

Systèmes céréaliers en Champagne berrichonne : système de référence (colza-blé-blé-tournesol-blé) sur limon sableux profonds – CB1

Intitulé du cas-type	Systèmes céréaliers en Champagne berrichonne : système de référence (colza-blé-blé-tournesol-blé) sur limon sableux profonds – CB1
Localisation	Champagne berrichonne
Type de sol	Limons sableux profonds
Type de climat	Série climatique 2008-2014 (station Châteauroux)
Rotation	Colza-Blé-Blé-Tournesol-blé
Pratiqué ou prototype	Pratique moyenne observée localement
N° Cas-types comparables	CB2, CB3, CB4
Contact	Cécile Le Gall, Terres Inovia

I. Contexte

a. Localisation et présentation générale du SdC

Ce cas-type (CB1) présente les résultats du système de référence colza-blé-blé-tournesol-blé sur limon sableux alors que le cas type CB2 est basé sur le système de référence sur argilo-calcaire superficiel sur la même zone pédoclimatique : « Systèmes céréaliers en Champagne berrichonne : système de référence (colza-blé-orge) sur argilocalcaire superficiel ». Il s'agit de systèmes de culture moyens représentatifs des pratiques d'un groupe d'agriculteurs de la région. Les cas-types CB3 et CB4 traitent d'alternatives possibles (prototypes) aux deux systèmes de référence CB1 et CB2 respectivement.

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

Le cas d'étude CB1 se situe dans les zones agricoles intermédiaires en Indre (36) et Cher (18) en région Centre-Val de Loire, sur des exploitations spécialisées en grandes cultures, qui connaissent un contexte difficile, avec des performances non satisfaisantes en colza depuis plusieurs années, notamment dans les milieux à faible potentiel. Les systèmes de culture majoritaires de la zone sont basés sur des rotations courtes et rencontrent des problèmes de gestion des adventices (notamment géranium) et des insectes ravageurs du colza (avec des phénomènes de résistances aux insecticides). Les rendements du colza se dégradent donc significativement.

Face à la situation, une douzaine d'agriculteurs volontaires ont formé un groupe animé par Gilles Sauzet (Terres Inovia) en Champagne Berrichonne, qui se réunit régulièrement pour travailler ensemble à faire évoluer leurs systèmes de culture pour « sortir » des rotations peu diversifiées et des problématiques associées en termes de gestion d'adventices et d'insectes. L'enjeu global est de renforcer la fertilité des sols pour avoir des cultures exprimant leur potentiel avec moins d'intrants. Les deux piliers de cette reconception sont : la réduction du travail du sol si possible, la rupture avec des familles botaniques différentes et l'association du colza à des légumineuses gélives. L'association vise notamment à avoir un colza plus efficient dans la valorisation de l'azote, issu de la minéralisation basale du sol et des engrais (et également plus robuste face aux autres pressions).

ii. Système de culture présenté

La rotation du système de culture est schématisée dans la Figure 1.

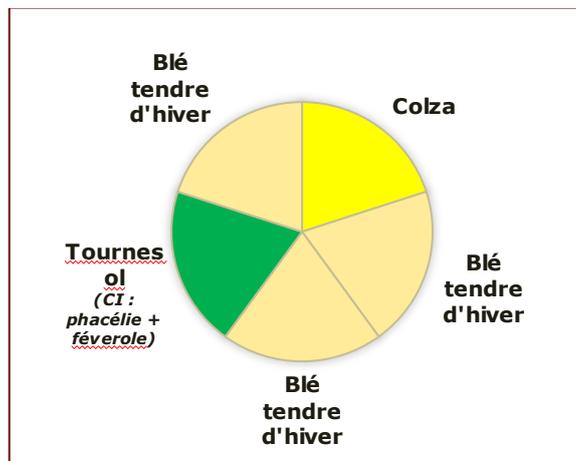


Figure 1 : rotation des cultures

Ce système est un système moyen, représentant une moyenne des successions et des pratiques rencontrées chez les agriculteurs du groupe présenté en introduction, pour ce type de sol. Ce type de système est donc relativement courant sur cette zone (sans toutefois représenter un cas existant).

Les objectifs affiliés à ce système de culture sont :

- Maximisation de la production
- Avec des cultures « robustes » car les sols restent à potentiel moyen
- Optimisation du temps de travail
- Optimisation des charges opérationnelles

b. Climat

Chaque culture a été simulée sous une seule année climatique (colza récolté en 2009, tournesol en 2012, blé en 2010 et 2011 et 2013).

i. Pluviométrie : mensuelle

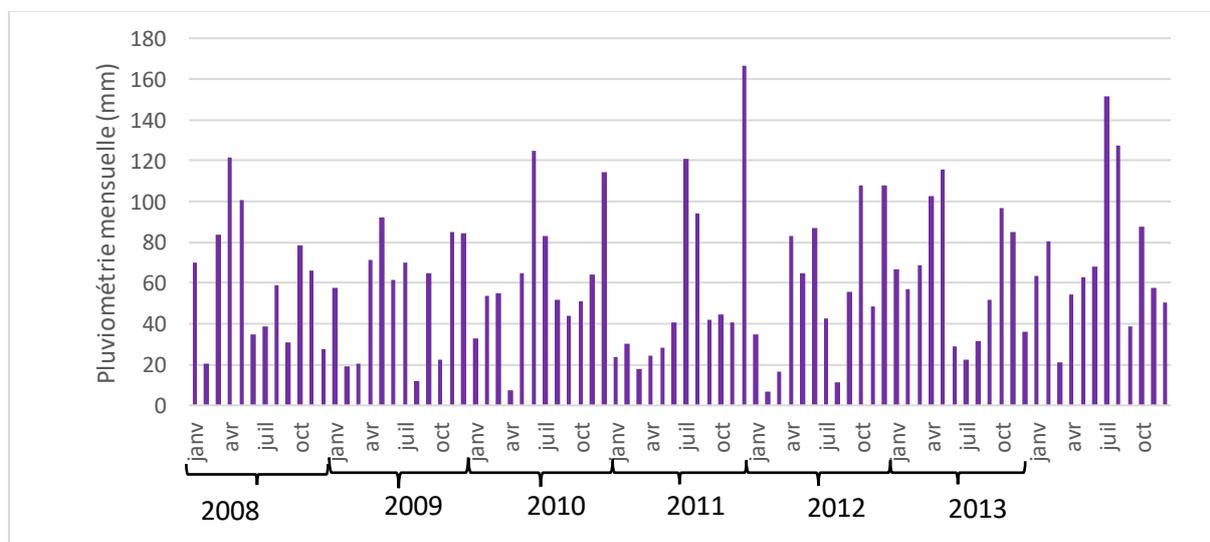


Figure 2 : pluviométrie mensuelle 2008-2013.

L'année 2014 est la plus pluvieuse (863 mm) et 2015 est la plus sèche (549 mm), suivie de près par 2017 (565 mm ; Figure 2).

La lame d'eau drainante moyenne est de 126mm/an. La période de drainage couvre la période hivernale (novembre à avril) mais aussi la période printanière (mai à juillet), ce qui représente une très large période ; les lames d'eau drainantes vont de 130-145 dans ces sols profonds.

ii. Température et ETP : moyennes mensuelles

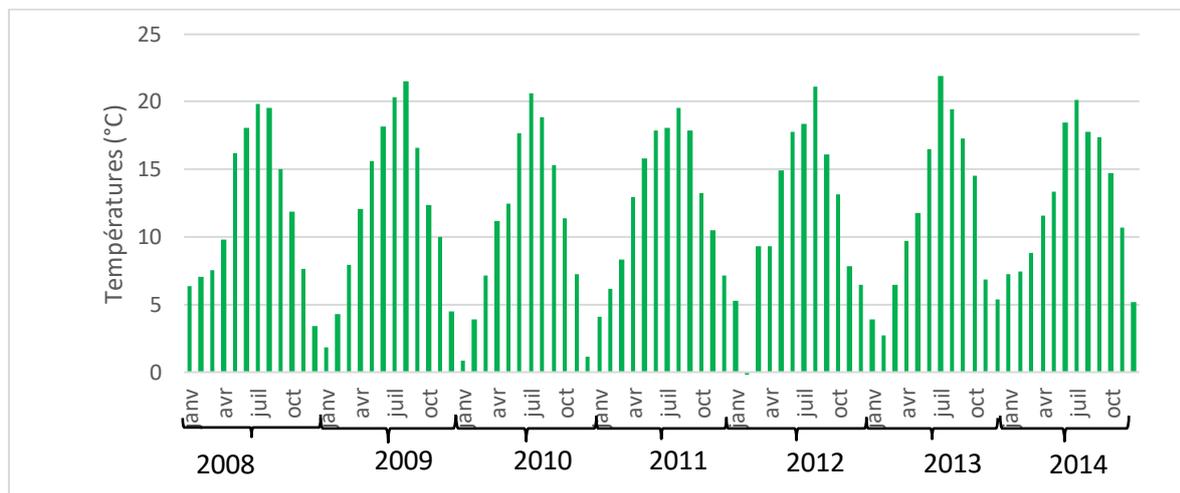


Figure 3 : températures mensuelles 2008-2013.

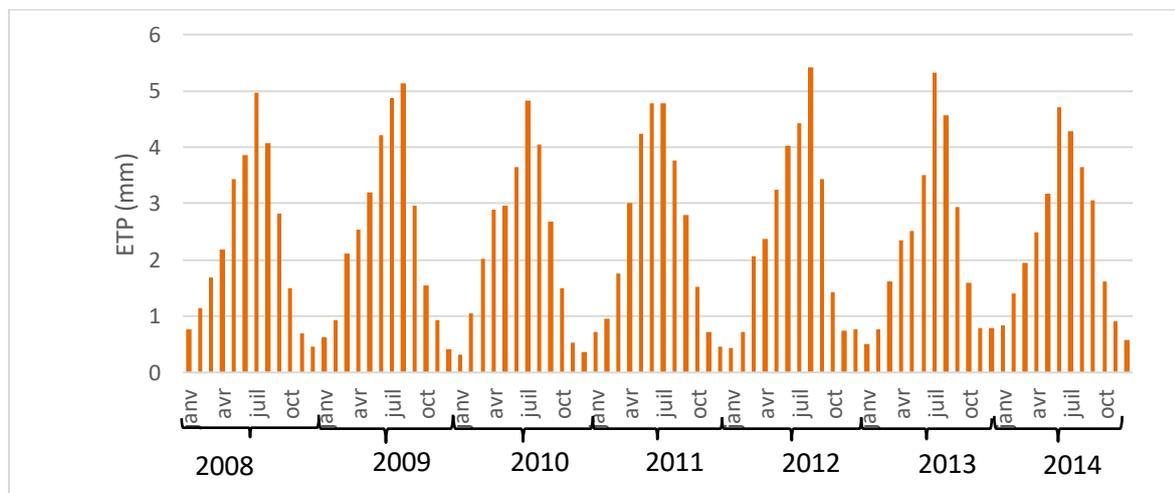


Figure 4 : ETP mensuelle 2008-2013.

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

Les principales caractéristiques du sol sont présentées dans le tableau ci-après (reprise du sol « limon sableux » proposé dans la BDD de sols de Syst’N®) :

Tableau 1 : principales caractéristiques du sol

Profondeur (cm)	Argile (%)	Limons (%)	Sables (%)	Densité apparente	Cailloux (%)	Norg (%)	MO (%)	C/N	pH _{eau}
0-25	29	69	9	1.3	0	0.1	2	8.3	7
25-50	28	63	9	1.5	0				
50-75	35	55	10	1.6	0				
75-105	50	45	5	1.5	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	Irrigation	Rendement et biomasse habituellement atteints, devenir des résidus
Colza	Travail du sol >20cm avec en moyenne 3 passages d'outils. Semis combiné HR fin aout.	190 kg de N/ha, fractionné en 3 apports entre mi-février et fin mars.	Pas d'irrigation.	33 qx/ha, stable – résidus enfouis
Blé tendre d'hiver	Labour après 2 passages d'outils. Semis à la mi-octobre.	190 kg de N/ha, fractionné en 3 apports entre mi-février et fin mars.	Pas d'irrigation.	75 qx/ha, stable – résidus enfouis
Blé tendre d'hiver	Labour après 2 passages d'outils. Semis à la mi-octobre.	190 kg de N/ha, fractionné en 3 apports entre mi-février et fin mars.	Pas d'irrigation.	75 qx/ha, stable – résidus enfouis
Couvert phacélie + féverole	Semis début août après un déchaumage.	Aucune fertilisation.	Pas d'irrigation.	≈1.5 T de MS/ha, très variable ; destruction par labour à la fin novembre.
Tournesol	Reprise de labour à la mi-mars après destruction du couvert par labour. Semis à la mi-avril.	50 kg de N/ha apporté au semis.	Pas d'irrigation.	30 qx/ha, stable – résidus enfouis
Blé tendre d'hiver	Labour après 2 passages d'outils. Semis à la mi-octobre.	190 kg de N/ha, fractionné en 3 apports entre mi-février et fin mars.	Pas d'irrigation.	75 qx/ha, stable – résidus enfouis

Les leviers mobilisés pour répondre aux différents objectifs sont :

- Diversification des cultures : introduction d'une culture de printemps (tournesol) pour casser le cycle des adventices du blé tendre et du colza
- Insertion de cultures « robustes » : colza d'hiver et blé tendre sont les deux piliers des rotations sur la région car ce sont les cultures qui permettent d'obtenir des marges satisfaisantes et les moins variables suivant les années
- Stratégie globale de gestion de l'azote :
 - o On vise une alimentation à l'optimum des différentes cultures
 - o Calcul des doses à apporter via les outils de calcul de la dose prévisionnelle
 - o Pour la culture de printemps : piégeage de l'azote via un couvert pour éviter les pertes de nitrate lors de la période de drainage
- Stratégie de protection des cultures : essentiellement basée sur une gestion chimique, avec le labour seulement en complément ; l'objectif est d'avoir des champs « propres » et exempts de maladies et ravageurs.

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 fixées vis-à-vis de la qualité de l'eau (potabilité) et de l'air (Tableau 3) : nous visons un système à moins de 10 unités/100 mm et moins de 10 % de pertes par volatilisation.

Tableau 3 : Qualification de la performance azotée du système en termes de pertes.

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 données utilisées pour réaliser les simulations de Syst'N sont issues d'une enquête menée auprès d'un groupe de producteurs suivi par Terres Inovia sur la zone de la Champagne berrichonne pour caractériser (i) les types de sol présents sur leur parcelle, (ii) les rotations pratiquées pour chaque type de sol et (iii) les itinéraires techniques de chaque culture pour chaque type de sol. Cette enquête a porté sur les données obtenues par les agriculteurs sur 10 ans, de 2006 à 2016. Ces données ont permis de définir une rotation type moyenne par type de sol et les itinéraires techniques associées.

Dans notre cas, sur limons sableux profonds, la rotation présentée était mise en place par 70% des agriculteurs interrogés sur les 10 ans concernés par l'enquête.

Les simulations ont été réalisées sur la période climatique 2008-2017, avec les données de la station météorologique de Châteauroux.

Dans le cadre des contraintes de la simulation, le mélange féverole et phacélie semé pendant la période d'interculture blé-tournesol a été remplacé par du pois d'hiver (Syst'N ne simulant ni l'un ni l'autre des 2 cultures).

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	162
		a2 : Apport: fertilisation organique	0
		a3 : Fixation biologique d'azote	17
b	Sorties d'azote (kgN/ha/an)	b1 : Exportation par les récoltes	120
		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)		79
d	Pertes d'azote moyennes annuelles (kgN/ha/an)	d1 : Protoxyde d'azote (N ₂ O)	0,3
		d2 : Ammoniac (NH ₃)	7
		d3 : Nitrate lessivé (NO ₃ ⁻)	8
		d4 : Nitrate ruisselé (NO ₃ ⁻)	0
e	Lame d'eau drainante annuelle (mm d'eau/an)		126

Remarque : Les résidus de culture ne sont pas exportés de la parcelle (d'où b₂=0) et la quantité d'azote contenue dans les résidus de culture est estimée par la simulation à 61 kgN/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)	59
a - (b+d)	Variation du stock d'azote total dans le sol (kgN/ha/an)	22,9
(d3*100)/e	Pertes d'azote par lixiviation pour 100 mm de lame d'eau drainante (kgN/100 mm)	6,35
(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)	28,1
d2/(a1+a2)	Pertes d'azote sous forme d'ammoniac (NH ₃) en % des apports totaux	4,3

Les cultures principales ont absorbé 237 kgN/ha/an dont 61 kgN/ha/an sont laissés au champ via les résidus et les couverts intermédiaires ont absorbé 100kgN/ha/an. Ainsi les résidus laissés au sol et les couverts apportent une contribution significative aux entrées d'azote dans le sol.

Les entrées d'azote dans le système (en kg/ha/an) se font donc avant tout par la fertilisation minérale (162) et par la minéralisation nette (79) et de façon plus anecdotique la fixation symbiotique (17). La minéralisation nette est alimentée aussi par la minéralisation des couverts et les résidus de culture. Les apports d'intrants représentent ainsi une part importante des entrées. Les exportations sont uniquement les grains récoltés car les résidus sont en général laissés au sol. Le bilan apparent moyen à l'échelle de la rotation est en excédent avec environ 60 kg de N/ha/an, selon les simulations réalisées par Syst'N.

Les pertes d'azote sont l'**azote lixivié sous forme de nitrate** avec une perte de 28,1 kg de NO₃⁻/ha/an, pour une concentration moyenne sous racinaire de 27 mg NO₃⁻/L. Cela représente une perte de 6,35 kg N/ha/an. Les pertes par **volatilisation** sont faibles (4,3 % des apports).

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

La synthèse des pertes enregistrées par trimestre est présentée dans le Tableau 6 et les dynamiques des pertes d’azote et des dynamiques d’azote minéral dans le profil de sol et au sein des peuplements végétaux sont présentées dans la Figure 5.

Tableau 6 : pertes de nitrate et d’ammoniac enregistrées par trimestre.

Pertes	Aout-octobre	Ecart type	nov-janvier	Ecart type	fev-avril	Ecart type	mai-juillet	Ecart type
Nitrate – kg de N/ha	0.00	<i>0.00</i>	3.18	<i>3.14</i>	2.62	<i>4.27</i>	0.73	<i>1.26</i>
Nitrate – mg NO₃/100 mm	-	-	3.71	-	2.19	-	3.97	-
Ammoniac	0.00	<i>0.00</i>	0.00	<i>0.00</i>	6.97	<i>2.67</i>	0.00	<i>0.00</i>

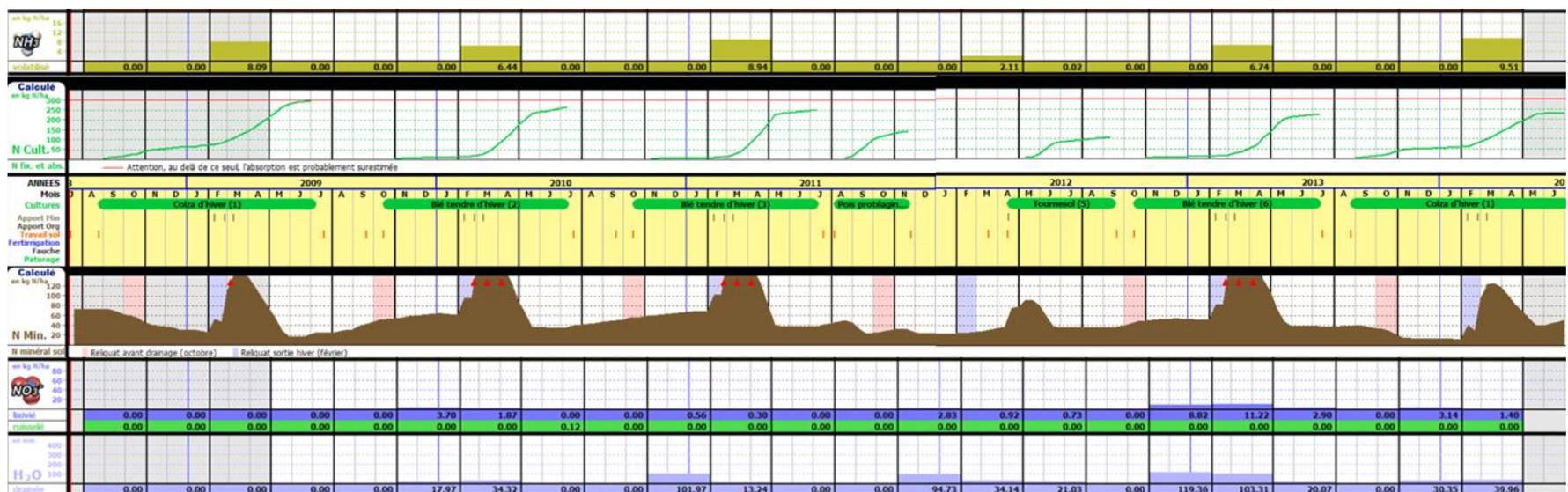


Figure 5 : Dynamiques des pertes d’azote par volatilisation (NH₃), de l’azote au sein des peuplements végétaux, dans le profil de sol et pertes d’azote par lixiviation (NO₃⁻) et lame d’eau drainante (mm) – Période 2009-2013.

N.B. : l’ensemble des Figures présentées sont disponibles sous format image pour une meilleure lisibilité et plus grande facilité d’utilisation de ces Figures.

Les pertes de nitrate ont lieu sous blé suivant le colza ou le tournesol, lors de la période hivernale. Les pertes en ammoniac ont lieu au moment des apports d’azote printaniers, de même que les « pics » d’émissions de protoxyde d’azote. Pour ces dernières cependant, des émissions sont observées tout au long du cycle.

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

On constate que les pertes sont globalement faibles au regard des objectifs, et que cela classe ce système au sein des systèmes dits à hautes performances azotées selon les performances calculées à l'aide de Syst'N® (Tableau 4).

Tableau 4 : Seuils de satisfaction des pertes en nitrates et en ammoniac du cas-type CB1

	Volatilisation d'ammoniac >10% des apports (kgN pour 100kgN apportés)	Volatilisation d'ammoniac : 5 à 10% des apports (kgN pour 100kgN apportés)	Volatilisation d'ammoniac < 5 % des apports (kgN pour 100kgN 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			6.35 kgN lixivié / 100 mm de lame drainante et 4.3% de l'azote total apporté volatilisé
Lixiviation de nitrate > 10 kgN /100 mm de lame d'eau drainante			

Légende :

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

Plusieurs facteurs expliquent cette bonne performance :

- Une profondeur de sol conséquente (1,05 m) qui « tamponne » les pertes sous racinaires.
- Une bonne croissance de l'ensemble des termes de la rotation – en dehors du tournesol – notamment sur la phase hivernale où l'on observe les plus forts pics de stocks d'azote dans le sol (dus à la minéralisation mais aussi aux apports d'azote) ; ainsi cet azote est bien valorisé par la culture. La croissance des cultures simulée par Syst'N apparait cependant surestimée, avec des rendements de blé allant de 90 à 110 q/ha alors que l'on est plutôt autour de 75 q/ha dans les enquêtes agriculteurs. Lors de cette simulation, il n'y a pas eu de recalage de la date de semis pour rectifier artificiellement le rendement des cultures.
- Un colza qui « pompe » très bien l'azote à l'automne.
- Un couvert intermédiaire avant tournesol (ici simulé au travers d'un pois d'hiver) qui a une très bonne croissance et donc « pompe » aussi le nitrate à l'automne. Cette croissance apparaît ici largement surestimée par Syst'N, avec une absorption d'azote de 150 kg de N/ha alors qu'une moyenne de 30 à 50 kg de N/ha est souvent observée sur ces situations. Ces résultats ne sont donc représentatifs que des cas où les couverts ont très bien été réussis.
- Des conditions peu favorables aux émissions de N₂O avec un sol dont la capacité de drainage est forte donc où les pics de dénitrification sont quasi inexistantes.
- Des conditions peu favorables aux émissions d'ammoniac au moment des apports car ceux-ci sont suivis de pluies, qui permet l'infiltration de l'azote dans le sol et la soustrait ainsi à la volatilisation ; par ailleurs, la forme choisie (ammonitrate) est très peu émissive.

Syst'N® nous permet ici de reproduire relativement bien les dynamiques des pertes d'azote, en lien avec les dynamiques de minéralisation, le climat avec toutefois des grosses incertitudes liées à la simulation de la dynamique de croissance des cultures.

Et les valeurs de pertes de nitrate présentées apparaissent sans doute sous-estimées du fait d'une croissance des cultures qui a tendance à être plutôt surestimée. Les pertes de N₂O sont en

revanche proches de ce qui a pu être observée par Terres Inovia sur ce type de sol et les pertes de NH3 apparaissent réalistes par rapport au contexte étudié.

VII. Conclusion

Ce système de culture présente de bonnes performances. Si la forme d'engrais et l'enfouissement sont bien pensés, il y a peu de risque de volatilisation sous ces conditions pédoclimatiques.

La période novembre-avril associées aux apports d'engrais minéraux est la plus sensible pour les risques de pertes par lixiviation selon les conditions climatiques, c'est pourquoi les simulations sur plusieurs années (chaque culture sur chaque année climatique) seraient utiles pour compléter l'analyse. En effet, les risques de lixiviation seraient plus élevés dans les périodes à risques concomitantes avec une forte lame drainante, c'est-à-dire plus élevés avec un printemps très pluvieux sous colza ou avec un automne pluvieux après le colza ou entre les deux blés.