CH1 – Système céréalier en craie de Champagne : système de référence

Intitulé du cas-type	Système céréalier en craie de Champagne : système de référence – CH1
Localisation	Bétheny (proche de Reims)
Type de sol	Calcosol
Type de climat	Série climatique 2008-2018
Rotation	Colza-Blé-Orge de printemps-Betterave-Blé
Pratiqué ou prototype	Système présent sur la plateforme expérimentale Syppre Champagne, représentatif de l'assolement local.
N° Cas-types comparables	CH2
Contact	Paul Tauvel, Institut Technique de la Betterave

I. Contexte

a. Localisation et présentation générale du SdC

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.
Chaque plateforme expérimentale Syppre comprend un système de référence, considéré comme représentatif des assolements locaux, et un système innovant (cas-type CH2) 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 de référence : il est donc fréquemment rencontré dans des exploitations locales de grandes cultures, sans élevage.

Celui-ci est conduit selon les conseils actualisés des instituts techniques agricoles. Les objectifs fixés sont donc de maintenir un niveau de productivité et des performances environnementales équivalentes aux systèmes locaux.
Par rapport à la problématique azote, un levier est principalement mobilisé pour réduire les pertes aux nitrates : l'implantation de couverts d'interculture. Ceux-ci sont composés de façon minoritaire de légumineuses, permettant de fixer de l'azote symbiotique et donc de réduire, mais de façon très marginale, la dépendance aux intrants minéraux azotés. Il s'agit donc d'un système reposant principalement sur de la fertilisation azotée minérale.

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.

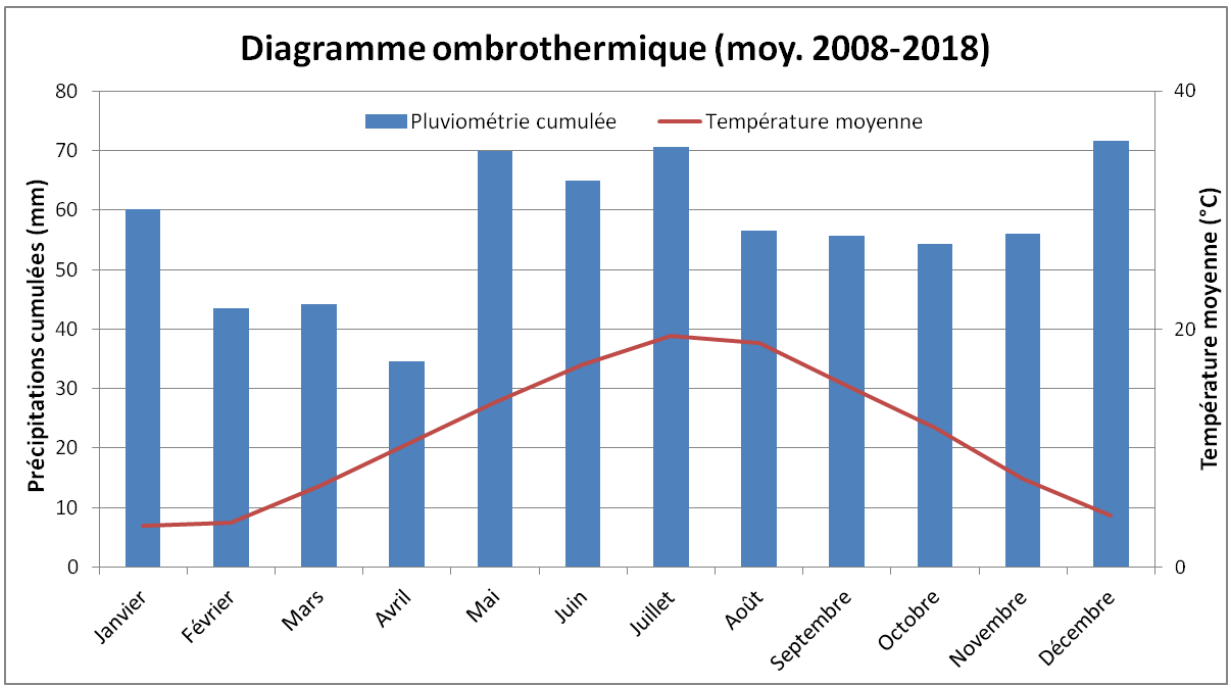

Figure 1 : Données climatiques moyennes (2008-2018) de la station météorologique de Reims

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 1 présente les caractéristiques du sol retenues pour les simulations réalisées pour ce cas-type.

Tableau 1 : principales caractéristiques du sol

Profondeur (cm)	Argile (%)	Limons (%)	Sables (%)	Densité apparente	Cailloux (%)	Norg (%)	MO (%)	C/N	pH_{eau}
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 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
Blé tendre	Août/Septembre/Octobre : déchaumages Mi-octobre : semis combiné	Mars/début Mai : apports d'azote (2 ou 3) Mars : apport Mg		Mi-juillet : récolte (70-80qx/ha)
Couvert d'interculture : Moutarde + Vesce	Fin juillet : broyage des résidus, déchaumages Début août : semis (+rotative) CIPAN	Pas d'apports organiques		Destruction mécanique du couvert mi-novembre : 2 à 4tMS/ha
Orge de printemps	Fin février : labour Fin mars : déchaumage puis semis combiné	Mars/Début mai : apports azote, Mg		Mi-juillet : récolte (70qx/ha) Mi-novembre : destruction couvert
Couvert d'interculture : Moutarde	Août, début septembre : déchaumages, Début septembre : semis CIPAN	Pas d'apports organiques		Destruction mécanique du couvert mi-novembre : env. 2tMS/ha
Betterave	Fin février : labour Fin mars, début avril : semis betterave	Mi-mars : apport azote, apports PKMg		Mi-octobre : récolte (80-110t/ha)
Blé tendre	Mi-octobre, début novembre : déchaumages Début novembre : semis	Mars/début Mai : apports d'azote (2 ou 3) Mars : apport Mg		Mi-juillet : récolte (70-80qx/ha) Fin juillet : broyage des résidus, déchaumages
Colza	Fin juillet-début août : déchaumages (x2 min.) Fin août : labour Début septembre : semis combiné	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

Ce système vise à être représentatif des assolements locaux et à mettre en œuvre les conseils des instituts techniques sur les cultures présentes dans l'assolement. De par la démarche du projet Syppre dans lequel il s'inscrit, il ne présente pas d'objectifs de performances particuliers. Il sert en effet de référence pour évaluer les performances d'un système innovant, présent sur la même plateforme expérimentale (Cas-type CH2). 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. La conduite des couverts est elle aussi relativement classique. Une moutarde est implantée tardivement derrière orge de printemps, pour se laisser le temps de gérer les repousses. Le couvert à base de moutarde et de vesce positionné avant l'orge est quant à lui implanté plus tôt.

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 entrainant une forte pression de la flore adventice.

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 3).

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

Sur la phase « blé – colza – blé », les pertes par lessivage sont pressenties comme mineures. Concernant les deux autres périodes d'interculture, des couverts (à dominance moutarde) sont implantés. Des pertes peuvent être relativement conséquentes en cas d'échec de ces deux couverts suivi d'un hiver humide. Vis-à-vis des pertes ammoniacales, l'efficience 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 (donc deux rotations).

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. La moutarde étant majoritairement présente dans ce couvert, présent qu'une seule fois dans l'assolement, il s'agit d'un détail. Cependant, cela explique pourquoi la valeur de la fixation d'azote simulée par Syst'N est nulle.

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	142
		a2 : Apport: fertilisation organique	0
		a3 : Fixation biologique d'azote	0
b	**Sorties d'azote (kgN/ha/an)**	**b1 :** Exportation par les récoltes	123
		b2 : Exportation par les résidus de cultures exportés de la parcelle	48
c	Minéralisation de l'azote du sol et des résidus de culture (kgN/ha/an)		133
d	**Pertes d'azote moyennes annuelles (kgN/ha/an)**	**d1 :** Protoxyde d'azote (N_2O)	0.1
		d2 : Ammoniac (NH_3)	19
		d3 : Nitrate lessivé (NO_3^-)	10
		d4 : Nitrate ruisselé (NO_3^-)	0
e	Lame d'eau drainante annuelle (mm d'eau/an)		104

Aucun apport organique et aucune légumineuse n'étant renseigné dans les simulations, les seuls apports azotés sont minéraux.

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 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)	-29
a - (b+d)	Variation du stock d'azote total dans le sol (kgN/ha/an)	-58
(d3*100)/e	Pertes d'azote par lixiviation pour 100 mm de lame d'eau drainante (kgN/100 mm)	9.6
(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)	42
d2/(a1+a2)	Pertes d'azote sous forme d'ammoniac (NH_3) en % des apports totaux	13

Le bilan apparent en azote ressort négatif traduisant très probablement une surévaluation de l'absorption d'azote par les cultures principales.

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.

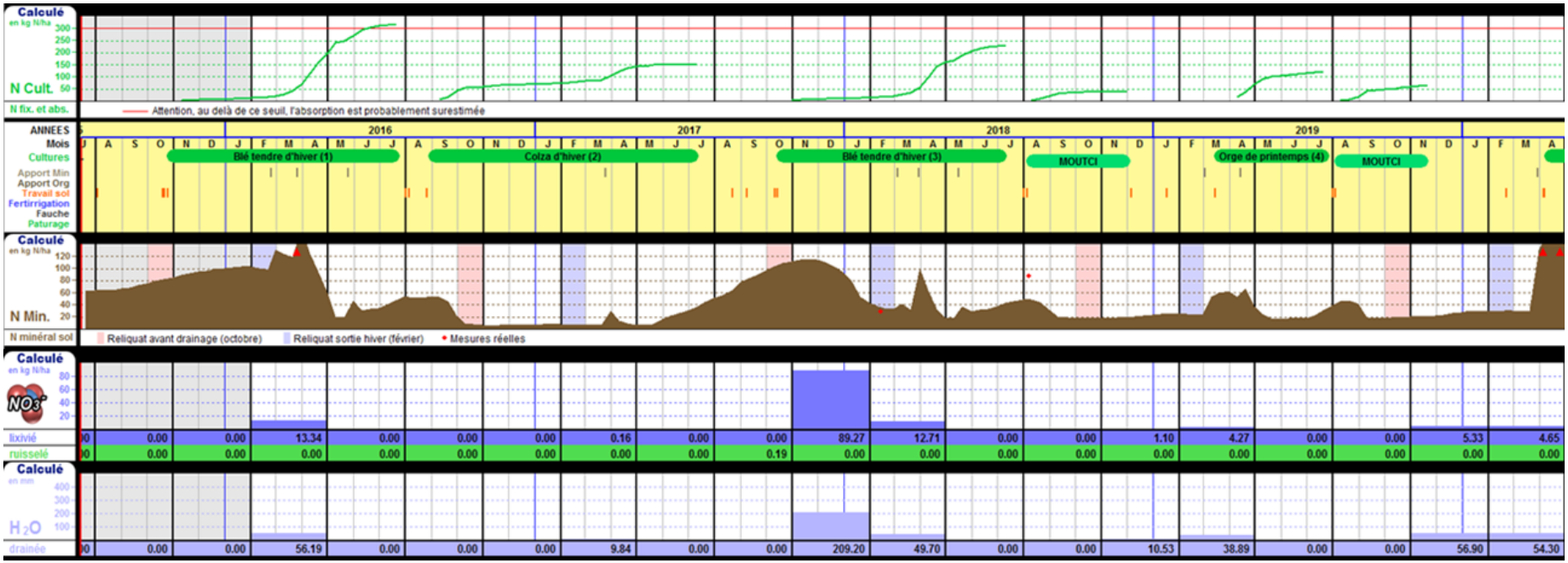

Figure 3 : Dynamiques de l'azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d'azote par lixiviation (NO_3^-) et lame d'eau drainante (mm) – Années climatiques 2008-2012.

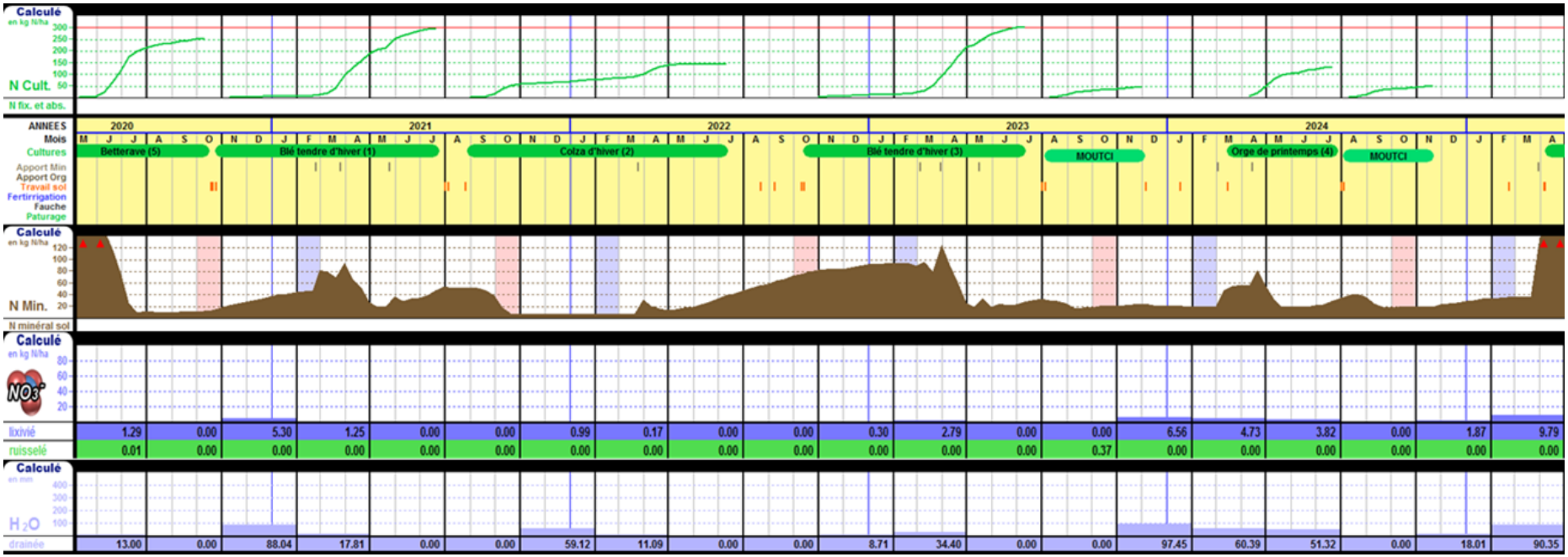

Figure 4 : Dynamiques de l'azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d'azote par lixiviation (NO_3^-) et lame d'eau drainante (mm) – Années climatiques 2012-2017.

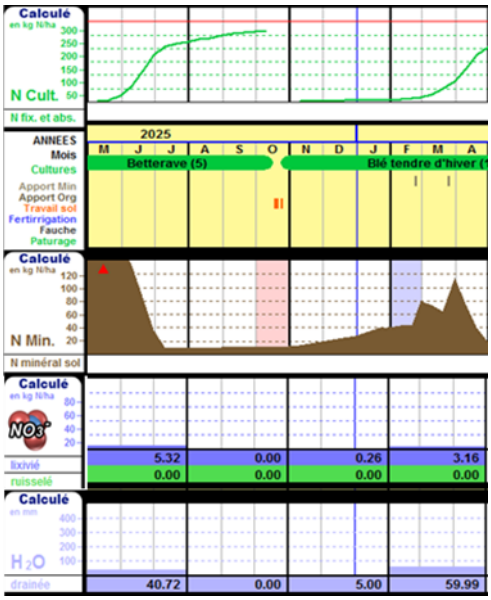

Figure 5 : Dynamiques de l'azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d'azote par lixiviation (NO-3) et lame d'eau drainante (mm) – Années climatiques 2017-2018.

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

Ce système présente en moyenne des pertes de nitrates assez faibles dans l'absolu (aux alentours de 10 kgN/ha/an). Les pertes sont souvent constatées aux mêmes endroits de la rotation : sur blé tendre et sur interculture longue.

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. Bien entendu, un scénario climatique particulier peut entrainer des pertes plus conséquentes.

Un déterminant très important pour expliquer ces pertes relativement faibles dans l'absolu est la valeur élevée de la lame drainante. Au-delà de cela, les phases de risque sont peu nombreuses et sont gérées par la mise en place de couverts. Le système présente une minéralisation du sol relativement faible. Il repose principalement sur l'apport d'intrants minéraux, dont la bonne gestion permet une bonne efficience. Cependant, d'après le critère de pertes en nitrates, fixé dans le tableau de satisfaction des seuils par rapport à cette valeur de lame drainante, le système n'est pas particulièrement performant (9 kgN/100 mm de lame drainante).

Par ailleurs, il est important de noter une variation de stock d'azote total du sol simulée négative (env. -60 kgN/ha/an). Ceci reflète probablement les difficultés du modèle à simuler correctement l'absorption d'azote, et/ou le renseignement de doses d'azote sous-estimées.

La variabilité des performances du système est faible. Au-delà des scénarios climatiques exceptionnels, elle pourrait être renforcée par des situations d'échecs sur le développement de couverts ou sur la performance de production de certaines cultures comme le blé.

Le système présente des pertes en nitrates inférieures en moyenne de 9 kgN/100mm lame drainante et des pertes en ammoniac très légèrement 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 niveau de pertes en nitrates est pour autant correct. Cependant, 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. Ceci explique le passage de ce système dans la catégorie « basse performance azotée » (Tableau 6).

Tableau 6 : Seuils de satisfaction des pertes en nitrates et en ammoniac du cas-type CH1

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

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. Cela fait tendre le système dans la grille d'évaluation vers une performance « basse ». Concernant les pertes de nitrates, il a été identifié des périodes sensibles : interculture longue, période de drainage pendant un blé. Les performances du système vis-à-vis de ces pertes en nitrates sont tout de même correctes. 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.