

PI 5 – Rotation betterave-blé-colza-blé sur limon battant en Picardie

Intitulé du cas-type	Rotation betterave/ blé/ colza/ blé sur limon en Picardie – PI5
Localisation	Département de l’Oise
Type de sol	Limon battant moyennement profond
Type de climat	Série climatique 2000-2018
Rotation	Betterave sucrière- Blé-Colza -Blé
Pratiqué ou prototype	Pratiqué
N° Cas-types comparables	PI 2, PI 3, PI 4
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.

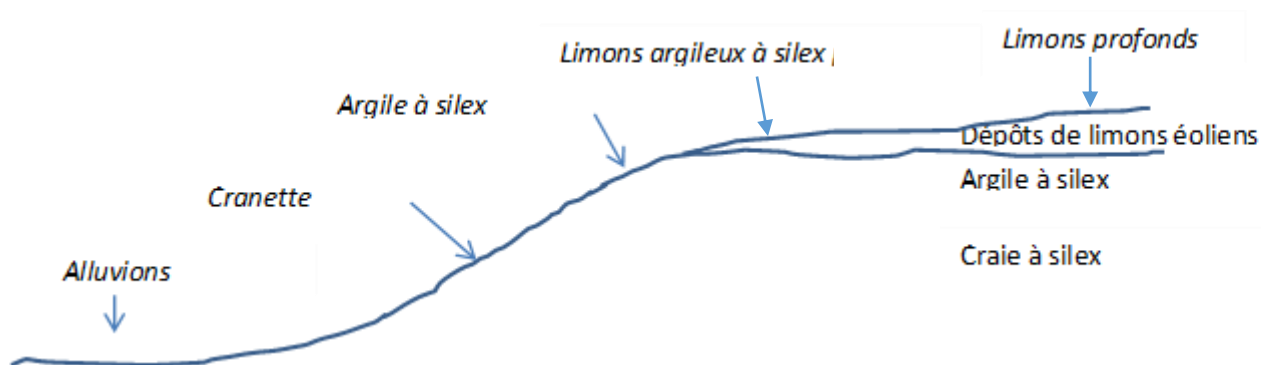


Figure 1 : Répartition typique des sols selon le relief en Plateau Picard

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

Ce système de culture caractérisé par une rotation Betterave sucrière- Blé-Colza -Blé s’observe dans les exploitations de polyculture.

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 (Figure 2). 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).

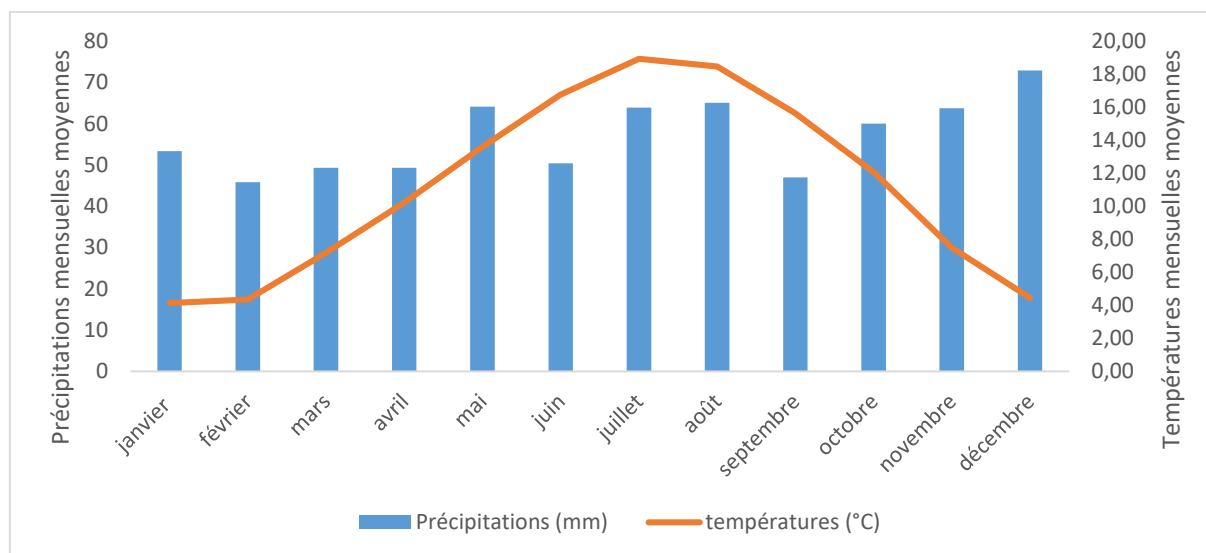


Figure 2 : Diagramme ombrothermique – Beauvais (1999-2018).

c. Sol sur lequel est « testé » le SdC

Il s'agit d'un sol de limon battant moyennement profond.

Si ces sols sont considérés comme les plus favorables du Plateau Picard, les rendements, leur régularité et la diversité des cultures possibles dépendent de leur profondeur.

Tableau 1 : caractéristiques physico-chimiques du sol

Profondeur (cm)	Argile (%)	Limons (%)	Sables (%)	Densité apparente	Cailloux (%)	Norg (%)	MO (%)	C/N	CaCO ₃ (%)	pH _{eau}	CEC (meq)
0-30	13.6	77.4	9	1.4	0	0.13	2	8.8	0.3	8	10.41
30-65	22	22	9	1.5	0						
65-120	24	24	10	1.5	0						

(Texture, densité, pierrosité, % MO, % CaCO₃, CEC d'après la fiche « Limon battant » 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
Betterave sucrière	Labour, outil à dent, herse rotative semis mi-mars	Solution azotée 39 : 120 N début avril	néant	Récolte fin octobre 95 T / 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	Solution azotée 39 : 75 N mi-février 100 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

Jusqu'à la fin des quotas en 2017, en tant que culture d'été à forte marge brute la culture de betterave était réservée aux sols suffisamment profonds. Depuis lors, elle a été introduite dans des exploitations mais sa rentabilité et ses surfaces sont désormais très sensibles aux variations des prix.

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 betterave /blé / colza/ blé et le labour limitent le risque de spécialisation de la flore adventice. L'implantation de couverts jugée coûteuse, exigeante en main d'œuvre et leur réussite trop aléatoire, seule une moutarde est semée dans l'interculture qui précède la betterave 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 betterave sucrière / 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) d'une rotation maïs ensilage / blé / colza / blé dont le maïs a été remplacé par une betterave sucrière conduite selon un itinéraire classique en région (sans apports organique).

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	177
		a2 : Apport: fertilisation organique	0
		a3 : Fixation biologique d'azote	0
b	Sorties d'azote (kgN/ha/an)	b1 : Exportation par les récoltes	161
		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)		217
d	Pertes d'azote moyennes annuelles (kgN/ha/an)	d1 : Protoxyde d'azote (N ₂ O)	5.6
		d2 : Ammoniac (NH ₃)	60
		d3 : Nitrate lessivé (NO ₃ ⁻)	0
		d4 : Nitrate ruisselé (NO ₃ ⁻)	0
e	Lame d'eau drainante annuelle (mm d'eau/an)		63

NB : N mobilisé dans les résidus non exportés : 53 kg N /ha /an

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).

Cas-type PI 5 – Rotation betterave-blé-colza-blé sur limon battant en Picardie

- faibles sous colza,
- moyenne sous blé à l'automne et plus élevée en fin d'hiver
- faible sous moutarde en automne

- les pertes de nitrate sont nulles.

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 de la dynamique des pertes moyennes d'azote par lixiviation sur l'ensemble de la série climatique confirme que les pertes trimestrielles sont nulles (au-delà des premiers mois de simulation qui ne peuvent être pris en compte car trop sensibles aux conditions d'initialisation).

En revanche, la quantité d'azote minéral dans le sol connaît de grandes variations dans l'année et selon les apports et l'absorption par les cultures ou les couverts. Toutefois, sur la période étudiée, seule l'amplitude de ces variations diffère selon les scénarii climatiques.

A titre d'exemple, la Figure 5 présente les dynamiques des pertes moyennes d'azote par lixiviation et volatilisation, l'évolution de la quantité d'azote minéral dans le sol et dans la culture de l'été 2011 à l'été 2014.

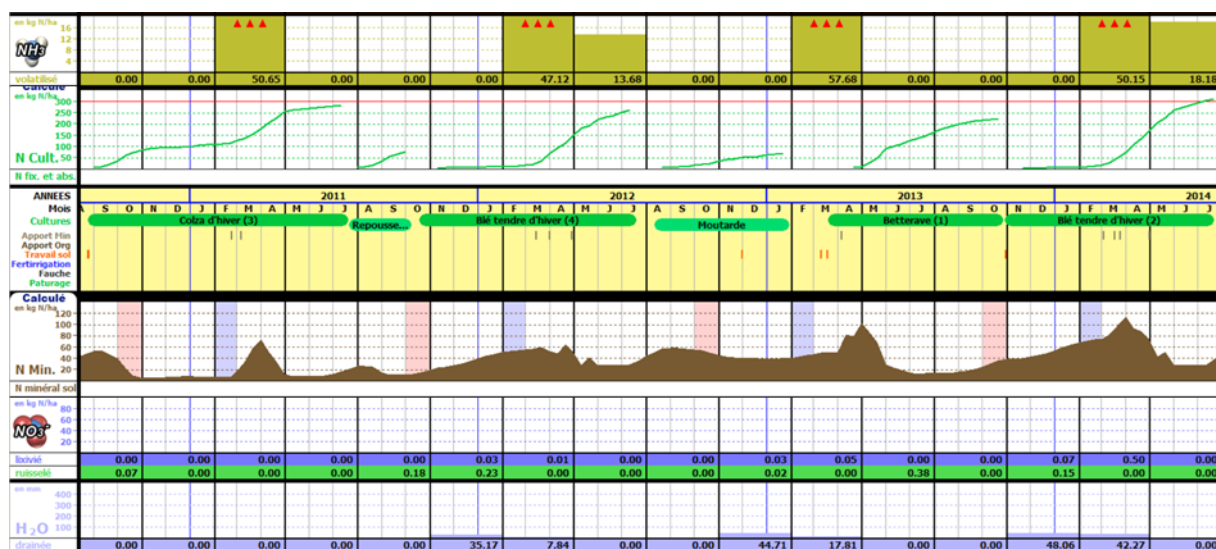


Figure 5 : Dynamiques des pertes moyennes d'azote par lixiviation et volatilisation, évolution de la quantité d'azote minéral dans le sol et dans la culture de l'été 2011 à l'été 2014.

La quantité d'azote minéral dans le sol connaît une augmentation en fin d'été 2011 sous l'effet de la minéralisation de la matière organique du sol mais les besoins engendrés par la croissance du colza réduisent ce stock à un niveau minimum jusqu'aux apports minéraux de février et mars. Le pic qu'ils entraînent n'est que de courte durée en raison d'une forte absorption par la culture au printemps. Les repousses de la culture paraissent consommer l'azote issu de la minéralisation estivale des résidus du colza et de la matière organique du sol, maintenant le stock à un niveau très faible. Durant les premiers mois qui suivent l'implantation du blé, le stock augmente progressivement, alimenté par la minéralisation des résidus des repousses et de la matière organique du sol en l'absence de prélèvements significatifs par le peuplement de blé. La combinaison d'un stock moyen et d'une lame drainante plutôt faible durant cet automne 2011 se traduit par une lixiviation quasi nulle. Malgré les apports minéraux de printemps la progression du stock est enrayée et la quantité d'azote minéral dans le sol tend à diminuer sous l'effet de l'absorption par une culture en pleine croissance. Avec la fin de

cette période, on assiste à une nouvelle phase d'augmentation du stock en été, modérée par les prélèvements du couvert de moutarde. Le niveau du stock d'azote minéral dans le sol reste stable pendant l'hiver 2011 – 2012 et n'engendre pas de lixiviation dans un contexte d'une lame drainante moyenne. Il croît à nouveau avec les apports minéraux de printemps mais est rapidement consommé par la croissance de la betterave. A partir de la fin d'été, il tend à augmenter même si une partie de la minéralisation estivale pourrait avoir été absorbée par la culture. En l'absence de prélèvement significatif par le blé durant ses premiers mois, cette tendance se poursuit mais, une fois encore, ce niveau de stock et la lame drainante moyenne en automne et hiver évitent la lixiviation du nitrate

Emissions d'ammoniac

En moyenne, sur les 4 cycles de la rotation, les émissions d'ammoniac sont très élevées. Elles s'observent chaque année lors des apports d'azote au printemps quelle que soit la culture mais, sous blé, se prolongent au trimestre suivant. Elles se produisent principalement en fin d'hiver début de printemps à l'occasion lors des apports minéraux (sous forme de solution azotée 39 dont 50 % de l'azote se présente sous forme d'urée plus favorable à la volatilisation). Ces émissions sont favorisées par le pH élevé du sol.

La variabilité interannuelle des émissions résultant de différences de température et d'humidité du sol est assez forte avec des écarts de l'ordre de 25 % en fin d'hiver.

VI. Discussion des résultats – diagnostic sur les performances azotées et les pertes

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	0 kgN lixivié / 100 mm d'eau drainée et 34% de l'azote total apporté volatilisé	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

Avec des pertes de nitrate nulles et d'ammoniac de 34 % des apports, cette situation se caractérise par des pertes d'ammoniac élevées. L'objectif n'est donc atteint que pour le nitrate et la performance azotée globale du système s'avère partielle.

Les faibles pertes de nitrates s'expliquent par la conjonction d'une lame d'eau drainante faible et de l'absorption d'une partie de la minéralisation de la matière organique du sol en été et en automne par les repousses de colza, le couvert de moutarde voire l'absorption tardive de la betterave. Par ailleurs, l'absence d'apports organiques limite le risque d'une forte minéralisation en période de plus faibles prélèvements.

Dans cette situation, la quantité N lixiviée s'est avérée peu sensible aux années à risque malgré une simulation de la rotation menée sur 4 scénarii climatiques. Ainsi, la période la plus critique de la rotation, c'est-à-dire l'hiver qui suit la betterave, connaît la plus forte lame drainante entre novembre 2001 et avril 2002 (180 mm) mais ne voit la lixiviation que de 3 kg N /ha.

Les fortes pertes d'ammoniac résultent conjointement d'un pH élevé et d'apports minéraux sous une forme favorable à la volatilisation (solution azotée) ou organiques sans enfouissement rapide (apport de fumier en janvier pour un labour d'avril, apport de lisier en été). La forme des apports minéraux et les modalités d'enfouissement du fumier et du lisier constituent donc les leviers d'amélioration majeurs.

Le pH de ce type de sol n'atteint de telles valeurs que par des apports d'amendement calcique (classiquement des écumes de sucrerie). Dans les parcelles présentant un pH plus proche de la neutralité, les pertes seront probablement plus faibles.

En outre, la simulation 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.

VII. Conclusion

Cette situation présente des pertes en nitrates faibles (3 kg / ha/ an pour 100 mm d'eau drainante) et peu sensibles aux années à risque, grâce à une lame d'eau drainante faible et l'absorption d'une partie de la minéralisation d'été et d'automne par les repousses de colza et le couvert de moutarde.

Les fortes pertes d'ammoniac (34 % des apports) résultent d'un pH élevé et d'apports minéraux sous forme de solution azotée mais sont susceptibles d'être minorées ou majorées par les conditions météorologiques dans les heures qui suivent l'épandage.

Ce cas-type peut être comparé, dans le même type de sol, avec :

- les cas PI 2 et PI 3 qui s'en distinguent par la substitution de la betterave par du maïs ensilage (PI 2) ou du maïs grain (PI 3) et des apports organiques (fumier avant maïs et lisier avant colza).
- le cas PI 4 qui s'en différencie par la substitution du maïs ensilage à la betterave, des apports organiques (fumier avant maïs et lisier avant colza) et l' introduction du pois protéagineux de printemps avant colza.

Annexe : Dynamiques sol-plante-atmosphère de l'azote du cas-type PI 5

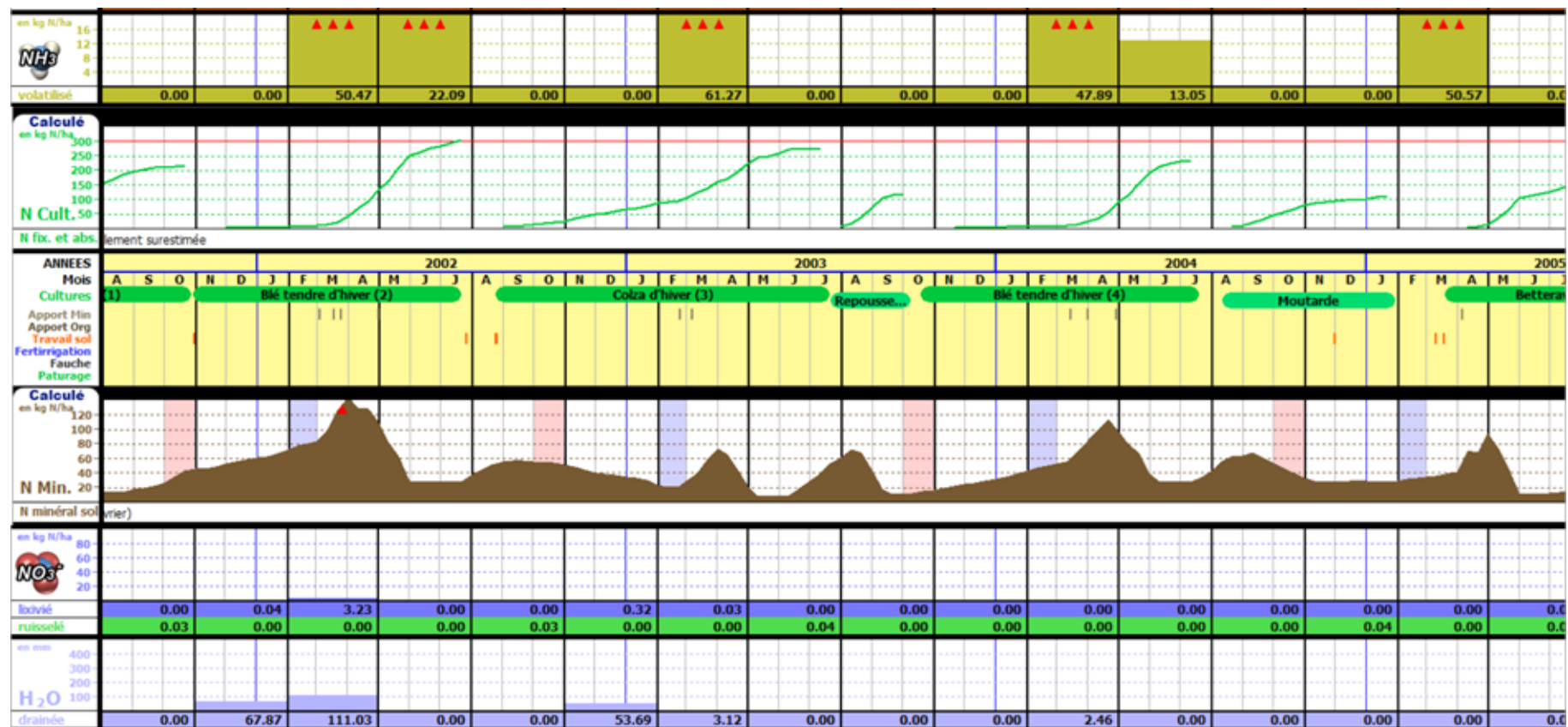


Figure 6 : Dynamiques de l'azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d'azote par lixiviation (NO_3^-) et volatilisation (NH_3) et lame d'eau drainante (mm) – Période 2002-2005.

Cas-type PI 5 – Rotation betterave-blé-colza-blé sur limon battant en Picardie

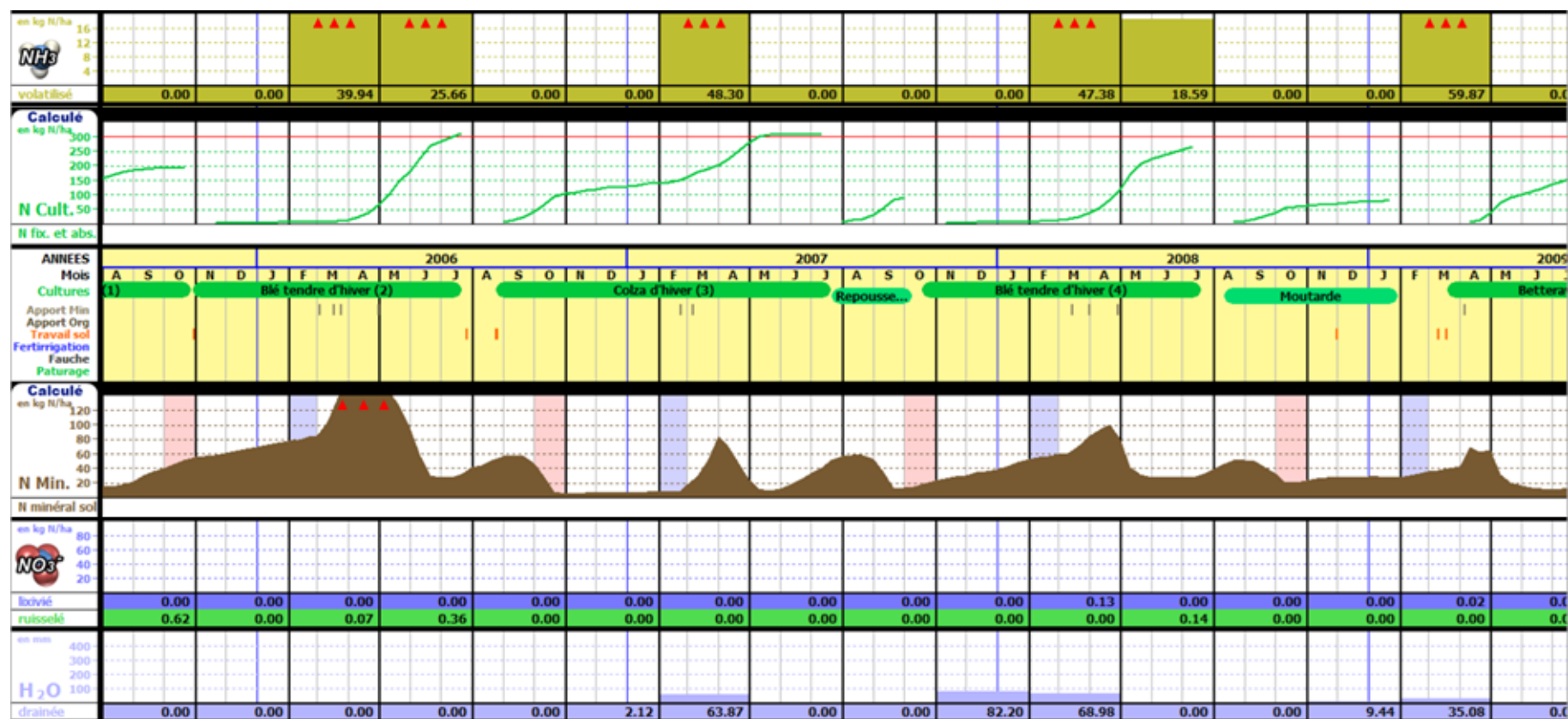


Figure 7 : Dynamiques de l'azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d'azote par lixiviation (NO₃⁻) et volatilisation (NH₃) et lame d'eau drainante (mm) – Période 2005-2009.

Cas-type PI 5 – Rotation betterave-blé-colza-blé sur limon battant en Picardie

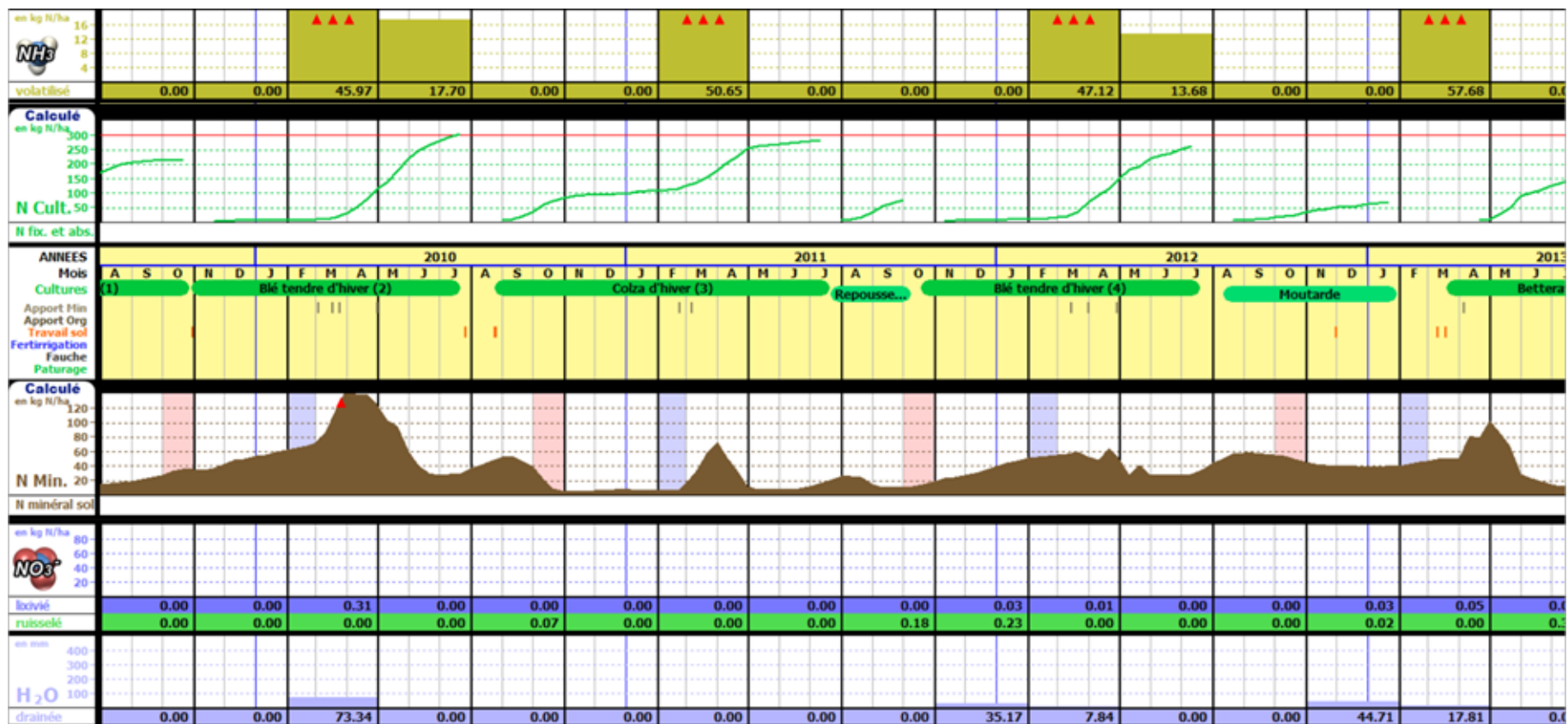


Figure 8 : Dynamiques de l'azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d'azote par lixiviation (NO₃) et volatilisation (NH₃) et lame d'eau drainante (mm) – Période 2009-2013.

Cas-type PI 5 – Rotation betterave-blé-colza-blé sur limon battant en Picardie

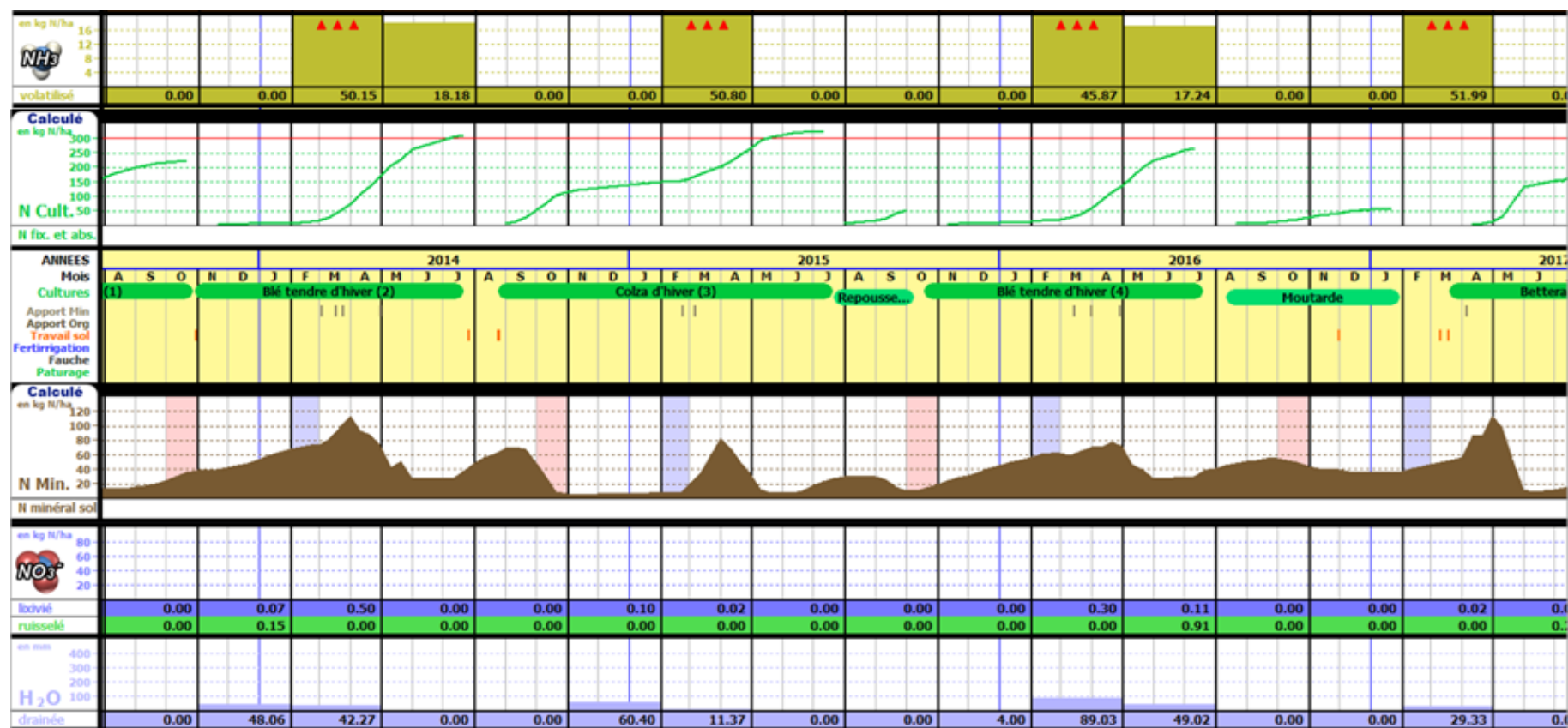


Figure 9 : Dynamiques de l'azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d'azote par lixiviation (NO₃) et volatilisation (NH₃) et lame d'eau drainante (mm) – Période 2013-2017.