

## CH2 – Système céréalier en craie de Champagne : système innovant

Intitulé du cas-type	Système céréalier en craie de Champagne : système innovant – CH2
Localisation	Bétheny (proche de Reims)
Type de sol	Calcosol
Type de climat	Série climatique 2008-2018
Rotation	Colza-Blé-Orge de printemps-Betterave-Blé-Pois d'hiver-Tournesol-Blé tendre-Betterave-Pois de printemps
Pratiqué ou prototype	Système présent sur la plateforme expérimentale Syppre Champagne, construit pour répondre à des objectifs fixés par rapport à un système de référence (Cas-type CH1).
N° Cas-types comparables	CH1
Contact	Paul Tauvel, Institut Technique de la Betterave

### I. Contexte

#### a. Localisation

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

Le système de culture présenté est rattaché au projet inter-instituts Syppre. La plateforme expérimentale l'accueillant est située dans la Marne, à Bétheny, en zone vulnérable aux nitrates d'origine agricole. La problématique de fuites de nitrates est centrale dans une région reposant énormément sur les intrants minéraux. Les pertes par volatilisation d'ammoniac sont aussi une préoccupation du fait de valeurs de pH élevées des sols de craie présents dans la région.

##### ii. Système de culture présenté

Le système de culture présenté ici comprend la rotation suivante : colza, blé, orge de printemps, betterave, blé, pois d'hiver, tournesol, blé, betterave, pois de printemps. Chaque plateforme expérimentale Syppre comprend un système de référence (cas-type CH1), considéré comme représentatif des assolements locaux, et un système innovant co-conçu pour répondre à des objectifs fixés par rapport à ce premier. Ils sont testés sur des parcelles de 24x70m pour employer du matériel d'agriculteur. Le système présenté ici est le système innovant : il s'agit d'un système pas ou peu présent à l'échelle locale dans les exploitations de grandes cultures.

Ce système a été co-conçu pour répondre aux objectifs détaillés dans le Tableau 1 par rapport au système de référence.

Tableau 1 : Enjeux, indicateurs et objectifs assignés au SdC innovant co-conçu

Enjeu	Indicateur	Objectif
<b>Productivité</b>	Produit brut €/ha	≥ SDC référence
	Production d'énergie brute plante entière MJ/ha	≥ SDC référence
<b>Economie</b>	Marge semi-nette €/ha	≥ SDC témoin
<b>Utilisation des intrants et environnement</b>	Quantité N minéral kg/ha	≤ -50% / SDC référence
	Consommation d'énergie MJ/ha	≤ -20% / SDC référence
	Émissions GES teqCO <sub>2</sub> /ha	≤ -20% / SDC référence
	IFT	Tendre vers -50% / réf. rég. 2012
	Stock MO	≥ SDC référence

Un des objectifs phares de ce système est de réduire sa dépendance aux engrais minéraux azotés en :

- limitant les pertes de nitrates, avec la mise en place de couverts d'interculture et en prêtant attention aux successions de culture ;
- fixant de l'azote symbiotique grâce aux légumineuses (cultures principales, cultures intermédiaires, cultures associées) ;
- mobilisant des apports organiques (non réalisés à ce jour, et donc non traité dans l'étude).

L'objectif de réduction des gaz à effet de serre s'est traduit en partie par une réduction du travail profond du sol, avec un seul labour positionné avant pois de printemps.

#### **b. Climat**

Le climat de cette région est un climat océanique dégradé. Les données présentées ci-dessous sont issues de la station MétéoFrance® de Reims. Elles correspondent à des données moyennes sur la période 2008-2018 (Figure 1).

La pluviométrie cumulée annuellement est en moyenne de 680mm. La pluviométrie est en moyenne bien répartie sur l'année. Les conditions climatiques et les cultures majoritairement présentes dans les assolements font que l'irrigation est peu déployée.

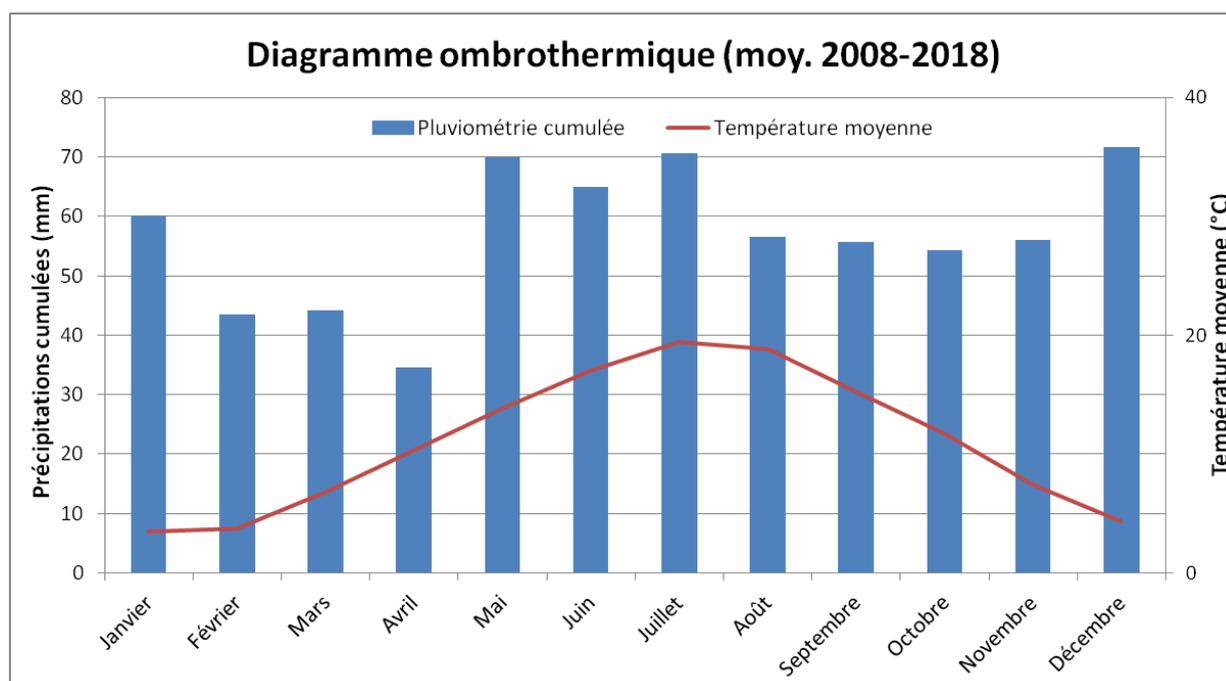


Figure 1 : Données climatiques moyennes (2008-2018) de la station météorologique de Reims

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

Le sol est un limon sablo-argileux à pH très alcalin (sol de craie). Le taux de matière organique est globalement plus élevée que ce que l'on trouve habituellement dans la région t du fait d'une gestion particulière du site les dernières décennies (ancien site militaire), la teneur en MO. Le tableau 2 présente les caractéristiques du sol retenues pour les simulations réalisées pour ce cas-type.

Tableau 2 : principales caractéristiques du sol

Profondeur (cm)	Argile (%)	Limons (%)	Sables (%)	Densité apparente	Cailloux (%)	Norg (%)	MO (%)	C/N	pH <sub>eau</sub>
0-30	16	50	34	1.2	0		3.3	9.9	8.7
30-50	16	50	34	1.4	0				
50-80	14	51	35	1.4	0				
80-110	16	54	30	1.4	0				

La réserve utile, avec le phénomène de capillarité, typique des sols de craie, est élevée (estimation autour de 200mm). Il s'agit donc d'un sol peu drainant.

**II. Le système de culture**

Tableau 3 : itinéraire technique de chaque culture et couverts végétaux de la rotation

Système de culture innovant				
Culture	Implantation et travail du sol	Stratégie de fertilisation	Irrigation	Récolte (date, destruction et gestion des couverts) et niveau de rendement
<b>Pois de printemps</b>	Nov. : Déchaumage Fév. : Labour Mars : Déchaumage puis semis (+croskill, rotative)	Apports PKMg selon besoins, en mars		Début, mi-juillet : récolte (30-40qx/ha) Fin juillet : broyage résidus
<b>Colza</b>	Fin juillet-début août : déchaumages (x2 min.) Mi-août : semis combiné Féverole de printemps et lentille (associées au colza) Mi-août : semis (strip-till)	Autour du semis : apport P Début/fin mars : apports d'azote (selon réglette Terres Inovia) Mars : apport de KMg selon besoins		Fin juin : Récolte (30-40q/ha) Fin juillet : broyage des résidus
<b>Blé tendre</b>	Août/Septembre/Octobre : déchaumages Mi-octobre : semis combiné	Mars/début Mai : apports d'azote (2 ou 3) Mars : apport Mg		Mi-juillet : récolte (70-90qx/ha)
<b>Couvert d'interculture : Phacélie + Vesce</b>	Fin juillet : broyage des résidus, déchaumages Début août : semis (+rotative) CIPAN (phacélie + vesce)	Pas d'apports organiques		Mi-novembre : destruction couvert (2 à 3tMS/ha)
<b>Orge de printemps</b>	Fin mars : déchaumage puis semis combiné	Mars/Début mai : apports azote, Mg		Mi-juillet : récolte (70qx/ha)
<b>Couvert d'interculture : Moutarde</b>	Août, début septembre : déchaumages, Début septembre : semis CIPAN	Pas d'apports organiques		Mi-novembre : destruction couvert, env. 2tMS/ha
<b>Betterave</b>	Fin mars, début avril : semis betterave (+strip-till)	Mi-mars : apport azote, apports PKMg		Mi-octobre : récolte (80-110 t/ha)
<b>Blé tendre</b>	Mi-octobre, début novembre : déchaumages Début novembre : semis	Mars/début Mai : apports d'azote (2 ou 3) Mars : apport Mg		Mi-juillet : récolte (70-80 qx/ha) Fin juillet : broyage des résidus, déchaumages
<b>Pois d'hiver</b>	Mi-octobre : déchaumages Début novembre : semis combiné	Mars : apport Mg		Fin juin, début juillet : récolte 30-40 qx/ha
<b>Couvert d'interculture : Avoine + Vesce + Trèfle</b>	Juillet, début août : déchaumages Début août : semis couvert	Pas d'apports organiques		Mi-novembre : destruction CIPAN, env.3 à 4 tMS/ha
<b>Tournesol</b>	Fin mars : déchaumage et semis (+strip-till)	Fin mars : apport N Mars : apport PKMg Mi-juin : apport bore		Mi-septembre : récolte (35qx/ha) Mi-octobre : broyage des résidus
<b>Blé tendre</b>	Mi-octobre : déchaumage Mi-octobre : semis combiné	Mars/début Mai : apports d'azote (2 ou 3) Mars : apport Mg		Mi-juillet : récolte (70-90qx/ha)
<b>Couvert d'interculture : Avoine + Vesce + Trèfle</b>	Fin juillet : broyage des résidus, déchaumages Début août : semis couvert	Pas d'apports organiques		Mi-novembre : destruction couvert, env. 3 à 4 tMS/ha
<b>Betterave</b>	Fin mars, début avril : semis betterave (+strip-till)	Mi-mars : apport azote, apports PKMg		Mi-octobre : récolte (80-110t/ha)

Ce système a été conçu avec l'ambition d'être multi-performant, comme l'indique la liste d'objectifs cités précédemment. Il vise donc notamment à maintenir un niveau de production et de qualité semblable aux exploitations locales. A noter tout de même que les rendements sont généralement plus faibles que ceux obtenus dans la région du fait d'un contexte historique du site particulier entraînant une forte pression de la flore adventice.

Pour répondre à ces objectifs, plusieurs leviers ont été mobilisés.

La rotation a été diversifiée avec des cultures principales permettant de fixer de l'azote, telles que le pois, d'autres cultures requérant peu d'intrants comme le tournesol. Un pool de cultures classiquement présentes régionalement a été maintenu du fait de la volonté d'inscrire pleinement le projet rattaché à cette plateforme aux filières locales.

La diversification a aussi été envisagée sur les phases d'interculture. Les couverts à base d'avoine avaient initialement pour objectif d'être exportés pour une valorisation énergétique afin d'améliorer les performances économiques du système : cette option est pour le moment mise de côté, du fait de biomasses trop faibles.

La réduction du travail du sol, avec la réalisation d'un seul labour sur une rotation de dix ans, a aussi été mobilisée afin notamment de réduire l'impact environnemental de l'itinéraire (émissions de gaz à effets de serre, consommation carburant...).

La conduite azotée des cultures est basée sur les outils de préconisation conseillés par les ITA. Les stratégies mises en place « à la culture » sont donc classiques. Les couverts d'interculture comportent une ou plusieurs espèces légumineuses. L'objectif est de fixer de l'azote symbiotique pour le restituer à la culture suivante. Ils sont semés précocement (début août) pour permettre un bon développement de ces légumineuses. Les seuls couverts ne présentant pas de légumineuses sont ceux situés après orge de printemps. Une moutarde conventionnelle est implantée tardivement pour se laisser le temps de gérer les repousses d'orge, très concurrentielles.

### III. Résultats attendus en termes de pertes d'azote

Les pertes de nitrates en kg/ha/an sont un critère important puisque les systèmes sont positionnés en zones vulnérables aux nitrates.

Les pertes d'ammoniac peuvent aussi être regardées du fait d'un contexte de sol avec un pH élevé.

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

Légende :

 Haute performance azotée (HPN)

 Performance azotée partielle

 Basse performance azotée

L'insertion de légumineuses dans ce système augmente le risque de pertes par lessivage. Suite au pois de printemps, l'implantation précoce du colza est censée permettre une absorption efficace de l'azote restitué. Après le pois d'hiver l'implantation d'un couvert doit aussi jouer son rôle de CIPAN : la question se pose tout de même d'une efficacité suffisante ou non. Toutes les intercultures longues présentent des couverts, limitant les risques de lessivage. L'interculture entre blé tendre et pois d'hiver peut présenter un risque dans le sens où le couvert est implanté que si la gestion des adventices a pu se faire dans de bonnes conditions. Les récoltes de betterave étant tardives, la mise en place de couverts n'est pas envisageable. Cependant, les reliquats post-récolte en betterave sont habituellement faibles. Les pratiques semblent donc vertueuses vis-à-vis des pertes par lessivage. L'échec de la mise en place de ces pratiques (couverts non développés, mauvaise dynamique de levée du colza) peut conduire à des pertes conséquentes.

Vis-à-vis des pertes ammoniacales, l'efficacité du système est conditionnée par l'utilisation ou non de solution azotée. Sur les dernières campagnes, c'est principalement de l'ammonitrate qui a été employé. Etant donné le pH du sol, aux alentours de 8,5, des pertes conséquentes peuvent être attendues sur des apports de solution azotée en périodes printanière et estivale.

#### IV. Présentation des simulations réalisées avec Syst’N®

Chaque culture de l’assolement est présente chaque année sur la plateforme expérimentale champenoise. Les simulations ont donc pu être réalisées pour chaque année sur l’ensemble des cultures présentes dans l’assolement. Pour les premières années, les données de climat réel ont été utilisées et confrontées aux itinéraires réellement pratiqués sur la plateforme. Pour les années suivantes, des données climatiques antérieures ont été mobilisées. La simulation a été réalisée sur 10 années.

Aucun écart majeur dans la saisie des itinéraires n’a été nécessaire. L’association moutarde + vesce positionnée avant orge n’a pu être saisie du fait des contraintes de Syst’N. C’est donc un couvert sans légumineuses qui a été positionnée. L’association de légumineuses au colza n’a pas non plus pu être renseignée.

#### V. Evaluation des pertes d’azote

##### a. Présentation des résultats moyens du système de culture :

Tableau 5 : Flux moyens d’azote total simulés à l’échelle du champ cultivé, calculés sur l’ensemble de la succession, ramenés à l’année.

a	<b>Entrées d'azote (kgN/ha/an)</b>	a1 : Apport: fertilisation minérale	105
		a2 : Apport: fertilisation organique	0
		a3 : Fixation biologique d'azote	55
b	<b>Sorties d'azote (kgN/ha/an)</b>	b1 : Exportation par les récoltes	109
		b2 : Exportation par les résidus de cultures exportés de la parcelle	35
c	Minéralisation de l'azote du sol et des résidus de culture (kgN/ha/an)		162
d	<b>Pertes d'azote moyennes annuelles (kgN/ha/an)</b>	d1 : Protoxyde d'azote (N <sub>2</sub> O)	0.1
		d2 : Ammoniac (NH <sub>3</sub> )	16
		d3 : Nitrate lessivé (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	14
		d4 : Nitrate ruisselé (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0
e	Lame d'eau drainante annuelle (mm d'eau/an)		104

Aucun apport organique n’étant renseigné dans les simulations, les seuls apports azotés sont minéraux et issus de la fixation symbiotique des légumineuses positionnées en cultures principales et couverts d’interculture.

La lame d’eau drainante est relativement faible du fait d’une réserve utile considérée comme élevée (renseignée à 200 mm).

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 6).

Tableau 6 : Indicateurs retenus pour évaluer les performances azotées de la situation culturale.

<b>a-b</b>	Bilan apparent : Entrées – Sorties par exportation (kgN/ha/an)	16
<b>a - (b+d)</b>	Variation du stock d'azote total dans le sol (kgN/ha/an)	-14
<b>(d3*100)/e</b>	Pertes d'azote par lixiviation pour 100 mm de lame d'eau drainante (kgN/100 mm)	13
<b>(d3*100*4.43)/e</b>	Pertes de nitrates par lixiviation pour 100 mm de lame d'eau drainante (kgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /100 mm) ou concentration moyenne en nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) sous le profil (mgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l)	59
<b>d2/(a1+a2)</b>	Pertes d'azote sous forme d'ammoniac (NH <sub>3</sub> ) en % des apports totaux	15

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

Les figures 2, 3 et 4 permettent d'analyser l'effet des différents paramètres du système de culture (climat, sol, succession et réussite des couverts/cultures) sur les pertes d'azote par lixiviation sur les années de simulations.

**[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 CH2 – Système céréalier en craie de Champagne – Système innovant

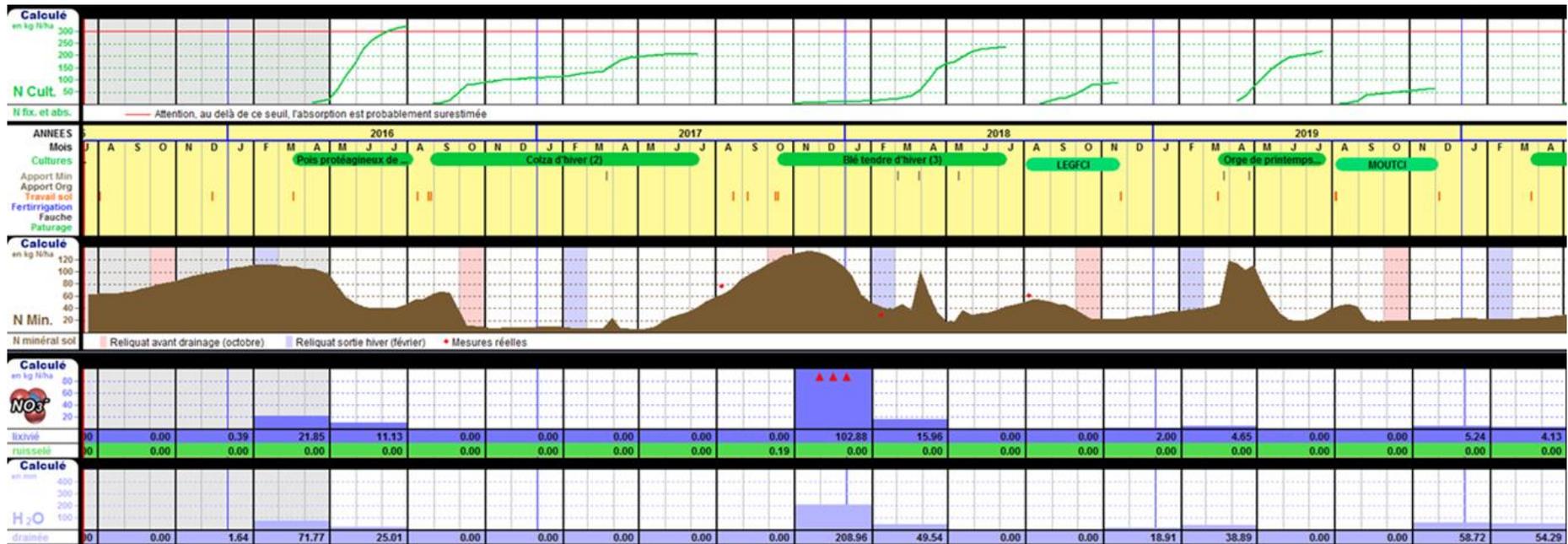


Figure 3 : Dynamiques de l'azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d'azote par lixiviation (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et lame d'eau drainante (mm) – Années climatiques 2008-2012.

Cas-type CH2 – Système céréalier en craie de Champagne – Système innovant

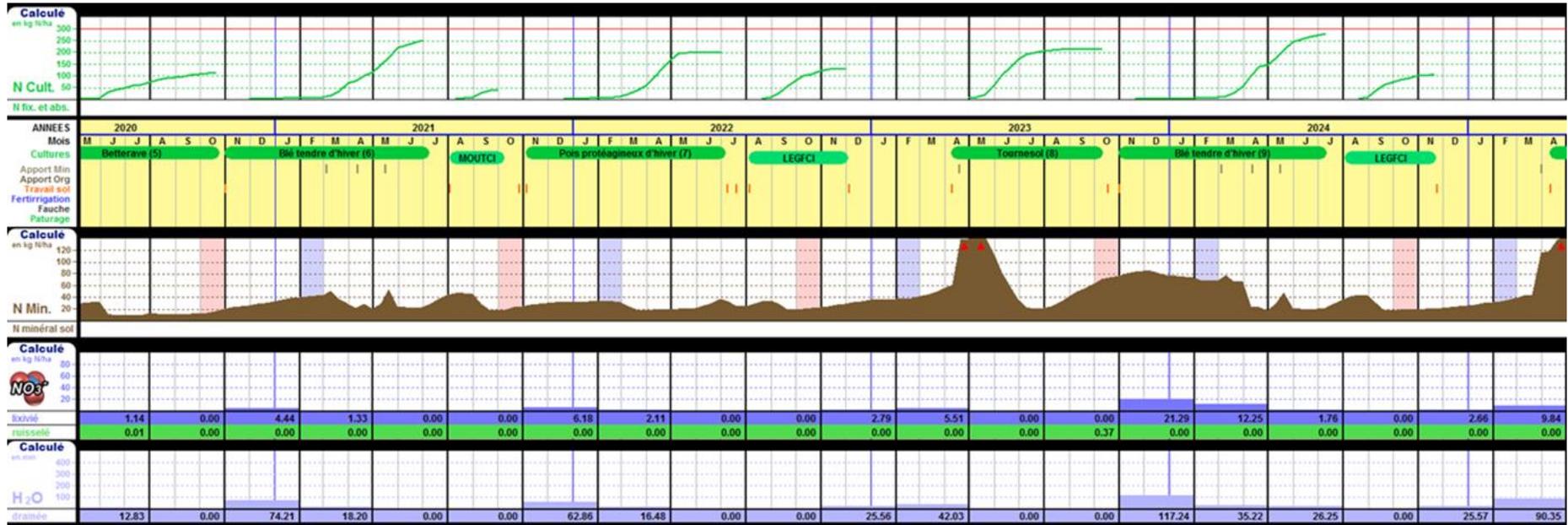


Figure 4 : Dynamiques de l'azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d'azote par lixiviation ( $\text{NO}_3^-$ ) et lame d'eau drainante (mm) – Années climatiques 2012-2017.

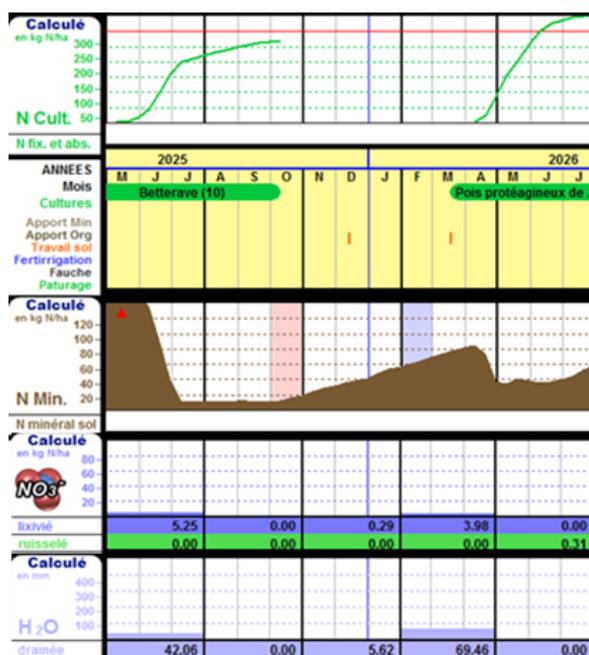


Figure 5 : Dynamiques de l'azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d'azote par lixiviation (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et lame d'eau drainante (mm) – Années climatiques 2017-2018.

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

Les pertes en nitrates à l'échelle du système de cultures sont relativement faibles dans l'absolu avec une moyenne à 16 kgN/ha/an. En effet, une lame drainante moyenne faible ressort de la simulation (~100mm d'eau par an) du fait d'une réserve utile de la parcelle élevée.

Les principales pertes sont constatées sur blé tendre à la fin de l'automne et au début de l'hiver, et sur les intercultures longues, notamment l'interculture pois d'hiver – tournesol.

Sur la simulation répertoriée dans ce rapport, ressortant comme la moins efficace par rapport aux nitrates, l'effet climat sur les pertes constatées sur blé tendre d'hiver est très important. Pour certains scénarios climatiques, quasiment aucune perte n'est constatée. La lame drainante supérieure à 200 mm simulée à l'hiver sur « blé tendre d'hiver » (Figure 3) est tout à fait exceptionnelle. Elle est constatée sur une seule année pour l'ensemble des simulations réalisées.

Concernant les pertes sur interculture longue, elles sont principalement liées à la pratique, avec des valeurs constatées de l'ordre de 10-15 kgN/ha avec un écart-type faible. Chaque interculture longue étant couverte, les simulations font ressortir un risque limité de fuites de nitrates. La question se posait tout de même du fait d'une date de destruction souvent précoce pour faciliter l'implantation des cultures de printemps et notamment le passage du strip-till pour les cultures en ligne. Bien entendu, un scénario climatique particulier peut entraîner des pertes plus conséquentes, comme observé sur la simulation de la parcelle 204 sur l'interculture pois d'hiver – tournesol (plus de 30 kgN/ha). Pour rappel, le pois d'hiver a substitué une association orge (puis blé) – pois d'hiver pour des raisons techniques. La non-prise en compte du facteur pertes de nitrates dans cet ajustement en fait un point faible du système.

La mise en place d'un colza après pois de printemps ressort bénéfique vis-à-vis des pertes de nitrates, même sur des années où la lame drainante est élevée à l'hiver où le colza est en place, comme constaté sur la simulation de la parcelle 204.

La mise en place de légumineuses en cultures principales et intermédiaires entraîne une minéralisation de l'azote du sol plus conséquente que sur le système de référence (cas-type CH1). Une concentration en  $\text{NO}_3^-$  sous le profil supérieure au système de référence est d'ailleurs constatée.

Si les performances absolues du système semblent intéressantes, les résultats obtenus par rapport au tableau fixant les seuils pour la détermination de systèmes à haute performance azotée sont moins bons. Le système présente des pertes en nitrates supérieures à 10 kgN/100mm lame drainante et des pertes en ammoniac supérieures à 10 % des apports minéraux azotés apportés. D'après le tableau de satisfaction des seuils, il ressort comme un système à « basse performance azotée ». Le contexte pédologique des terres de craie, avec un pH élevé, rend l'objectif vis-à-vis de l'ammoniac difficilement atteignable, malgré l'emploi très majoritaire d'ammonitrate.

Tableau 6 : Seuils de satisfaction des pertes en nitrates et en ammoniac du cas-type CH2

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	9.6 kgN livivié / 100 mm de lame drainante et 13% de l'azote total apporté volatilisé		

Légende :

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

## VII. Conclusion

Ce système de culture ressort avec une performance azotée qualifiée de « basse » selon les critères définis dans le projet Agro-éco-Syst'N.

Dans un contexte de sols crayeux avec des pH élevés, il est difficile d'obtenir des performances satisfaisantes vis-à-vis de la volatilisation ammoniacale, même dans une situation sans apports organiques, et avec des apports majoritaires d'ammonitrate.

Concernant les pertes de nitrates, il a été identifié des périodes sensibles : interculture longue (notamment l'interculture pois-tournesol), période de drainage pendant un blé. L'optimisation des couverts, et la réduction de reliquats post-récolte des précédents du blé sont deux moyens d'améliorer les performances de ce système vis-à-vis de ce critère.