

PI 1 – Rotation courte sur sol superficiel en Picardie

Intitulé du cas-type	Rotation courte sur sol superficiel en Picardie – PI 1
Localisation	Département de l’Oise
Type de sol	Cranette sur craie
Type de climat	Série climatique 2000-2018
Rotation	Colza -Blé -Orge d’hiver
Pratiqué ou prototype	Pratiqué
N° Cas-types comparables	PI 2, PI 6, PI 7
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.

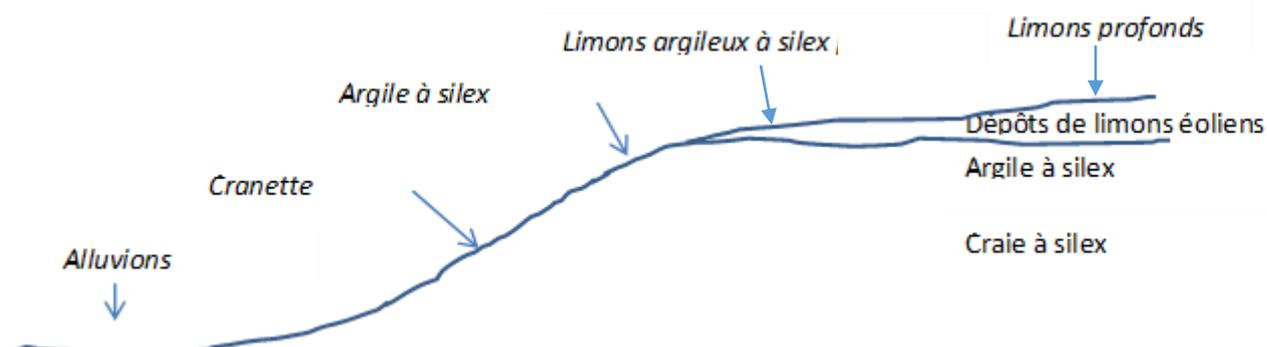


Figure 1 : Répartition typique des sols selon le relief en Plateau Picard

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

Typique des sols superficiels du Plateau Picard, ce système de culture caractérisé par une rotation simple et courte avec cultures d’hiver (colza/blé/escourgeon) s’observe dans tout type d’exploitation de polyculture ou de polyculture-élevage.

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 » ($P - 0.5 \cdot ETP$) est excédentaire en hiver et de niveau moyen (262 mm du 01/10 au 31/03 entre 1969 et 1993)

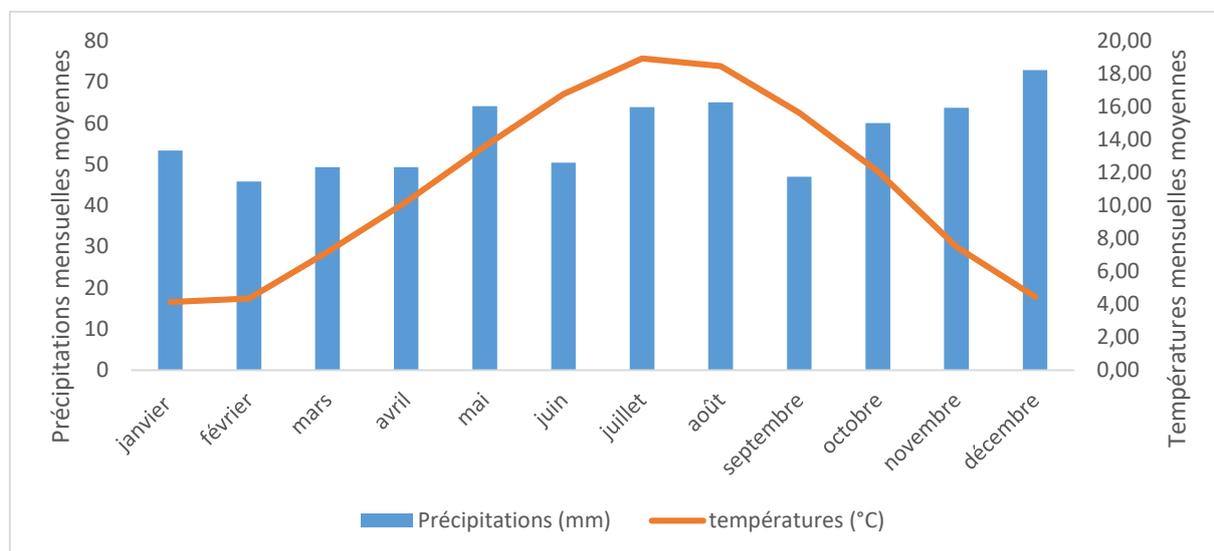


Figure 2 : Diagramme ombrothermique – Beauvais (1999-2018).

c) Sol sur lequel est « testé » le SdC

Il s'agit d'un sol de craie à très forte teneur en carbonate de calcium et pH très élevé (Tableau 1). Après décarbonatation de l'horizon supérieur, la fraction granulométrique de moins de 2 µm passe de plus de 20 % de la terre fine à moins de 12 % (argile minéralogique ou argile vraie).

Tableau 1 : caractéristiques physico-chimiques moyennes des cranettes de l'Oise après broyage des cailloux de craie (LDAR)

Profondeur (cm)	Argile (%)	Limons (%)	Sables (%)	Densité apparente	Cailloux (%)	Norg (%)	MO (%)	C/N	CaCO3 (%)	pHeau	Cec (meq)
0-30	20.4 (11.78 *)	54.1	25.5	1.25	3.775	0.17	3.32	9.75	45.4	8.45	8.63
30-60	21.2	50.5	28.3	1.35	3.425						
60-90	20.4	46.9	32.7	1.35	2.975						

*Argile vraie

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	Irrigation	Récolte (date, destruction et gestion des couverts) et niveau de rendement
Colza	Semis fin août sans travail du sol	30 t de fumier de bovins en été Solution azotée 39 : 60 N mi-mars 75 N mi-avril	néant	Récolte mi-juillet 2,8 t/ha Résidus non exportés
Blé	Semis début octobre sans travail du sol	Solution azotée 39 : 60 N mi-mars 75 N mi-avril Ammonitrate 40 N fin avril	néant	Récolte mi-juillet 6 t/ha Résidus non exportés
Orge d'hiver	Semis fin septembre sans travail du sol	Solution azotée 39 : 60 N mi-février 100 N début mars	néant	Récolte début juillet 5.5 t/ha Résidus non exportés

La faible réserve utile conduit les agriculteurs à limiter l'exposition au risque de déficit hydrique par une rotation courte sans culture de printemps et donc sans couvert d'interculture en hiver, ni légumineuses, d'où un recours massif aux engrais azotés de synthèse.

Pour assurer la marge maximale, compte tenu du potentiel limité et du risque de déficit hydrique, la fertilisation est fondée sur le bilan azoté, la densité de peuplement sortie hiver et un objectif de rendement réaliste.

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

La rotation colza/ blé/ orge d'hiver entraîne une spécialisation de la flore adventice et favorise l'apparition de graminées résistantes aux herbicides. Toutefois, le labour est abandonné en raison de son coût et de la faible profondeur du sol. L'implantation de couverts est jugée coûteuse et sans intérêt compte tenu de la durée des intercultures. A noter que ce système de culture sans travail du sol est appelé à évoluer pour s'affranchir de l'utilisation du glyphosate. En raison des contraintes du milieu, même sans cultures de printemps, ce système de culture connaît des résultats techniques et économiques faibles et très irréguliers (rendement blé de moins de 5t/ha à 10 t/ha).

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 Colza / blé / orge d'hiver ont été réalisées sur période 2000- 2018 sur la base des itinéraires techniques de 2014 à 2016 (sauf dates d'implantation moyennes).

A défaut de disposer d'une analyse de terre intégrant les cailloux de craie dans la granulométrie, un paramétrage moyen issu d'analyses granulométriques après broyage a été utilisé pour caractériser la composition des différents horizons du sol.

Les résidus sont considérés comme enfouis même en l'absence de travail du sol.

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	141
		a2 : Apport: fertilisation organique	37
		a3 : Fixation biologique d'azote	0
b	Sorties d'azote (kgN/ha/an)	b1 : Exportation par les récoltes	98
		b2 : Exportation par les résidus de cultures exportés de la parcelle	0
c	Minéralisation de l'azote du sol et des résidus de culture (kgN/ha/an)		122
d	Pertes d'azote moyennes annuelles (kgN/ha/an)	d1 : Protoxyde d'azote (N ₂ O)	0.1
		d2 : Ammoniac (NH ₃)	43
		d3 : Nitrate lessivé (NO ₃ ⁻)	41
		d4 : Nitrate ruisselé (NO ₃ ⁻)	0
e	Lame d'eau drainante annuelle (mm d'eau/an)		146

NB : N mobilisé dans les résidus non exportés : 56 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).

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

a-b	Bilan apparent : Entrées – Sorties par exportation (kgN/ha/an)	80
a - (b+d)	Variation du stock d'azote total dans le sol (kgN/ha/an)	-4
(d3*100)/e	Pertes d'azote par lixiviation pour 100 mm de lame d'eau drainante (kgN/100 mm)	28
(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)	124
d2/(a1+a2)	Pertes d'azote sous forme d'ammoniac (NH ₃) en % des apports totaux	24

NB : 1 kg N = 4.43 kg NO₃⁻

Avec une concentration moyenne de 123 mg/l de nitrates, des pertes annuelles de 41 kg N/ ha / an par lixiviation et de 43 Kg N / ha /an par volatilisation de l'ammoniac, cette situation se caractérise par des pertes élevées et ne satisfait pas les objectifs.

Le bilan apparent est excédentaire (80 kg N/ha/an) mais, compte tenu des pertes importantes (41 kgN/ha/an par lixiviation et 43 kg N/ha/an par volatilisation), le stock d'azote total diminue légèrement (-4 kgN/ha/an). La lame drainante étant assez faible (146 mm/an), les pertes de nitrates s'expliquent par des quantités élevées 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 (122 + 141 = 262 kgN/ha/an) dépassent très largement les exportations par les récoltes (98 kg N/ ha/an) et, même si une partie de cet excédent est mobilisé dans les résidus non exportés (56 kg N /ha /an), la quantité d'azote minéral en jeu apparaît très élevée et propice aux pertes par lixiviation.

La combinaison de ces pertes élevées et d'une lame drainante plutôt faible se traduit par une concentration moyenne en nitrates sous le profil très élevée (124 mgNO₃⁻/L).

Les pertes d'ammoniac sont également élevées.

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.

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.

Cas-type PI 1 – Système céréalier sur sol superficiel en Picardie

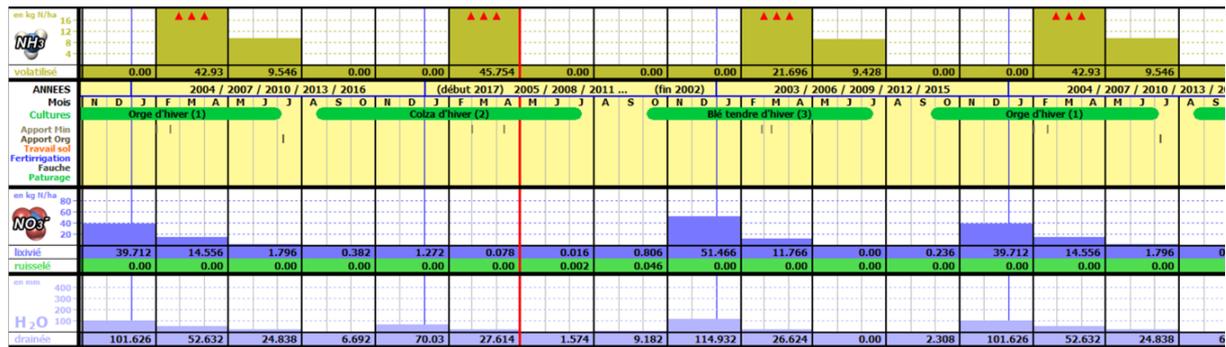


Figure 4 : dynamiques des pertes moyennes d'azote par lixiviation et volatilisation simulées sur les 18 années climatiques.

En moyenne, sur les 5 cycles de la rotation, la période de drainage et de lixiviation a lieu en automne et hiver.

La quantité d'eau drainée et les pertes de nitrate sont

- nulles sous colza ;
- élevées sous blé et sous orge d'hiver à l'automne et puis plus faibles en fin d'hiver ;
- un peu plus faibles sous orge que sous blé en début de période de drainage et un peu plus élevées en fin de période.

Les dynamiques des pertes moyennes d'azote par lixiviation et volatilisation sur l'ensemble de la série climatique figurent en annexe.

Lixiviation des nitrates

L'analyse complète de la série confirme que, globalement, l'hiver qui suit la culture du colza et, dans une moindre mesure le suivant (entre blé et orge) apparaissent comme des périodes « à risque » de lixiviation liées au SdC en raison de la minéralisation des résidus du colza et de la faiblesse des prélèvements automnaux par les céréales (en particulier le blé semé plus tardivement) coïncidant avec une lame drainante importante. La séquence été 2004- été 2007 apparaît typique (Figure 5).

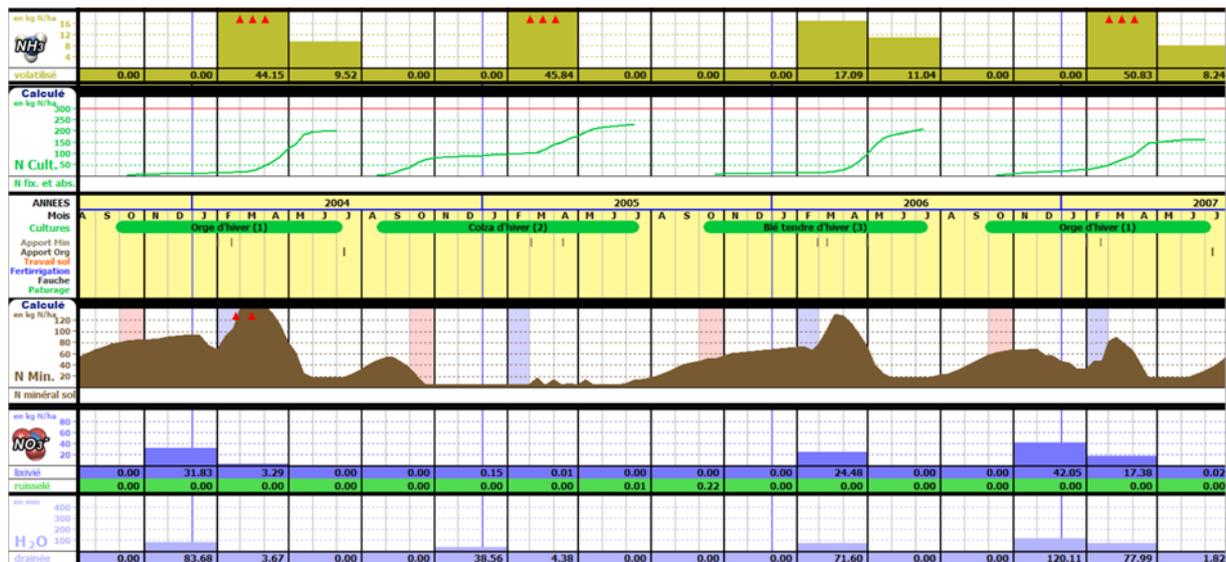


Figure 5 : Dynamiques des pertes moyennes d'azote par lixiviation et volatilisation de l'été 2004 à l'été 2007.

Les besoins précoces du colza absorbent le produit de la minéralisation estivale des matières organiques du sol et du fumier maintenant ainsi le stock fin 2004 à un niveau très faible qui conjugué

à une lame drainante faible se traduit par l'absence de lixiviation. Cependant, la minéralisation des résidus du colza alimente le stock d'azote minéral du sol en fin d'été 2005 qui, faute de prélèvements significatifs par le blé en hiver, entraîne une lixiviation modérée par une lame drainante moyenne. La quantité d'azote minéral du sol reste donc encore élevée en fin d'hiver 2005/2006, s'accroît avec des apports minéraux et ne décroît qu'avec l'augmentation des quantités mobilisées par le blé. Elle connaît ensuite une hausse due à la minéralisation des matières organiques du sol tempérée par la réorganisation des pailles non exportées. Enfin, la lame drainante élevée de l'hiver 2006/2007 conjuguée à une quantité d'azote minérale moyenne dans le sol produit une lixiviation de près de 60 kg N/ha.

On relève également des années à risque du fait d'une forte lame drainante le plus souvent en début d'hiver : automne 2001, hiver 2002/2003, hiver 2006/2007, fin d'hiver 2010, hiver 2011/2012, hiver 2012/2013, printemps 2016) ou d'une forte minéralisation estivale (Figure 6) résultant de températures élevées (2003, 2006) et/ou d'une humidité favorable (2007, 2014).

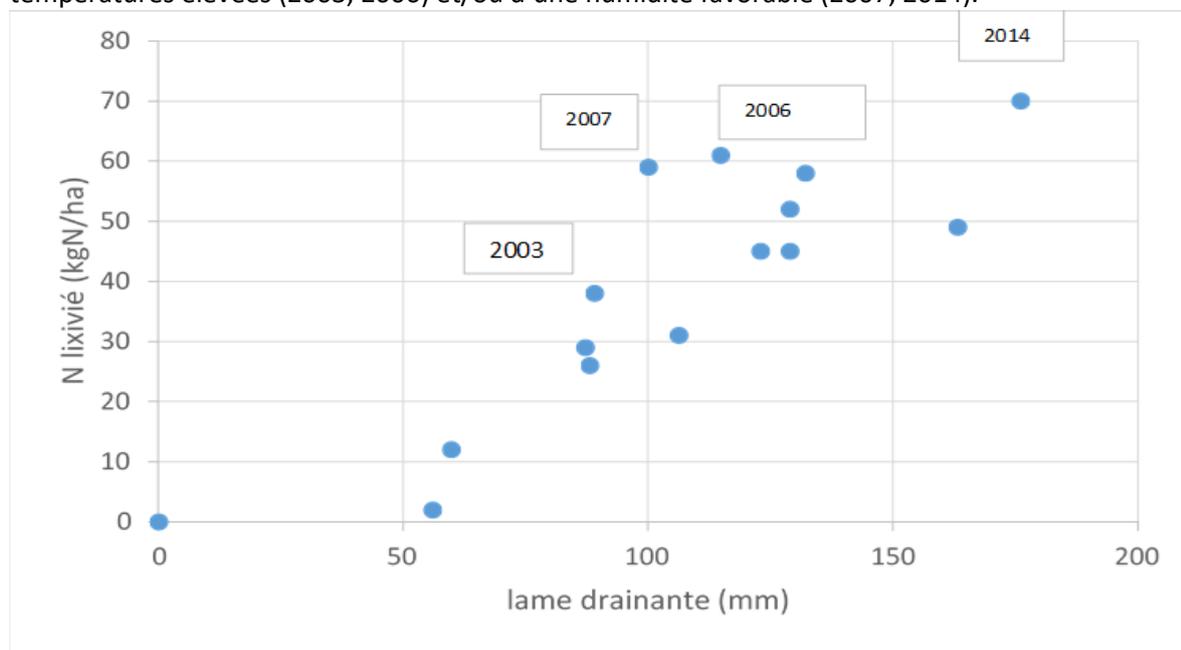


Figure 6 : relation entre quantité d'azote lixivié sous blé entre novembre et janvier et lame drainante durant la même période.

A titre d'exemple, la séquence été 2010 – été 2013 illustre l'effet de fortes lames drainantes coïncidant avec des périodes à risque du SdC : succession colza / blé et succession blé /orge d'hiver (figure 7).

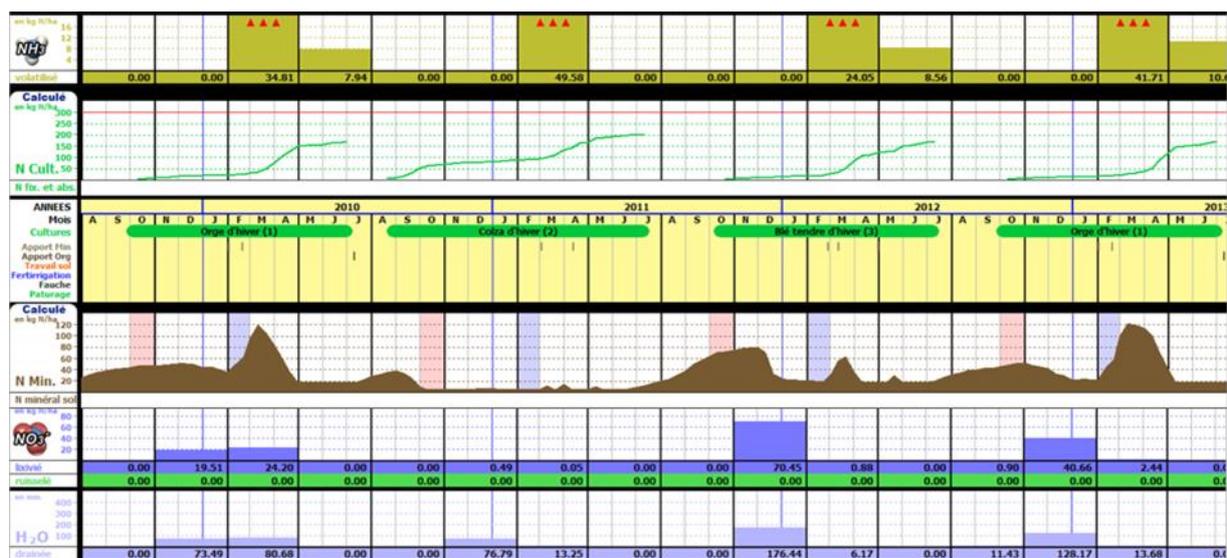


Figure 7 : Dynamiques des pertes moyennes d'azote par lixiviation et volatilisation de l'été 2010 à l'été 2013.

Malgré l'apport de matières organiques, la fin d'été 2010 se caractérise par une minéralisation et donc un stock minéral très limité que les prélèvements par le colza réduisent à un niveau particulièrement faible. En conséquence, le drainage hivernal n'entraîne pas de nitrate vers les aquifères. On peut même se demander si l'azote minéral disponible ne s'avère pas limitant pour la croissance du colza.

En revanche, la dynamique de minéralisation des matières organiques en été 2011 produit un stock important qui, faute de mobilisation par le blé, est largement lixivié par une lame drainante exceptionnelle (70 kg N/ha pour 175 mm entre novembre et janvier). Par la suite, le stock d'azote minéral retrouve des valeurs plutôt faibles hormis l'effet temporaire des apports minéraux de printemps.

La fin de l'été 2012 connaît à nouveau une minéralisation moyenne mais le stock d'azote minéral ainsi constitué se trouve exposé à une forte lame drainante entre novembre 2012 et janvier 2013 sans prélèvement significatif par la culture d'orge et se trouve donc amputé de 50 kg N/ha par lixiviation.

Enfin, l'humidité de l'été 2007 démontre l'effet du colza (Figure 8) par contraste avec l'effet du blé en 2014 (Figure 9).

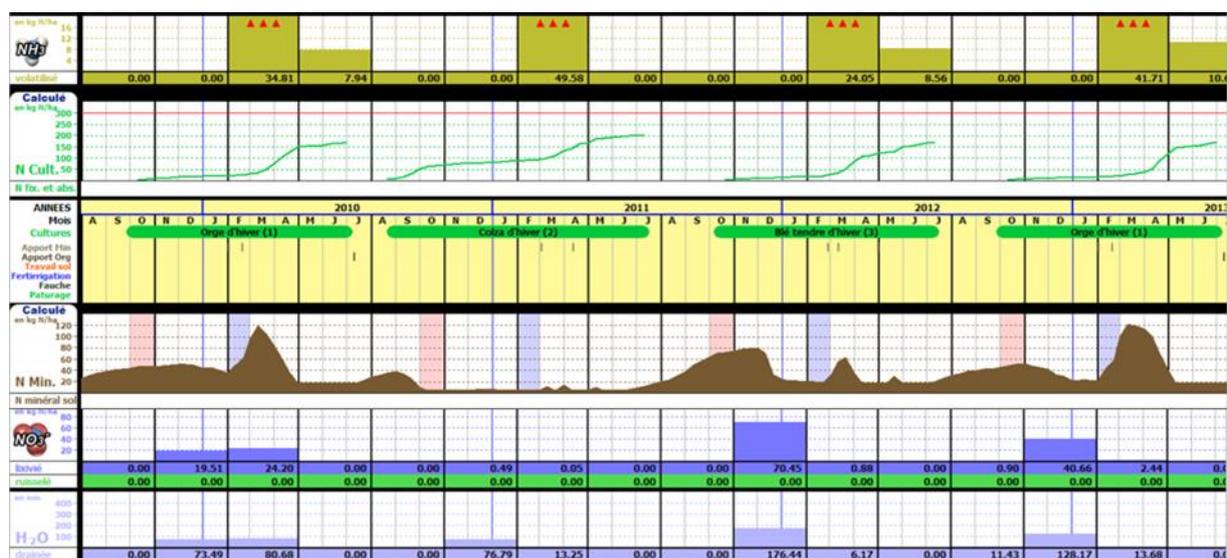


Figure 8 : Dynamiques des pertes moyennes d'azote par lixiviation et volatilisation de l'été 2007 à l'été 2010.

La minéralisation précoce des matières organiques du sol et du fumier durant l'été 2007 peut s'expliquer par une forte humidité estivale et coïncide avec un drainage exceptionnel à cette période. Toutefois, la croissance automnale du colza permet de limiter fortement le stock et la lixiviation, malgré une lame drainante hivernale significative.

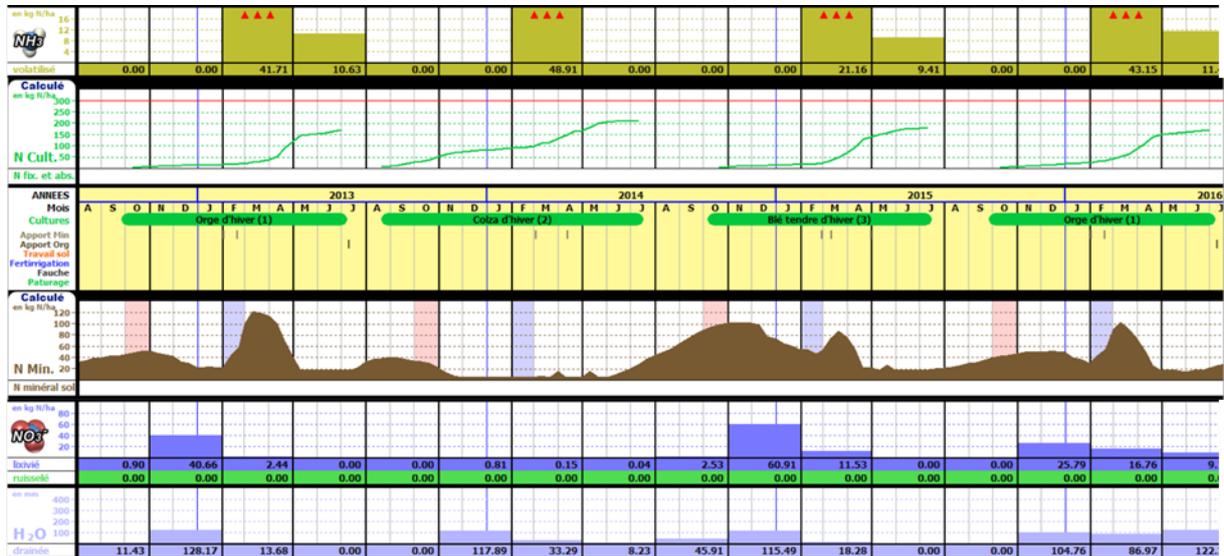


Figure 9 : Dynamiques des pertes moyennes d'azote par lixiviation et volatilisation de l'été 2012 à l'été 2016.

En revanche, l'été 2014 voit une forte dynamique de minéralisation des matières organiques du sol et des résidus du colza qui fait culminer le stock à 100 kg N/ha. En l'absence de prélèvements significatifs par le blé, une telle quantité d'azote minéral est particulièrement vulnérable et la lame drainante de la période novembre 2014/ février 2015 provoque la lixiviation de 60 kg N/ ha mais laisse encore un stock élevé qui perd encore 12 Kg N/ha en sortie d'hiver, malgré un drainage limité.

Emissions d'ammoniac

Comme le montrent les figures 5, 7 et 8, les émissions d'ammoniac ont lieu en fin d'hiver pour les 3 cultures et au printemps chez les céréales. Elles apparaissent

- plus élevées en fin d'hiver qu'au printemps ;
- deux fois plus élevées en fin d'hiver sous colza et orge que sous blé ;
- nulle en fin de printemps sous colza et équivalente sous blé et orge.

Les émissions d'ammoniac, élevées, se produisent à l'occasion des apports organiques avant le colza et, pour la majeure partie, des apports minéraux, le plus souvent sous forme de solution azotée 39 dont 50 % de l'azote se présente sous forme d'urée plus favorable à la volatilisation. En outre, 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 reste faible. Malgré des apports minéraux sur blé supérieurs à ceux des autres cultures (175 kg N contre 160 sur l'orge d'hiver et 135 sur le colza), les émissions résultant de ces apports s'avèrent plus faibles (tableau 4), probablement en raison d'un second apport sous forme d'ammonitrate et d'un troisième apport tardif en conditions généralement plus sèches et plus chaudes. En outre, du fait de ce dernier apport, elles se poursuivent au-delà du mois d'avril. Enfin, la dose élevée du second apport sur orge constitue un facteur.

Tableau 4 : variabilité des émissions d'ammoniac par trimestre (mini/maxi)

	novembre/décembre/janvier	février/mars/avril	mai/juin/juillet	août/septembre/octobre
colza	0	41-49	0	0
blé	0	17-24	8-11	0
orge d'hiver	0	38-50	3-10	0

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

Avec un niveau moyen de pertes en nitrates de 41 kg N/ha/an et surtout une concentration moyenne de 124 mg/l de nitrates et 42 Kg d'azote perdu par volatilisation de l'ammoniac annuellement, cette situation se caractérise par des pertes élevées et ne satisfait pas les objectifs (Tableau 5).

Tableau 5 : Seuils de satisfaction des pertes en nitrates et en ammoniac du cas-type PI 1

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	27 kgN lixivié / 100 mm d'eau drainée et 24% de l'azote total apporté volatilisé		

Légende :

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

Dans cette situation, la quantité d'azote lixivié s'est avérée sensible aux années à risque (cf coïncidence entre les lames d'eau maximales et les quantités lixiviées maximales) qui représentent 7 années sur 16 (si on exclue la première et la dernière année de simulation) soit près d'une année sur 2. Cependant, rappelons qu'alors, si la quantité d'azote lixivié est plus élevée, la concentration de la lame drainante est plus faible compte tenu d'un effet de dilution.

A défaut de disposer d'une analyse de terre intégrant les cailloux de craie dans la granulométrie, pour l'évaluation de la RU dans les cranettes de l'Oise, nous avons adapté un paramétrage moyen issu d'analyses granulométriques après broyage et pris en compte 3 horizons de 30 cm. Or le sol de la parcelle considérée est moins profond. La RU est donc probablement surestimée ce qui conduit à sous-estimer la lixiviation.

On peut également s'interroger sur la pertinence, pour le calcul de la minéralisation, d'appliquer ici à la granulométrie après broyage la teneur en matière organique mesurée sur la terre fine sans broyage, comme cela se pratique pour les cranettes de Champagne dont la craie contient aussi du carbone organique.

Le risque de surestimation de la minéralisation qu'entraîne ce choix se traduit par un risque de surestimation de la lixiviation.

Par ailleurs, bien que l'apport de fumier suppose la récolte de pailles au moins sur d'autres parcelles, toutes les pailles sont considérées comme non exportées, ce qui, même en l'absence de travail du sol contribue à limiter le stock d'azote minéral. Si une paille sur deux était exportée, la lixiviation pourrait s'en trouver accrue.

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.

Compte tenu de l'extension en France de la rotation Colza / Blé / Orge d'hiver (ou Colza / Blé / Blé) sur sols superficiels, l'amélioration de ce système de culture s'avère nécessaire. En jeu, la qualité des eaux

souterraines en termes de nitrates mais aussi de résidus de produits phytosanitaires, et au-delà, le maintien de la capacité productive et des performances économiques à moyen terme compte tenu de l'apparition de résistances de divers bioagresseurs (graminées, insectes, maladies fongiques) aux substances actives disponibles. Les marges de manœuvre, notamment *via* la diversification des cultures dépendent des filières existantes ou à créer.

La voie d'amélioration envisagée est l'implantation d'une luzerne ou d'une prairie temporaire mais l'effet de la minéralisation d'une biomasse importante à la destruction de la luzerne ou de la prairie accroît le risque de générer des quantités d'azote minéral élevées susceptibles d'être lixiviées et pose la question du choix de la date de cette destruction et de culture(s) suivante(s) en mesure de valoriser cette minéralisation. La variabilité interannuelle de la dynamique de minéralisation des résidus, conditionnée par température et humidité du sol, rend l'évaluation du risque incertaine et la prise de décision difficile.

Si le pH du sol ne peut être abaissé, 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

Cette situation typique du Plateau Picard se caractérise par une forte capacité du colza à limiter la lixiviation l'hiver qui suit son semis mais aussi par un risque élevé durant le second hiver du fait de la minéralisation de ses résidus durant l'été et l'automne suivant coïncidant avec la faible capacité d'absorption du blé à l'automne. La succession blé / orge qui clôt la rotation représente un risque moyen compte tenu de la composition des pailles du blé qui limite la minéralisation en été et automne. 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 et sur un sol à pH est élevé.

Limitée par le poids de la contrainte hydrique, l'amélioration de ce système de culture s'avère pourtant d'autant plus nécessaire que la rotation colza/ blé / orge d'hiver concerne des surfaces importantes en sols superficiels, même si la lame drainante différencie selon les climats la quantité de nitrate lixivié et sa concentration en nitrate.

Cette situation peut éventuellement être comparée aux situations PI 2, PI 6 et PI 7 dont elle diffère à la fois par le système de culture (rotation Colza / blé / maïs ensilage / blé, couvert de moutarde et apport de fumier avant maïs) et par le type de sol (limon battant en PI 2, argile à silex en PI 6, limon argileux à silex en PI 7). Elle pourrait aussi être comparée à la situation PI 3 (rotation Colza / blé / maïs grain / blé en sol de limon battant).

Annexe : Dynamiques sol-plante-atmosphère de l'azote du cas-type PI 1

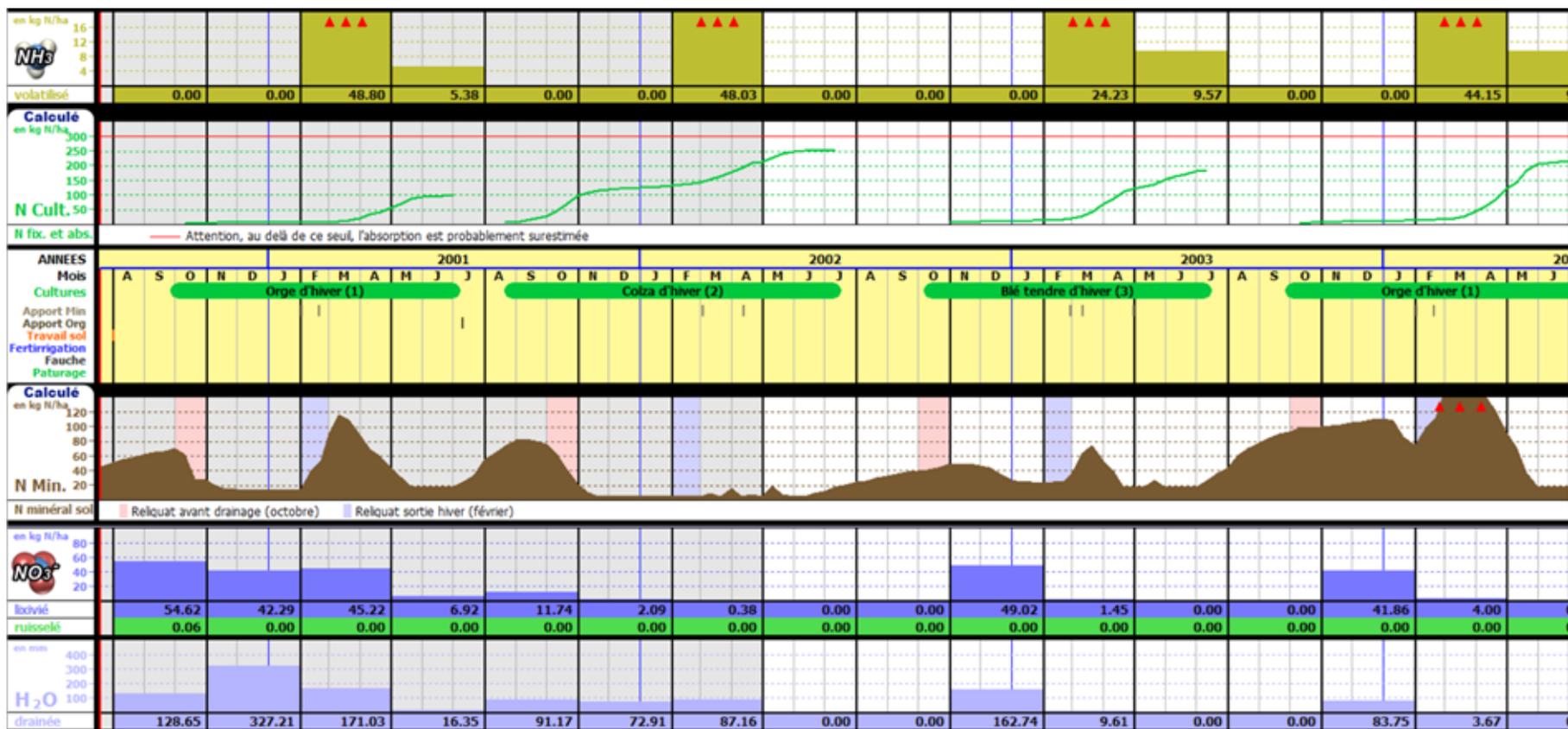


Figure 10 : Dynamiques de l'azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d'azote par lixiviation (NO_3^-) et volatilisation (NH_3) et lame d'eau drainante (mm) – Période 2001-2004.

Si, afin de limiter l'impact des hypothèses concernant l'état initial du sol, on exclue la campagne 2000/2001 (initialisation de la simulation), on constate que l'azote minéral formé par minéralisation des apports organiques en fin d'été est partiellement absorbé par le colza dès octobre 2001 ce qui contribue à limiter la lixiviation automnale et hivernale malgré une lame drainante élevée entre août et octobre 2001 (Figure 10).

Cas-type PI 1 – Système céréalier sur sol superficiel en Picardie

En revanche, la minéralisation des résidus du colza et de l'azote organique du sol en été abonde le stock minéral ce qui se traduit par une lixiviation importante entre novembre 2002 et janvier 2003 du fait d'une forte lame drainante et faute de prélèvements substantiels par le blé. Ces pertes se traduisent à leur tour pendant l'hiver 2002/2003 par une baisse de la quantité d'azote minéral présent dans le sol. Celle-ci connaît une augmentation transitoire après les apports minéraux du printemps 2003 mais est rapidement absorbée par la croissance du blé.

Après la moisson, malgré l'azote minéral consommé par la décomposition des pailles, la minéralisation explose, dopée par les températures exceptionnelles de l'été 2003, et la quantité d'azote minéral subit une hausse très importante que les faibles besoins automnaux de l'orge d'hiver ne viennent pas compenser. Toutefois, une lame drainante modérée en début d'hiver 2003/2004 limite la lixiviation et le stock en fin d'hiver, encore accru par les apports minéraux, atteint des valeurs exceptionnellement élevées que la croissance de l'orge vient finalement réduire.

Cas-type PI 1 – Système céréalier sur sol superficiel en Picardie

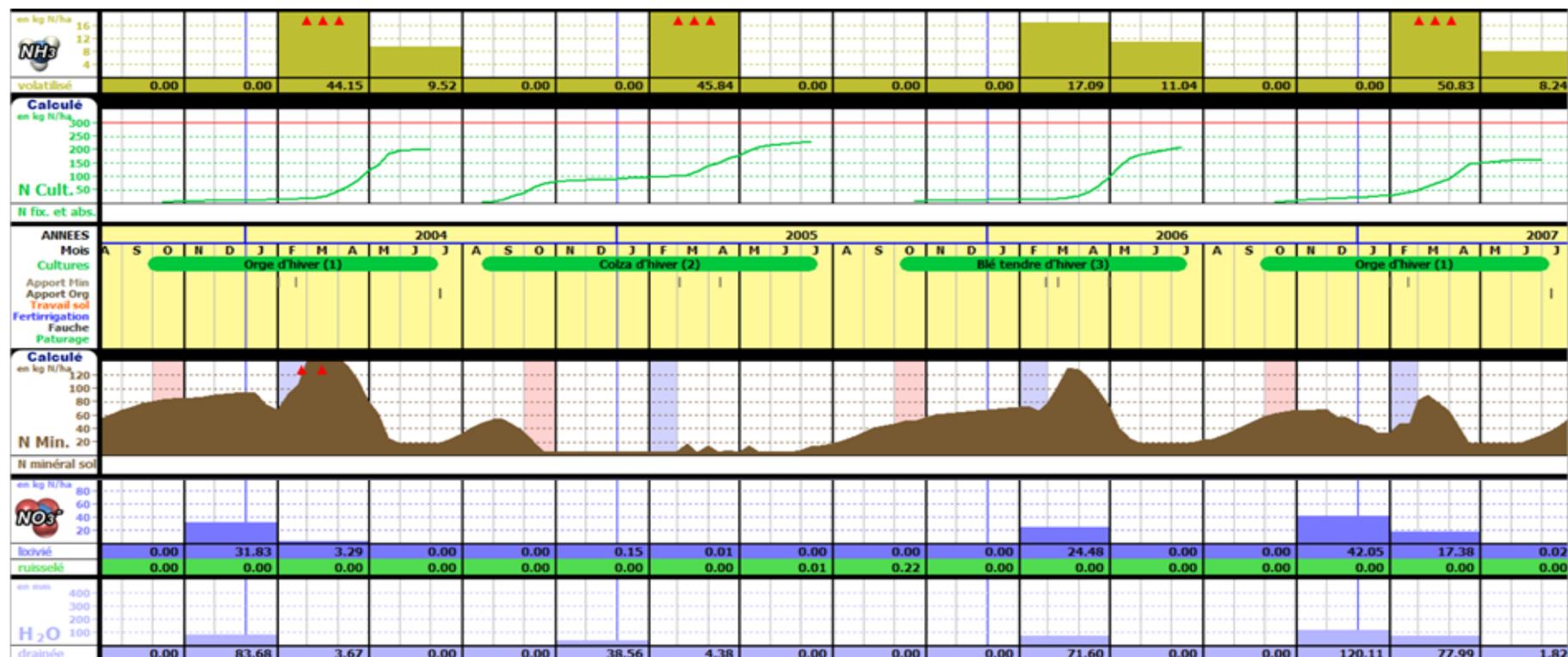


Figure 11 : Dynamiques de l’azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d’azote par lixiviation (NO_3^-) et volatilisation (NH_3) et lame d’eau drainante (mm) – Période 2004-2007.

A nouveau les besoins précoces du colza absorbent le produit de la minéralisation estivale des matières organiques du sol et maintiennent le stock fin 2004 à un niveau très faible qui conjugué à une lame drainante faible se traduit par l’absence de lixiviation (Figure 11). Cependant, la minéralisation des résidus du colza alimente le stock d’azote minéral du sol en fin d’été 2005 qui, faute de prélèvements significatifs par le blé en hiver, entraîne une lixiviation modérée par une lame drainante moyenne. La quantité d’azote minéral du sol reste donc encore élevée en fin d’hiver 2005/2006, s’accroît avec des apports minéraux et ne décroît qu’avec l’augmentation des quantités mobilisées par le blé. Elle connaît ensuite une hausse due à la minéralisation des matières organiques du sol, tempérée par la réorganisation des pailles non exportées.

La lame drainante élevée de l’hiver 2006/2007 conjuguée à une quantité d’azote minérale moyenne produit une lixiviation de près de 60 kg N/ha.

Cas-type PI 1 – Système céréalier sur sol superficiel en Picardie

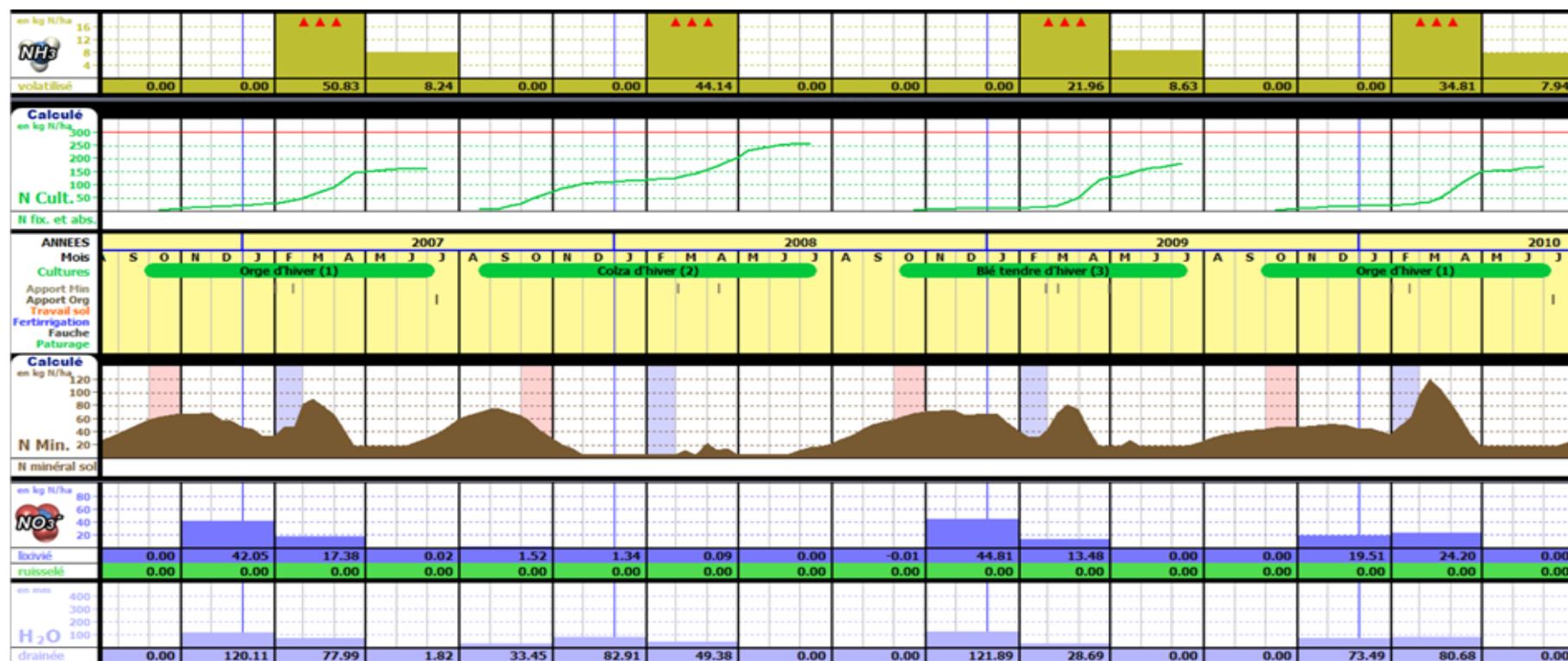


Figure 12 : Dynamiques de l’azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d’azote par lixiviation (NO_3^-) et volatilisation (NH_3) et lame d’eau drainante (mm) – Période 2007-2010.

La minéralisation précoce des matières organiques du sol durant l’été 2007 peut s’expliquer par une forte humidité estivale et coïncide avec un drainage exceptionnel à cette période (Figure 12). Toutefois, **la croissance automnale du colza permet de limiter fortement le stock et la lixiviation, malgré une lame drainante hivernale significative**. Une minéralisation importante des matières organiques du sol et des résidus de colza en automne 2008 alimente le stock qui atteint à nouveau près de 80 kg N / ha, et donne lieu, malgré un drainage plus faible, à une lixiviation comparable à celle de l’hiver 2006/2007 sans doute en raison d’une courbe d’absorption d’azote par le blé décalée par rapport à celle de l’orge d’hiver.

Une quantité d’azote moyenne dans le sol au début de l’hiver 2009/2010, peu mobilisée pour la croissance automnale de l’orge, coïncide avec une lame drainante assez élevée en début d’hiver puis très élevée en fin d’hiver et donc une lixiviation moyenne non seulement entre novembre et janvier mais aussi, plus exceptionnel, entre février et avril malgré l’absorption par l’orge d’hiver. Les apports minéraux de printemps contribuent sans doute à cette lixiviation tardive.

Cas-type PI 1 – Système céréalier sur sol superficiel en Picardie

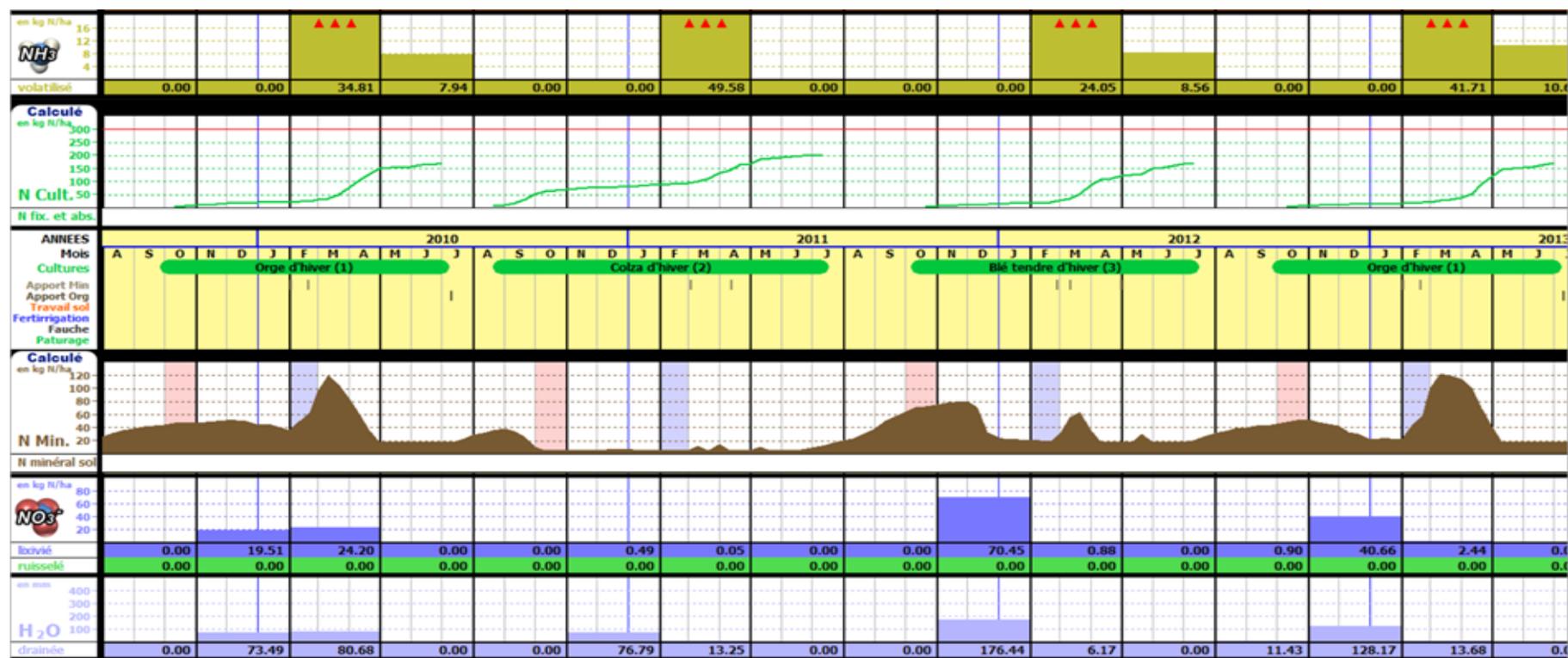


Figure 13 : Dynamiques de l'azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d'azote par lixiviation (NO_3^-) et volatilisation (NH_3) et lame d'eau drainante (mm) – Période 2010-2013.

Malgré l'apport de matières organiques, la fin d'été 2010 se caractérise par une minéralisation et donc un stock minéral très limités que les prélèvements par le colza réduisent à un niveau particulièrement faible (Figure 13). En conséquence, le drainage hivernal n'entraîne pas de nitrate vers les aquifères. Comme en 2005, on peut se demander si l'azote minéral disponible ne s'avère pas limitant pour la croissance du colza.

En revanche, la dynamique de minéralisation des matières organiques en été 2011 produit un stock important qui, faute de mobilisation par le blé, est largement lixivié par une lame drainante exceptionnelle (70 kg N/ha pour 175 mm entre novembre et janvier). Par la suite, le stock d'azote minéral retrouve des valeurs plutôt faibles hormis l'effet temporaire des apports minéraux de printemps.

La fin de l'été 2012 connaît à nouveau une minéralisation moyenne mais le stock d'azote minéral ainsi constitué se trouve exposé à une forte lame drainante entre novembre 2012 et janvier 2013 sans prélèvement significatif par la culture d'orge et se trouve donc amputé de 50 kg N/ha par lixiviation.

