevé et plus fréquent de lixiviation.

Enfin, la simulation des pertes d'ammoniac est menée à partir de données journalières mais les conditions météorologiques dans les heures qui suivent l'épandage peuvent faire varier les quantités d'ammoniac volatilisées : température élevée, vent, faible humidité du sol constituent des facteurs de volatilisation.

Le choix de la forme de l'azote minéral apporté constitue un levier important pour réduire les émissions d'ammoniac. L'enfouissement, également efficace, suppose un passage ou un équipement spécifique qui engendre des coûts plus ou moins compensables par les économies réalisables en réduisant les pertes.

VII. Conclusion

Compte tenu de ses performances (perte de 10 kgN pour 100 mm de lame drainante sous forme de nitrate et de 10% des apports sous forme d'ammoniac) cette situation ne peut être qualifiée de situation à haute performance azotée. Elle se caractérise par une certaine sensibilité aux années à risque, notamment lorsqu'elles coïncident avec la succession maïs ensilage / blé en raison de la faible capacité d'absorption du blé à l'automne (3 fois sur les 4 occurrences de la succession dans la simulation étudiée). En revanche, durant les 3 autres années de la rotation, le colza, ses repousses et le couvert de moutarde permettent de limiter la lixiviation. Maintenir ces atouts suppose de mettre en œuvre tous les moyens de réussir les implantations estivales mais, sauf à remettre en question la succession maïs ensilage / blé, il existe peu de marge de manœuvre pour limiter le risque de lixiviation durant l'hiver suivant.

En l'absence de légumineuses et malgré un apport de fumier, les apports d'engrais minéraux sont importants et engendrent une volatilisation d'ammoniac d'autant plus forte qu'ils s'effectuent sous forme de solution riche en urée.

Cette situation peut être comparée aux situations PI 2 et PI 6 dont elle ne diffère que par le type de sol (limon battant en PI 2, argile à silex en PI6) et à d'autres situations en limons battant dont le système de culture diffère aussi par la substitution du maïs ensilage par du maïs grain (PI 3) ou de la betterave (PI 5 sans apports organiques), ou l'introduction du pois protéagineux de printemps avant colza (PI 4).

Annexe : Dynamiques sol-plante-atmosphère de l'azote du cas-type PI 7

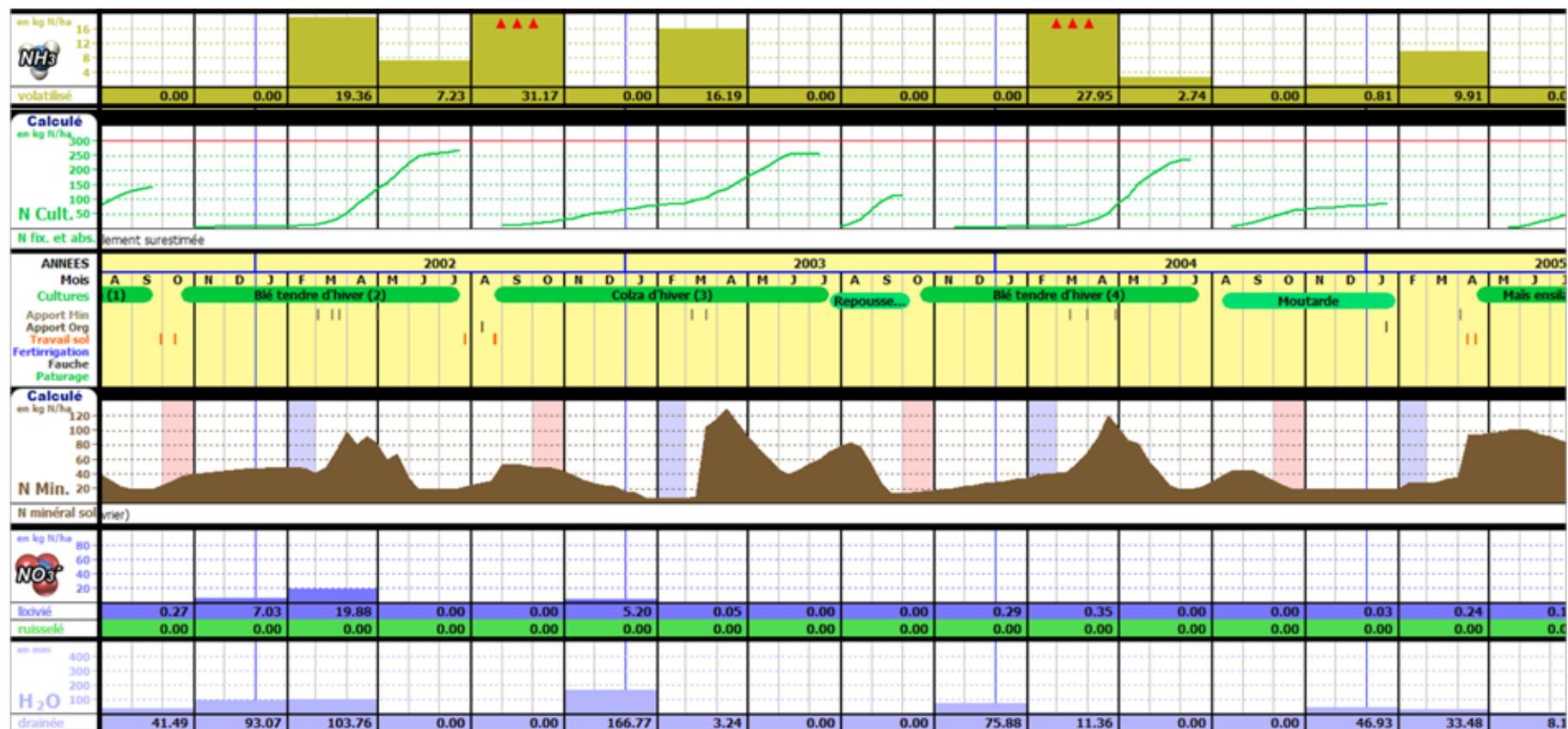


Figure 9 : Dynamiques de l'azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d'azote par lixiviation (NO₃⁻) et volatilisation (NH₃) et lame d'eau drainante (mm) – Période 2002-2005.

Cas-type PI 7 – Rotation maïs ensilage-blé-colza-blé sur limon argileux à silex en Picardie

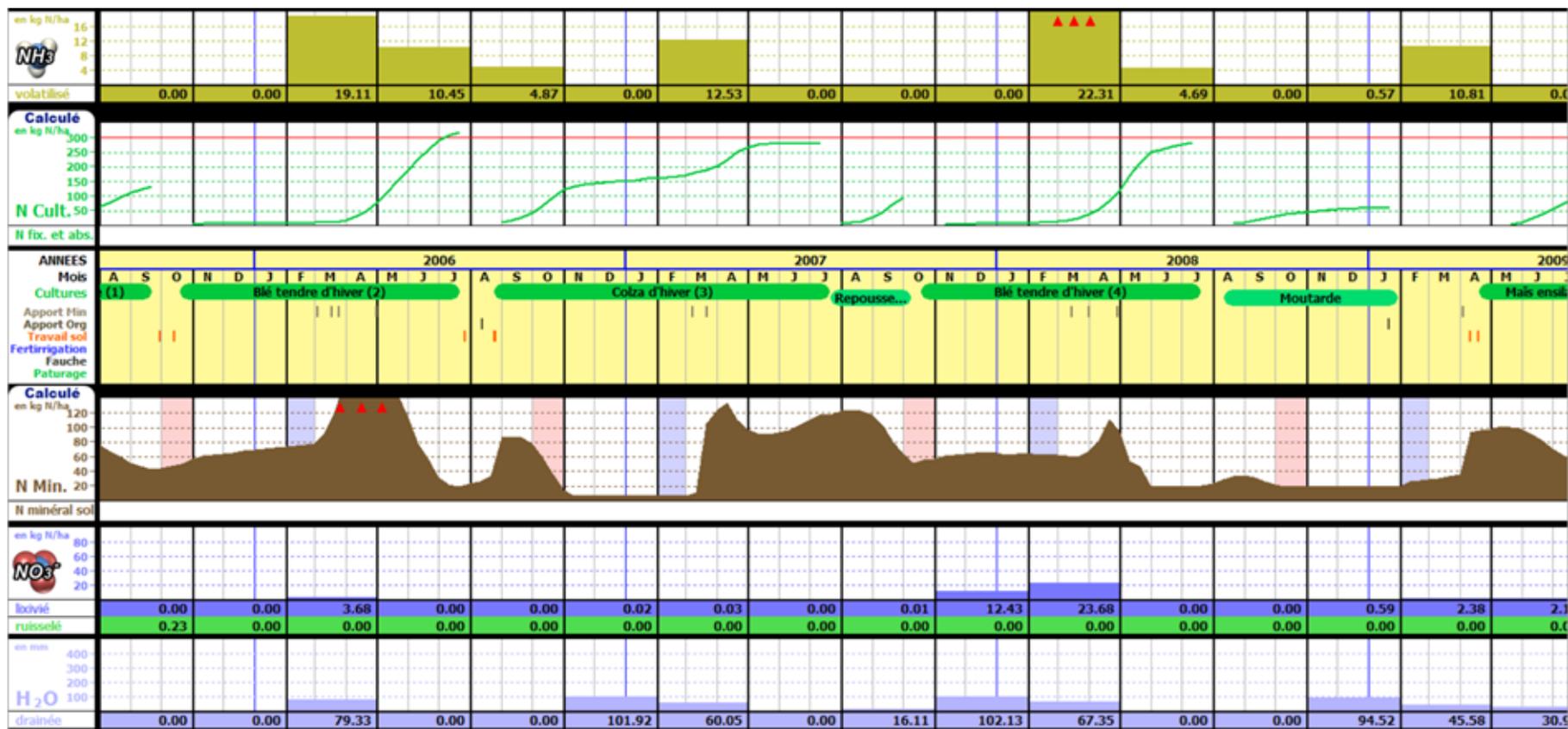


Figure 10 : Dynamiques de l'azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d'azote par lixiviation (NO₃⁻) et volatilisation (NH₃) et lame d'eau drainante (mm) – Période 2005-2009.

Cas-type PI 7 – Rotation maïs ensilage-blé-colza-blé sur limon argileux à silex en Picardie

