

CVL2 – Système céréalier sans élevage conduit en agriculture biologique, non irrigué, en région Centre-Val de Loire (Beauce)

Intitulé du cas-type	Système grande culture sans élevage conduit en AB en Beauce – CVL2
Localisation	Département d'Eure-et-Loir – Ferme de La Saussaye
Type de sol	Limon argileux moyennement profond à profond sur calcaire de Beauce
Type de climat	Série climatique 2010-2018
Rotation	Luzerne – Blé d'hiver – Culture Intermédiaire – Orge de printemps – Pois d'hiver – Blé d'hiver
Pratiqué ou prototype	Pratiqué
N° Cas-types comparables	CVL1
Contact	Margaux Thirard, Ferme de La Saussaye

I. Contexte

a. Localisation et présentation des principaux enjeux et objectifs du SdC

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

La région administrative du cas-type présenté est la Région centre-Val de Loire. Il se situe plus précisément en Eure-et-Loir, département fortement céréalier et occupé au ¾ par l'agriculture. Le système le plus couramment rencontré dans ce département est le colza/blé tendre/escourgeon, même si dans les systèmes irrigués, la rotation est souvent plus diversifiée avec du maïs, des cultures industrielles (pomme de terre, oignons...) ou des portes-graines. Les spécificités pédologiques de l'Eure-et-Loir permettent de distinguer 4 petites régions agricoles ayant développé des systèmes de cultures spécifiques. Le cas-type étudié correspond aux spécificités de la Beauce Chartraine.

Le contexte environnemental et réglementaire est marqué par la directive nitrates (la totalité du département) et environ ¼ du territoire est concerné par les ZAR (Zone d'Action Renforcée) pour protéger les AAC (Aire d'Alimentation de Captage). La Ferme expérimentale de La Saussaye est située sur une Aire d'Alimentation de Captage alimentant en eau la ville de Chartres. Il y a donc un enjeu qualité de l'eau important.

ii. Le système de culture présenté

Ce système est expérimenté sur le site du Lycée agricole (140 ha dont 40 ha en AB), visant l'autonomie, sans apports de matière organique exogène et avec le moins possible d'interventions mécaniques en culture. La gestion de la fertilisation est assurée par la part importante de légumineuses, protéagineux et la présence d'un couvert d'interculture dans la rotation. Le SdC étudié est localisé en Eure-et-Loir (28) au sein de la petite région agricole Beauce Chartraine. Tout le département est classé en « zone vulnérable nitrate ». Le SdC choisit doit donc répondre à la réglementation de la directive nitrate (obligation de couverts...).

La fréquence de ce cas type reste faible sur la zone agricole concernée (la proportion d'exploitations en AB reste faible malgré une hausse notable des surfaces depuis 2017). Il est issu d'un système de culture classique en GC AB sans élevage mais avec un débouché luzerne (déshydratation ou contrat

avec un éleveur). Ce système se rencontre chez les agriculteurs biologiques du Perche et Thymerais Drouais ne disposant pas d'irrigation.

Les sources d'azote du SdC sont :

- Des fabacées (légumineuses) sont présentes en productions principales (luzerne, pois).
- Aucun apport organique exogène.

b. Climat

i. Pluviométrie et températures mensuelles

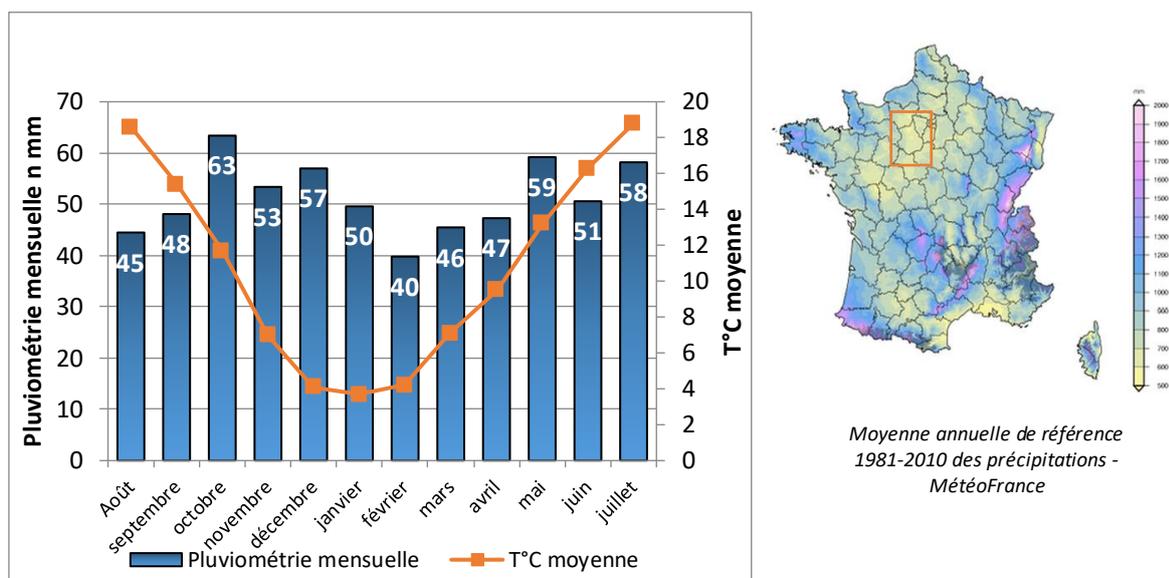


Figure 1 : précipitations et températures mensuelles à Chartres (normales 1981-2010).

Le climat chartrain est de type océanique dégradé, avec des précipitations normalement réparties tout au long de l'année. On dit généralement « à Chartres il pleut 50 mm tous les mois ». Cependant on observe depuis plusieurs années un changement du régime de précipitations avec une augmentation des précipitations durant l'automne-hiver et une augmentation des périodes sèches au printemps (avril) et durant les mois d'été (juillet à septembre). La pluviométrie totale (600 mm / an) reste globalement stable.

c. Sol sur lequel est « testé » le SdC :

Le sol est un sol de type limon-argileux profond à moyennement profond (80 – 90 cm) sur calcaire de Beauce. La réserve utile est de 150 - 200 mm et un pHeau proche de la neutralité.

Tableau 1 : principales caractéristiques du sol

Profondeur (cm)	Argile (%)	Limons (%)	Sables (%)	Densité apparente	Cailloux (%)	Norg (%)	MO (%)	C/N	pHeau
30	25.6	62.2	9.2	1.3	0	0.13	2.18	9.2	6.9
30	28	63.1	8.9	1.5	0				
20 à 30	35.0	55.1	9.9	1.6	0				

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	Récolte (date, destruction et gestion des couverts) et niveau de rendement
Luzerne	Entre le 10 et le 25 août, passage de décompacteur puis semis au semoir à céréales. Passage de herse étrille ou de herse rotative en sortie d'hiver d'année 2 et 3 pour limiter les adventices.	Absence de fertilisation azotée.	2 à 3 fauches entre juin et septembre. Rendement total compris entre 5 (1 ^{ère} année) et 11 T MS/ha/an.
Blé tendre d'hiver	2 à 3 déchaumages puis labour mi-novembre. Semis mi-novembre.	Restitution de la dernière fauche de luzerne en année 3 (août ou septembre).	Récolte 1 ^{ère} quinzaine de juillet. Rendement moyen 45 q/ha, valorisation en blé meunier (protéines > 11 %). Pailles restituées.
Couvert d'interculture : moutarde, trèfle, radis, vesce	A partir de mi-septembre après un déchaumage superficiel.		Destruction en décembre par labour. Faible développement (< 1 T MS/ha)
Orge de printemps brassicole	Labour d'hiver (décembre). Semis mi mars.	Pas de fertilisation azotée	Récolte 2 ^{ème} quinzaine de juillet, rendement entre 40 et 45 q/ha. Pailles restituées.
Pois d'hiver	Déchaumage profond en septembre puis labour juste avant le semis début décembre.		Rendement potentiel moyen : 10 q/ha ¹ . Résidus restitués.
Blé de printemps	2 déchaumages superficiels en juillet + 3 déchaumages plus profonds en septembre et octobre ² . Labour d'hiver (décembre). Semis 2 ^{ème} quinzaine de février après un passage de déchaumeur.	Pas de fertilisation azotée en raison du « bon » précédent	Rendement entre 50 et 65 q/ha. Blé meunier (> 11 % de protéines). Pailles restituées.

Ce système de culture en AB est conduit sans apports organiques exogènes (pas d'engrais organiques) et avec le moins d'interventions mécaniques en culture (absence de binage). La gestion de la fertilisation azotée est assurée par la part importante des Fabacées dans la rotation.

Les blés sont implantés après Fabacées pour bénéficier de l'effet positif du précédent sur l'azote du sol, en l'absence d'apports exogènes. La valorisation du blé meunier (taux de protéines > 11 %) est souhaitée sur la ferme pour des raisons économiques. De même, l'orge de printemps est valorisée en débouché brassicole (protéines > 9.5 %) et se place ainsi en deuxième paille pour bénéficier de l'effet longue durée de l'antéprécédent luzerne.

Afin de limiter les pertes d'azote par lixiviation, un couvert d'interculture doit être implanté avant toute culture de printemps (Directive Nitrates, Région Centre Val de Loire). Un couvert est ainsi implanté en n+1 après la destruction de la luzerne (avant l'orge de printemps). Cependant, les conditions sèches de l'été (entre le 15 juillet et le 15 septembre) sont défavorables à la levée et à la pousse des couverts d'interculture. Les biomasses restent faibles (< 1 TMS/ha) malgré le semis en août.

Par ailleurs, la lutte contre les chardons est assurée par des déchaumages répétés durant la période d'interculture, ce qui va à l'encontre de l'implantation systématique d'un couvert (choix stratégique sur l'exploitation).

¹ Le pois dans la simulation Syst'N® n'a pas été récolté et a été restitué pour correspondre à la réalité sur la ferme pour l'année 2016.

² L'objectif de lutte contre les chardons explique ces multiples déchaumages.

Enfin, ce système est basé sur un « nettoyage » par les 3 ans de luzerne, combiné avec des semis tardifs (novembre) et du labour systématique. L'idéal pour la gestion des adventices serait l'alternance labour/non labour mais les contraintes de gestion des résidus impliquent un labour systématique dans ce système. L'alternance de cultures d'hiver et de printemps et l'absence d'apports organiques permettent de limiter la pression des vulpins dans le système.

III. Résultats attendus en termes de pertes d'azote

Dans le cadre du projet Agro-éco-Syst'N des seuils de performances azotées ont été fixés vis-à-vis de la qualité de l'eau (potabilité) et de l'air (Tableau 3).

Nous visons dans ce contexte un système à moins de 10 kgN pour 100 mm d'eau drainée. En l'absence d'apports organiques³ dans le système, le seuil défini pour les pertes ammoniacales est limité à 5 % des « apports ». Ces seuils ont été déterminés vis-à-vis de la qualité de l'eau pour les pertes en nitrates (objectif eau potable : concentration < 50 mg/L de NO₃⁻) et vis-à-vis de la qualité de l'air pour les pertes en ammoniac.

Tableau 2 : Seuils de satisfaction des pertes en nitrate 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) = notre objectif
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 données utilisées pour simuler les performances azotées de ce système de culture sont issues des données expérimentales acquises depuis 7 ans dans le cadre d'une expérimentation systèmes de culture sur la Ferme de La Saussaye. Des mesures de rendement, biomasse des cultures et couverts végétaux sont réalisées chaque année. Des suivis réguliers de reliquats azotés (0-90 cm) sont réalisés à différentes périodes de l'année (récolte, entrée d'hiver et sortie d'hiver).

Les simulations présentées ont été réalisées avec les données climatiques de la période 2010-2017 de la station climatique de Sours, proche du site expérimental. Par ailleurs, une simulation a été réalisée en « année pluvieuse » à Sours (2012-2013) pour estimer les pertes en nitrates dans le pire scénario climatique.

Paramétrage de Syst'N® :

- Le blé de printemps a été remplacé par du blé d'hiver semé au printemps.

³ Dans la modélisation, la restitution de la dernière coupe de luzerne a été remplacée par un apport organique.

- La 3^{ème} fauche de luzerne en année 3 a été remplacée par un apport de matière organique (restitution non paramétrée dans Syst’N® au moment de la modélisation).
- La culture intermédiaire moutarde + radis + vesce + trèfle d’Alexandrie a été remplacée par une moutarde seule (pas de prise en compte des légumineuses du mélange dans la simulation)
- Enfin, le pois a été entièrement restitué au sol (grains et résidus ont été enfouis). Il s’agit d’une situation exceptionnelle liée au contexte climatique de l’année (récolte 2016). Cette restitution a été modélisée par un apport organique pour représenter la forte minéralisation qui a suivi. Deux mesures ont été faites en sortie d’hiver 2017 (180 kgN/ha en janvier et 217 KgN/ha en février). La minéralisation a été très forte durant l’automne-hiver qui a été par ailleurs peu arrosé.

V. Evaluation des pertes d’azote

a. Présentation des résultats moyens du système de culture :

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	0
		a2 : Apport: fertilisation organique	0
		a3 : Fixation biologique d'azote	20
b	Sorties d'azote (kgN/ha/an)	b1 : Exportation par les récoltes	55
		b2 : Exportation par les résidus de cultures exportés de la parcelle	14
c	Minéralisation de l'azote du sol et des résidus de culture (kgN/ha/an)		124
d	Pertes d'azote moyennes annuelles (kgN/ha/an)	d1 : Protoxyde d'azote (N ₂ O)	0.1
		d2 : Ammoniac (NH ₃)	3 ⁴
		d3 : Nitrate lessivé (NO ₃ ⁻)	14
		d4 : Nitrate ruisselé (NO ₃ ⁻)	0
e	Lame d'eau drainante annuelle (mm d'eau/an)		86

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)	-49
a - (b+d)	Variation du stock d'azote total dans le sol (kgN/ha/an)	-5
(d3*100)/e	Pertes d’azote par lixiviation pour 100 mm de lame d'eau drainante (kgN/100 mm)	16.3
(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)	72
d2/(a1+a2)	Pertes d’azote sous forme d'ammoniac (NH ₃) en % des apports totaux	0

⁴ Les pertes ammoniacales sont un artefact du calage : la restitution de la dernière coupe de luzerne et l’enfouissement du pois (non récolté) sont modélisés par des apports organiques. A noter cependant que la dégradation des résidus de légumineuses (dont la luzerne) émet du N₂O, gaz à effet de serre.

Ces pratiques ne permettent pas d'assurer une bonne qualité de l'eau au captage, la concentration en nitrates dépasse les 50 mg/L.

Assurer l'autonomie azotée du système par des légumineuses provoque une forte minéralisation des résidus qui se confirme sur le terrain (très forts reliquats). Cette quantité d'azote dans le sol est difficile à conserver pendant la période de lessivage en l'absence de couverts d'interculture efficaces et avec des semis tardifs de céréales qui absorbent tardivement l'azote.

Enfin, le très faible développement du pois en 2016 pénalise le système dans notre modélisation.

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

Les **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présentent les pertes moyennes d'azote par lixiviation calculées par trimestre. Ces sorties graphiques permettent de repérer les périodes de pertes d'azote.

Les pertes les plus importantes sont recensées durant l'hiver et le printemps 2012-2013 (Figure 2), les pluies abondantes ont marqué cette campagne, comme en témoigne la forte lame drainante sous luzerne (175 mm). Ce résultat peut être surprenant : on aurait pu s'attendre à une lixiviation moindre sous une parcelle de luzerne implantée depuis plusieurs années (avec un système racinaire bien développé).

Sans surprise, des pertes conséquentes sont estimées sous le blé de luzerne (30 kgN/ha sur la période novembre-avril), en raison de la forte minéralisation derrière cette Fabacée (Figure 2).

Le début de printemps pluvieux en 2016 provoque des pertes sous le pois (16 kgN/ha sur la période novembre-avril) et les conditions climatiques très particulières de cette campagne provoqueront le retournement de la culture (rendement nul), engendrant ainsi une très forte minéralisation pendant l'automne 2016 (Figure 3).

En l'absence de couvert intermédiaire piège à nitrates, les pertes modélisées sous la culture de blé de printemps restent modérées (8 kgN/ha) grâce à l'hiver et au printemps relativement secs (Figure 3).

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

Cas-type CVL2 – Système céréalier AB sans élevage, non irrigué, en région Centre-Val-de-Loire

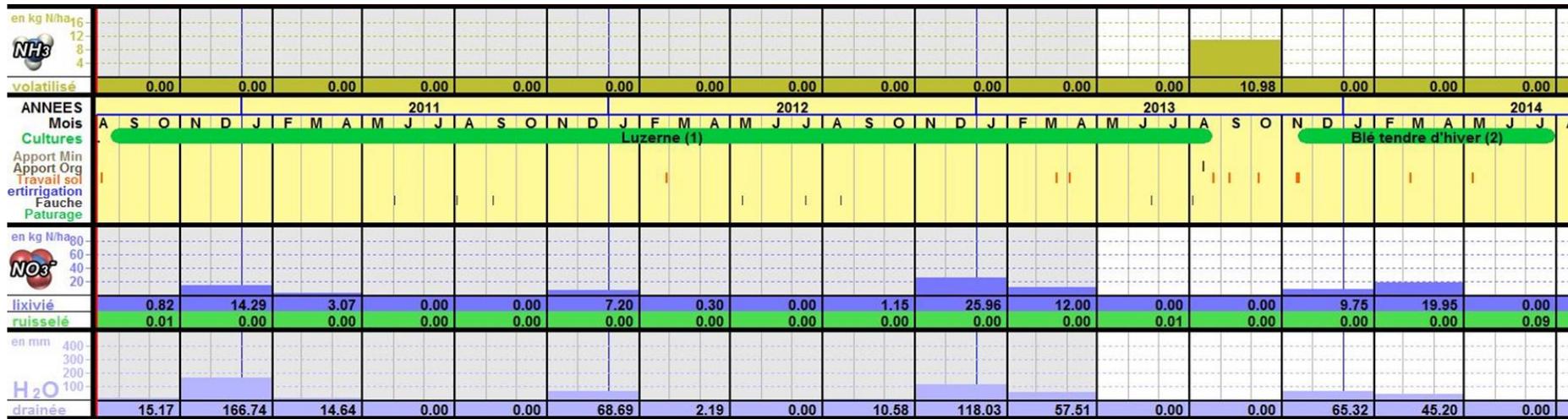


Figure 2 : Dynamique des pertes moyennes d'azote par lixiviation et volatilisation simulées sur 4 années climatiques (2010-2014).

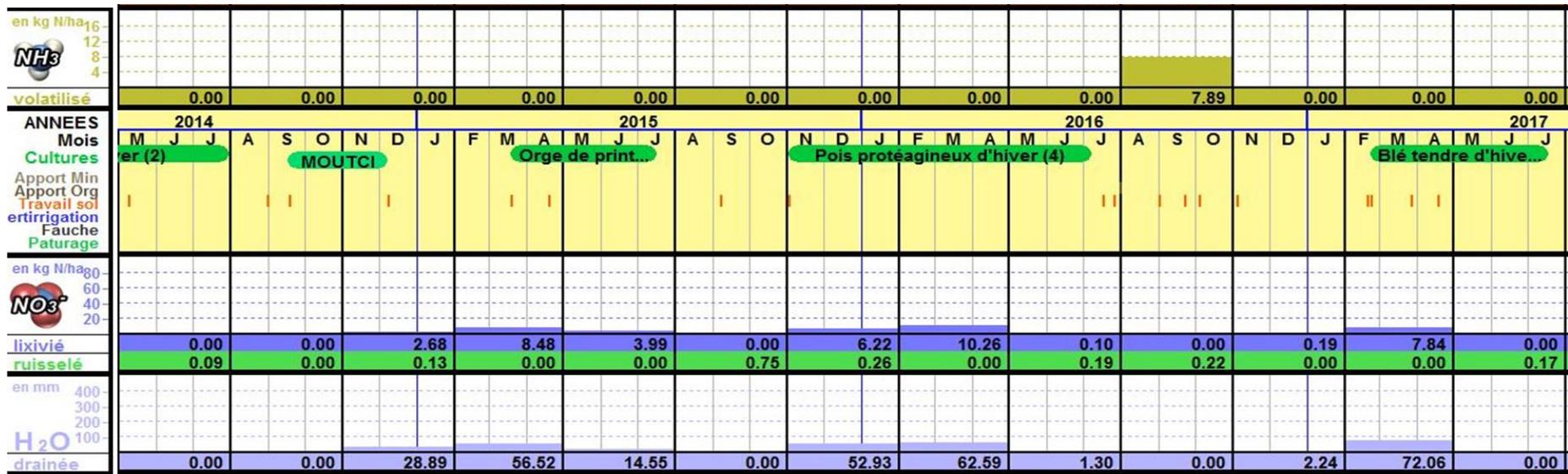


Figure 3 : Dynamique des pertes moyennes d'azote par lixiviation et volatilisation simulées sur 4 années climatiques (2014-2017).

Cas-type CVL2 – Système céréalier AB sans élevage, non irrigué, en région Centre-Val-de-Loire

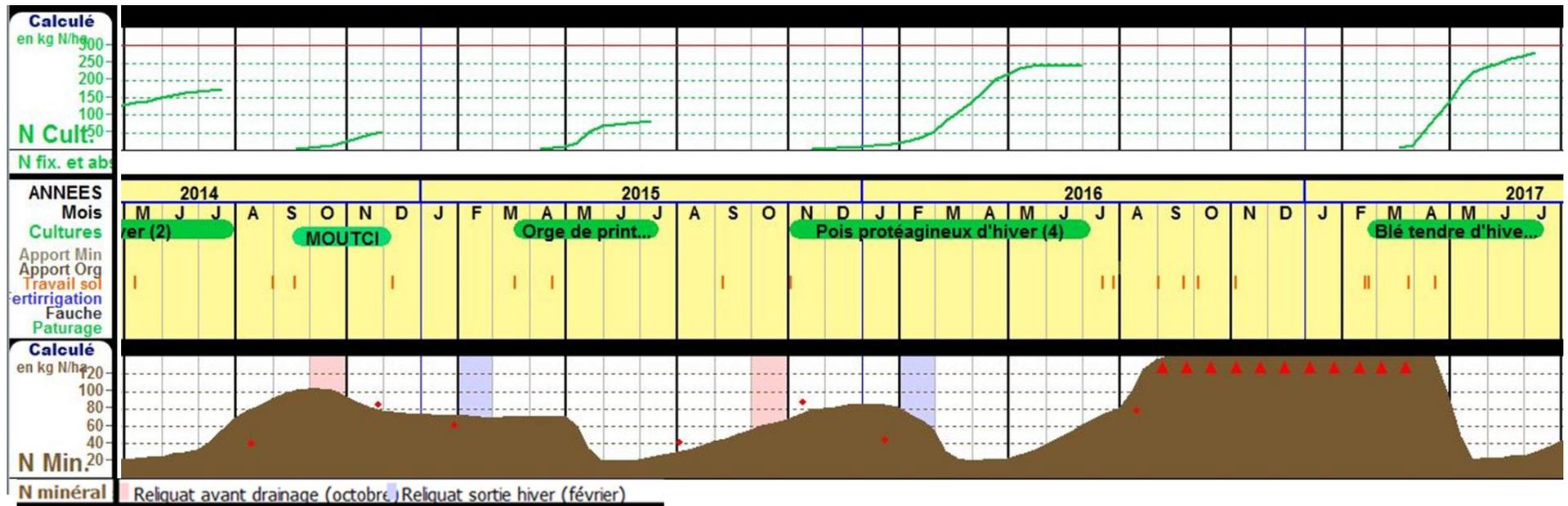


Figure 4 : Dynamiques de l'absorption de l'azote par les cultures et couverts végétaux et dynamiques de l'azote minéral du sol simulés sur 4 années climatiques (2014-2017)

VI. Diagnostic des performances azotées et discussion des résultats

Tableau 6 : Seuils de satisfaction des pertes en nitrates et en ammoniac du cas-type CVL2

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			
Lixiviation de nitrate : 5 à 10 kgN/100 mm de lame d'eau drainante			
Lixiviation de nitrate : > 10 kgN/100 mm de lame d'eau drainante			16 kgN lixivié / 100 mm de lame drainante et 0 % de l'azote total apporté volatilisé (pas d'apports)

Légende :

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

En l'absence d'apports organiques ou minéraux, le système étudié n'est pas concerné par la volatilisation de l'ammoniac. Il faudrait cependant étudier et prendre en compte les émissions de N₂O (gaz à fort effet de serre) liées à la dégradation de résidus de Fabacées pour pouvoir le qualifier de HPN par rapport à la qualité de l'air.

Du point de vue de la qualité de l'eau, le résultat ne peut pas être jugé satisfaisant au vue des pertes en azote > 10 kgN/100 mm de lame drainante. Ces résultats sont d'autant plus insatisfaisants que la parcelle expérimentale est située dans une Aire d'Alimentation de Captage Grenelle, avec un fort enjeu qualité de l'eau.

Des simulations ont été réalisées en prenant une année climatique sèche et une particulièrement humide pour « border » les pertes du système. Elles conduisent à des pertes en nitrates entre 10 kgN/ha et 36 kgN/ha pour une lame drainante oscillant entre 66 et 117 mgNO₃⁻/L. Quel que soit le scénario retenu (et donc l'année climatique), la concentration en nitrates dépasse 50 mg/L.

Assurer l'autonomie azotée du système par des légumineuses provoque une forte minéralisation des résidus qui se confirme sur le terrain (très forts reliquats). Cette quantité d'azote dans le sol est difficile à conserver pendant la période de lessivage en l'absence de couverts d'interculture (enjeu antagoniste de lutte contre les chardons par des déchaumages) et avec des semis tardifs de céréales (enjeu antagoniste : diminuer la pression des adventices annuelles).

Enfin, le très faible développement du pois en 2016 pénalise le système dans notre modélisation.

Pour aller plus loin (et viser un système HPN), une simulation *ex-ante* du système de culture a été réalisée pour une année climatique « à risques » (= pluvieuse) en tenant compte des améliorations suivantes :

- Semis systématique d'une interculture après Fabacée
- Semis systématique d'une interculture avant le 20/08 avant culture de printemps
- *Simulation avec une culture de pois « réussie » : non réalisé car difficile d'estimer les rendements moyens en pois en Agriculture Biologique pour une année pluvieuse.*

Cette boucle de progrès nous permet de réduire drastiquement les pertes en azote de 36 kgN/ha (simulation avec un itinéraire technique réel en année pluvieuse) à 20 kgN/ha (simulation avec un itinéraire technique amélioré en année pluvieuse). La concentration en nitrates de la lame drainante est estimée dans cette simulation « ITK amélioré » à 60 mg NO₃⁻/L, ce qui n'est toujours pas satisfaisant vis-à-vis de la qualité de l'eau, même si une amélioration notable est observée (estimation « ITK réel année pluvieuse » : 117 mg NO₃⁻/L).

VII. Conclusion

Le système étudié est partiellement performant vis-à-vis des pertes d'azote par lixiviation et volatilisation :

- En l'absence d'apports organiques la volatilisation ammoniacale est nulle, le système peut donc être considéré HPN vis-à-vis de ce critère (des pertes de N₂O peuvent toutefois survenir lors de la dégradation des Fabacées) ;
- le système n'est pas performant vis-à-vis de la qualité de l'eau : les pertes en azote sont supérieures au seuil fixé (16 kgN/100 mm de lame drainante dans le cas type). Contrairement au cas type CVL1 également étudié dans le cadre du projet Agro-éco-Syst'N, les pertes restent supérieures à 10 KgN/100 mm de lame drainante en années peu favorables à la lixiviation des nitrate.

La mise en place de couverts d'interculture performants est une piste à explorer pour limiter les pertes par lixiviation. Il faut cependant garder à l'esprit la contrainte de gestion des adventices et en particulier des chardons qui sont gérés en AB par des déchaumages répétés en période d'interculture ce qui peut être antagoniste avec la mise en place de ces couverts d'interculture.