

BR2 – Système céréalier en élevage de porcs sur caillebotis et paille en Bretagne

Intitulé du cas-type	Système céréalier en Bretagne : lisier et fumier de porcs – BR2
Localisation	Saint Nicolas du Pélem (22)
Type de sol	Limon sablo-argileux
Type de climat	Série climatique 2010-2018
Rotation	Maïs-Blé-Colza-Triticale
Pratiqué ou prototype	Pratiqué
N° Cas-types comparables	BR1, BR3, BR4
Contact	Anne Guézengar – Equipe sol-fertilisation – Chambres d’Agriculture de Bretagne

I. Contexte

a. Localisation et présentation générale du SdC

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

La Bretagne est avant tout une région d’élevage (sept exploitations sur dix ont une activité d’élevage), à orientations dominantes bovins laits (30%), puis porcs et volailles (10% chacun). En 2015, 38% de la SAU bretonne et 20% des exploitations sont orientées en grandes cultures (blé tendre 48% de la SAU en grandes cultures, le maïs 21%, l’orge 15% et le colza 6%) (Agreste Bretagne, 2017). La Bretagne est classée Zone Vulnérable vis-à-vis des nitrates depuis 1994. Cependant, la qualité de l’eau s’est améliorée du fait de l’évolution des pratiques agricoles (réduction de la concentration en nitrates de 28% entre 1995 et 2015 et de 5% entre 2012 et 2015), mais elle reste un enjeu local car quelques stations de suivi de la qualité de l’eau dépassent encore les 50 mg NO₃⁻/L réglementaires. Un cours d’eau est caractérisé sain en dessous de 20mg de nitrates par litre. Même si les cours d’eau bretons sont passés en dessous des 50mg/L réglementaires, il y a encore un travail à mener pour abaisser les teneurs en nitrates sous les 20mg/L. De plus, suite au développement massif des algues vertes fin des années 2000 sur certaines côtes de Bretagne, l’État a lancé un plan national de lutte contre les marées vertes, visant une réduction drastique des fuites d’azotes dans les baies concernées.

ii. Système de culture présenté

Le système de culture étudié (SdC) est localisé en centre Bretagne, en zone de précocité tardive, éventuellement à plus faible potentiel que le reste de la région. Le SdC est lié à un élevage de porcs au mode de logement mixte (paille et caillebotis) autant pour la valorisation des effluents d’élevage que potentiellement pour l’alimentation du cheptel. Ce SdC a été construit dans un objectif Ecophyto 1, de réduction de 50% des produits phytosanitaires, sans dégrader la lixiviation des nitrates, la charge de travail et la marge de l’agriculteur. La rotation maïs-blé majoritaire en élevage de porcs a été allongée pour mener une rotation sur quatre ans maïs-blé-colza-triticales. L’objectif est de maximiser la couverture automnale des sols (étouffement des adventices et diminution des fuites d’azote). Les lisiers et fumiers produits sur l’élevage sont les seuls produits résiduels organiques valorisés, et ce à la quantité maximale permise en respectant l’équilibre en N et P à la parcelle. La fertilisation azotée est complétée par de l’azote minéral. L’azote minéral apporté sur blé est réduit de 10% sous l’équilibre de fertilisation dans le souci de limiter les traitements phytosanitaires.

Ce cas type est issu du site expérimental breton de Crécom (22 – St Nicolas du Pelem – Station expérimentale porcine des Chambres d’agriculture de Bretagne).

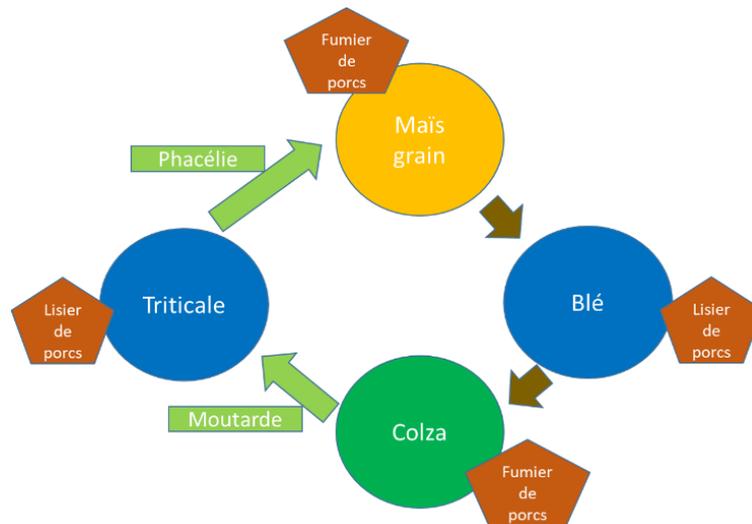


Figure 1 : rotation des cultures

b. Climat

Le climat breton est de type océanique. Le gradient littoral / terres peut cependant être important. A Saint Nicolas du Pélem en centre Bretagne, la pluviométrie annuelle est de 1059 mm/an. L'automne et l'hiver sont les périodes les plus pluvieuses, les moyennes mensuelles enregistrées entre novembre et février sont de 120mm à 163mm pour des températures comprises entre 5.6 et 8.8°C. Les pluies peuvent être conséquentes en mars, avril et mai de 60 à 90mm. Elles diminuent sans être négligeables sur la période de juin à septembre (31 à 64 mm) avec des températures modérées (14.7°C à 17.3°C). L'ETP annuelle est de 679mm.

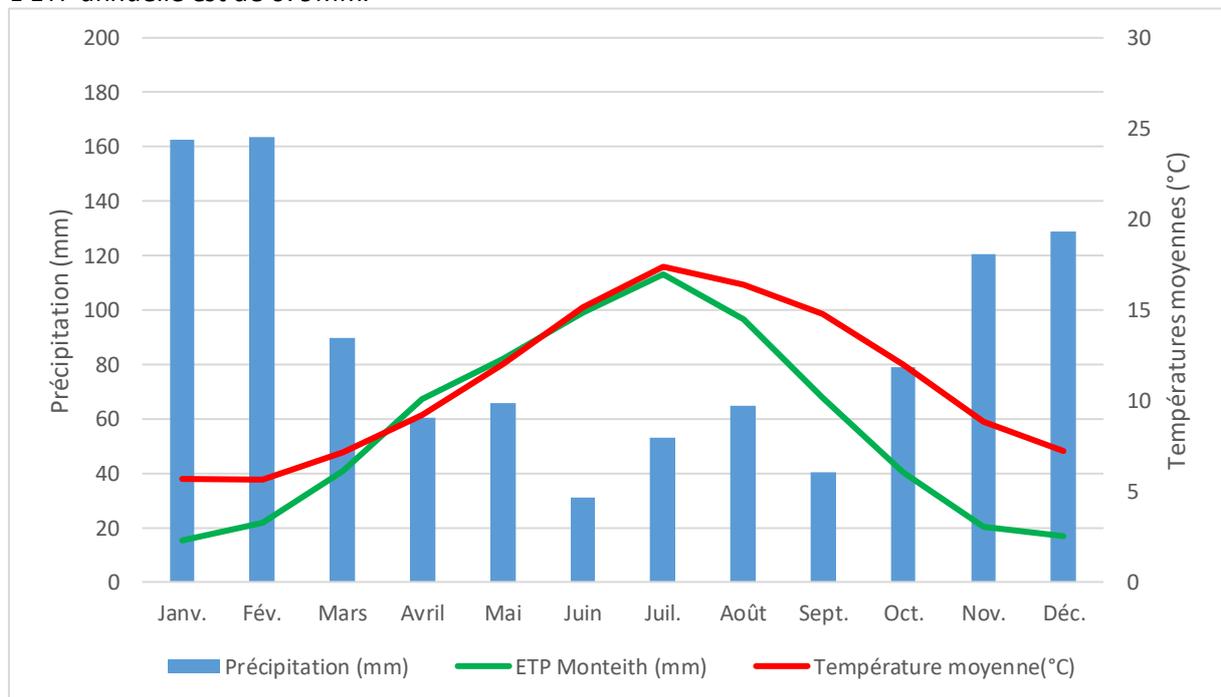


Figure 2 : Données climatiques moyennes (2003-2018) de la station météorologique de Saint Nicolas du Pélem

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

Le sol est un limon sablo-argileux à pH entretenu. Assez caillouteux, il est drainant. La parcelle présente de fort taux de matière organique y compris pour la région où les taux de MO sont régulièrement

supérieurs à 3. 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	12,5	51,4	36,1	1	16	0,36	5,39	10,2	6,1
30-60	12,2	51,1	36,7	1,2	22				
60-90	16,6	60,4	23	1,2	15				

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
Maïs grain	Première décade de mai après labour à 20cm et 3 faux semis puis semis combiné.	20t/ha de fumier de porcs non composté à 9.2kgN total/t dont 1.2 kgN-NH4+/t à 31.4%MS apporté à la mi-mars.	Début novembre. Rendement autour de 76 q/ha.
Blé tendre d'hiver	Semis entre le 20/10 et le 15/11 après labour à 20 cm et préparation du lit de semence en surface.	35 m ³ /ha de lisier de porcs non composté à 2.2kgN/ m ³ dont 1.5kgN-NH4+/ m ³ et 2% de MS apporté entre le 20 mars et le 10 avril. Fertilisation minérale de 90uN/ha sous forme d'ammonitrate en 2 apports de 50uN fin février et 40uN fin avril	Récolte première quinzaine d'août. Rendement de 68q/ha.
Colza	Semis du 20 août au 5 septembre après labour à 20 cm et préparation du lit de semence en surface.	20t/ha de fumier de porcs non composté à 9.2kgN total/t dont 1.2 kgN-NH4+/t à 31.4%MS apporté au semis. 40 uN sous forme d'ammonitrate première décade de mars.	Du 20 juillet au 5 août. Rendement de 36 q/ha
Couvert de moutarde	Semis au 20 août avec travail du sol superficiel (5 à 10 cm)		Destruction entre le 20/10 et 05/11 juste avant semis du triticale, résidus enfouis. Développement moyen, 1.5tMS/ha.
Triticale	Semis entre le 20/10 et le 05/11 après labour à 20 cm et préparation du lit de semence en surface.	35 m ³ /ha de lisier de porcs non composté à 2.2kgN/ m ³ dont 1.5kgN-NH4+/ m ³ et 2% de MS apporté entre le 20 mars et le 10 avril. Fertilisation minérale de 70uN/ha sous forme d'ammonitrate en 2 apports de 40uN fin février et 30uN fin avril.	Récolte première décade d'août. Rendement moyen de 65 q/ha (de 40 à 90q/ha).
Couvert de phacélie	Semis après déchaumage entre 20 août et le 05 septembre.		Destruction mécanique au 20 mars. Résidus enfouis. Développement fort 3tMS/ha.

Ce système de culture (non irrigué) vise à valoriser au mieux les Produits Résiduaux Organiques (PRO) disponibles sur la ferme tout en respectant l'équilibre phosphore à la parcelle. Toutes les cultures de la rotation reçoivent des effluents d'élevage complétement en N minéral sous forme d'ammonitrate. Le lisier est apporté sur céréales (blé et triticale) et le fumier est apporté avant colza et maïs. Imaginé pour répondre à l'exigence de diminution de 50% de l'IFT dans le cadre d'Ecophyto 1, ce SdC avait aussi pour objectif de ne pas dégrader les résultats sur l'azote par rapport à un système classique maïs-blé en élevage de porcs. La succession choisie vise à diversifier les périodes d'implantation des cultures pour une meilleure maîtrise des adventices. La diminution de l'IFT peut être permise par une multiplication des travaux du sol en pratiquant 2 à 3 faux semis avant l'implantation des cultures. Cette

technique n’a pas été retenue avant culture d’hiver car elle maintient le sol nu avant la période à risque de lessivage. Elle est pratiquée avant maïs.

Pour répondre à l’enjeu azote, le choix a été fait de couvrir le sol dès que possible à l’automne sans perturber la succession des cultures principales (maïs-blé-colza-triticales). Deux leviers principaux ont été utilisés. En interculture longue, le couvert de phacélie est semé le plus tôt possible, souvent autour du 20 août sauf année particulière où les contraintes climatiques amènent à une situation de couvert réglementaire (à semer avant le 10/09). La phacélie permet d’un point de vue agronomique de diversifier les familles dans la rotation. La culture n’est pas paramétrée dans Syst’N®, elle a été remplacée pour les besoins de la simulation par de la moutarde.

Un couvert court de moutarde a été inséré entre colza et triticales afin de diminuer le reliquat d’azote dans le sol au début drainage. Le choix s’est porté sur la moutarde en raison de son développement rapide et de l’existence de variété très précoces qui peuvent finir leur cycle d’absorption avant destruction fin octobre. Egalement, le coût de la semence étant parmi les plus faibles de l’offre, il convenait de l’utiliser pour promouvoir cette pratique pas ou peu développée au départ de la mise en œuvre de ce SdC.

Les rendements obtenus sont bons en colza et correspondent au potentiel habituel de la parcelle. Les résultats sur maïs sont également satisfaisants. Les rendements en blé et triticales sont plus faibles de 5q/ha en moyenne.

Le fumier est systématiquement enfoui dans les 24h avant colza et maïs pour limiter les pertes par volatilisation et maximiser l’efficacité de l’engrais.

III. Résultats attendus en termes de pertes d’azote

Ce système de culture est conduit en zone vulnérable. L’enjeu azote est fort dans la région. La maximisation de la couverture automnale des sols répond tant à une problématique de réduction des herbicides qu’à celle de la pollution aux nitrates. Vis-à-vis des fuites de nitrates, le SdC a pour objectif d’obtenir de meilleurs résultats que la rotation de référence Maïs-Blé-CIPAN. La majorité des bassins versants visent dans leur plan d’action une baisse de 20% des flux par rapport à 2010. Un seuil localement acceptable, simulé dans les mêmes conditions pédoclimatiques serait donc -20% de 77 kgN/ha/an soit 62 kgN/ha/an.

Le SdC est de plus évalué en fonction d’une cette grille d’interprétation commune à tous les SdC du projet (Tableau 3).

Tableau 3 : Seuils de satisfaction croisés des pertes de nitrate et pertes d’ammoniac.

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 simuler les performances azotées de ce système de cultures sont issues des données expérimentales acquises de 2012 à 2017 dans le cadre d’une expérimentation « systèmes de cultures » à la station expérimentale porcine de Crécom à Saint Nicolas du Pélem (22).

Des mesures de rendements et biomasses des cultures et couverts végétaux sont réalisées chaque année ainsi que des mesures de la concentration en azote dans les cultures à la récolte et dans les couverts végétaux à l’automne. La composition des effluents a été analysée à chaque épandage. Des suivis réguliers de reliquats azotés (0-90 cm) sont réalisés à différentes périodes de l’année (récolte, mesures toutes les trois semaines entre mi-octobre et fin février).

La phacélie n’est pas paramétrée dans Syst’N. Les simulations ont été réalisées avec des couverts de moutarde en interculture du maïs et du triticale.

Les simulations présentées ont été réalisées avec les données climatiques de la période 2010-2018 de la station météorologique de Crécom – Saint Nicolas du Pélem (22) sur le site expérimental.

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 sur l’ensemble de la rotation (kgN/ha/an)

a	Entrées d'azote (kgN/ha/an)	a1 : Apport: fertilisation minérale	50
		a2 : Apport: fertilisation organique	131
		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	65
c	Minéralisation de l'azote du sol et des résidus de culture (kgN/ha/an)		173
d	Pertes d'azote moyennes annuelles (kgN/ha/an)	d1 : Protoxyde d'azote (N ₂ O)	0.1
		d2 : Ammoniac (NH ₃)	6
		d3 : Nitrate lessivé (NO ₃ ⁻)	47
		d4 : Nitrate ruisselé (NO ₃ ⁻)	0
e	Lame d'eau drainante annuelle (mm d'eau/an)		445

Les entrées moyennes d’azote à l’échelle du système de cultures sont de 181 kgN/ha/an. Les entrées issues des engrais organiques représentent 131 kgN/ha/an et celles issues des engrais minéraux représentent 50 kgN/ha/an.

Les cultures intermédiaires restituées immobilisent en moyenne 62 kgN/ha/an et l’azote immobilisé dans les résidus de récolte (restitués) représente 22 kgN/ha/an.

Les sorties moyennes d’azote à l’échelle du système de cultures sont de 123 kgN/ha/an issus de l’exportation des grains et de 65kgN/ha/an issus des pailles du blé et du triticale.

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)	-7
a - (b+d)	Variation du stock d'azote total dans le sol (kgN/ha/an)	-60
(d3*100)/e	Pertes d'azote par lixiviation pour 100 mm de lame d'eau drainante (kgN/100 mm)	10.6
(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)	46.8
d2/(a1+a2)	Pertes d'azote sous forme d'ammoniac (NH ₃) en % des apports totaux	3.3

NB : 1 kg N = 4.43 kg NO₃ -

Les pertes moyennes à l'échelle du système de cultures sont de 47 kgN/ha/an lixivié, les pertes par volatilisation représentent 6 kgN/ha/an. La concentration moyenne en nitrates dans la lame d'eau drainante de 445 mm est de 46.8 mg NO₃⁻/L. Les pertes d'azote (lixivié et volatilisé) représentent 29.3% des entrées moyennes annuelles d'azote. Les pertes d'azote par lixiviation pour 100 mm d'eau drainée sont de 10.6 kgN/ha/100mm.

Le solde entre les entrées et les sorties d'azote à l'échelle du système de culture est de -7 kgN/ha/an. Le bilan du stock d'azote total est déficitaire de 60kgN/ha/an.

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

- **Pertes moyenne d'azote par lixiviation**

La Figure 3 présente les dynamiques des pertes d'azote par lixiviation de 2010 à 2018. Chaque culture est simulée sur 2 années de la série climatique. Les pertes les plus importantes sont recensées sous la culture de blé après maïs grain avec 57.5 kgN/ha perdus pendant la période automnale (30 kg perdus en 2011 et 85 kg perdus en 2016). Sous le triticale après un couvert court de moutarde d'août à octobre, le lessivage s'élève à 47 kgN/ha sur la période automnale et hivernale (69 kg perdus en 2013 et 26 kg en 2017). Les pertes sous colza sont de 36 kgN/ha. Elles sont de 40kg en moyenne sous couvert long de moutarde remplaçant la phacélie.

Chaque année, l'essentiel des pertes ont lieu de novembre à mars mais 4 années sur 8 le drainage démarre dès octobre. Le régime pluvieux régulier fait que 2 années sur 8 on simule toujours du drainage associé à de faibles pertes entre mai et juillet (2014 et 2015).

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 BR2 – Système céréalier en élevage de porcs sur caillebotis et paille en Bretagne



Figure 3 : Quantité d'azote lixivié et d'eau drainée au cours de la succession de cultures (2011-2018).

- **Colza 2013 et 2017 : des résultats de lessivage proches mais des dynamiques très différentes.**

La Figure 4 ci-dessous illustre les risques de pertes d'azote par lixiviation liées aux apports de matières organiques avant l'implantation de la culture et des conditions de développement de la culture, notamment la pluviométrie.

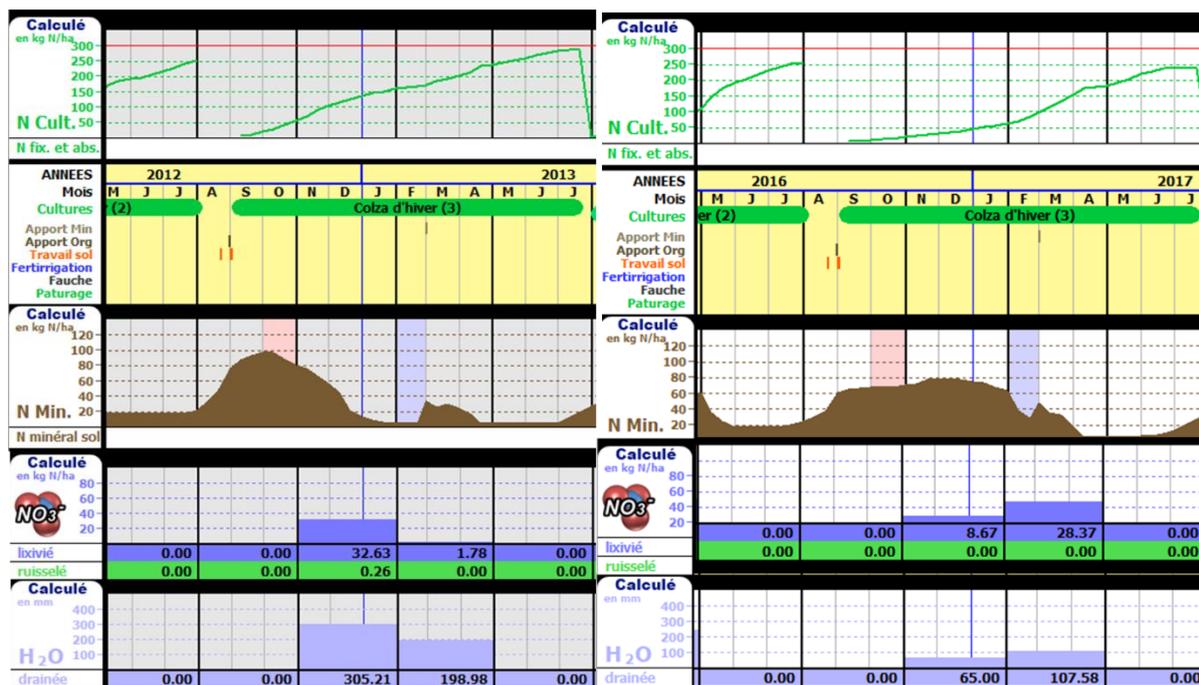


Figure 4 : Extrait des pertes d’azote par lixiviation sous colza en 2012/2013 et 2016/2017.

Les deux colzas de la succession étudiée ont des résultats de lessivage proche, 34 kgN/ha en 2013 et 37 kgN/ha en 2017 (Figure 4). Cependant l’obtention de ce résultat est soumise à des conditions bien différentes. En août 2012, le stock d’azote au semis s’élève autour de 100kgN/ha suite à l’apport de fumier de porcs, le colza valorise bien l’azote apporté en absorbant 50kgN/ha dès le mois d’octobre jusqu’à 150kgN/ha à la fin janvier. Cependant la forte lame drainante de 504 mm entraîne une part non négligeable de l’azote minéral du sol par lessivage. La situation au semis en 2016 est très proche, cependant le colza se développe très peu, sans doute par manque d’eau, et ne valorise pas l’azote apporté au semis. Le stock se maintient jusqu’à fin décembre à 80kgN/ha. La situation est « sauvée » grâce au prolongement de la situation sèche et l’occurrence d’une faible lame drainante de 172 mm. L’arrivée de fortes pluies sur un colza fertilisé qui a mal débuté son développement aurait engendré de très fortes pertes.

- **Variabilité climatique : l’exemple sous céréales d’hiver**

La Figure 5 ci-dessous illustre la variabilité des pertes d’azote par lixiviation sous le blé en raison de la variabilité des pluviométries en automne/hiver.

Le lessivage est de 29kgN/ha sous le blé de 2012 et de 86 kgN/ha sous le blé de 2015 (Figure 5). Les températures particulièrement douces en novembre (+3°C par rapport à la normale) et décembre (+4°C) 2015 sont favorables à une accumulation de l’azote dans le profil réhumecté. Les pluies hivernales n’en sont pas moins importantes puisque la lame drainante totale sur la période s’élève à 509mm d’eau. En 2012, la lame d’eau totale est de 353mm seulement. L’écart observé est dû à la variabilité climatique à la fois de la lame d’eau drainante et des températures. Il est intensifié par le fait qu’on se situe en présence de blé qui ne piège pas activement l’azote à cette période (besoins très faibles).

Le même phénomène est observé sur triticale entre les années 2014 et 2018. Dans les deux cas le couvert court de moutarde joue bien son rôle et abaisse le reliquat à presque rien. La première année la lame drainante est de 985 mm pour 67kgN perdu, la seconde elle s’élève à 441 mm pour 26 kg N perdu. L’azote en jeu à l’automne étant plus faible entre couvert court et triticale qu’entre maïs grain et blé, la variabilité interannuelle du lessivage est moindre sous couvert que sous blé entre une année

très pluvieuse et une année normale. Le fait d'abaisser le reliquat début drainage et l'azote en jeu à l'automne rend le système plus résilient vis-à-vis des aléas climatiques.

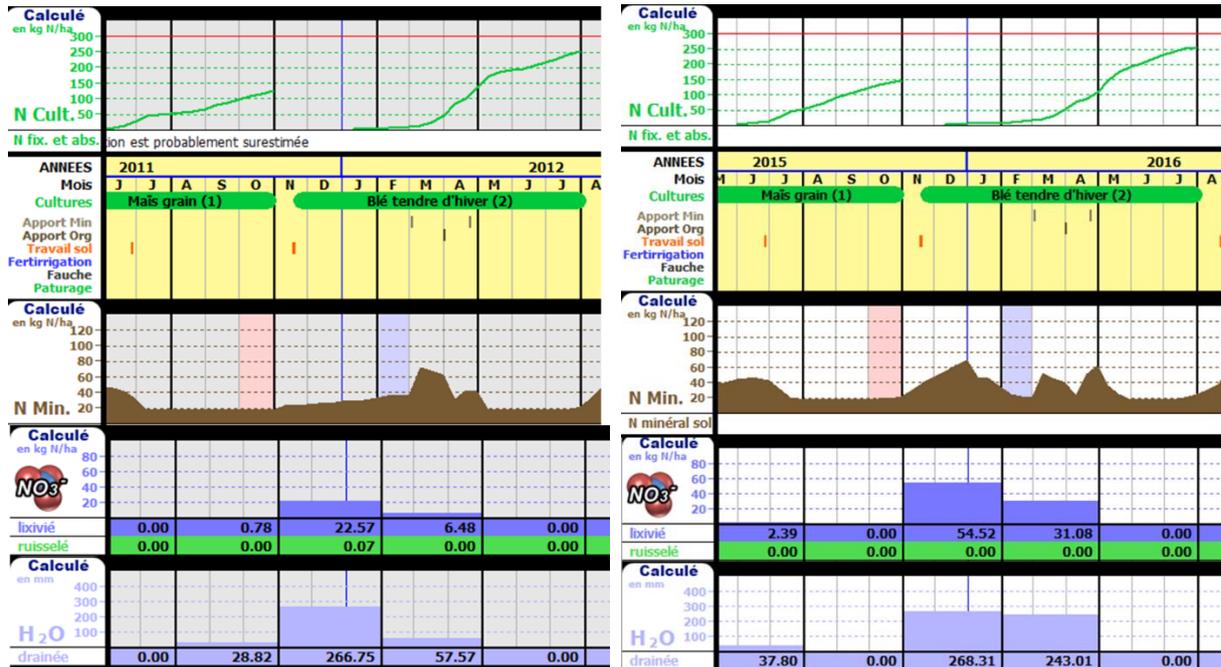


Figure 5 : Extrait des pertes d'azote par lixiviation sous blé en 2011/2012 et 2015/2016.

- Pertes moyenne d'azote par volatilisation

La figure 6 présente les dynamiques des pertes d'azote par volatilisation de 2011 à 2018. Chaque culture est simulée sur 2 années de la série climatique.

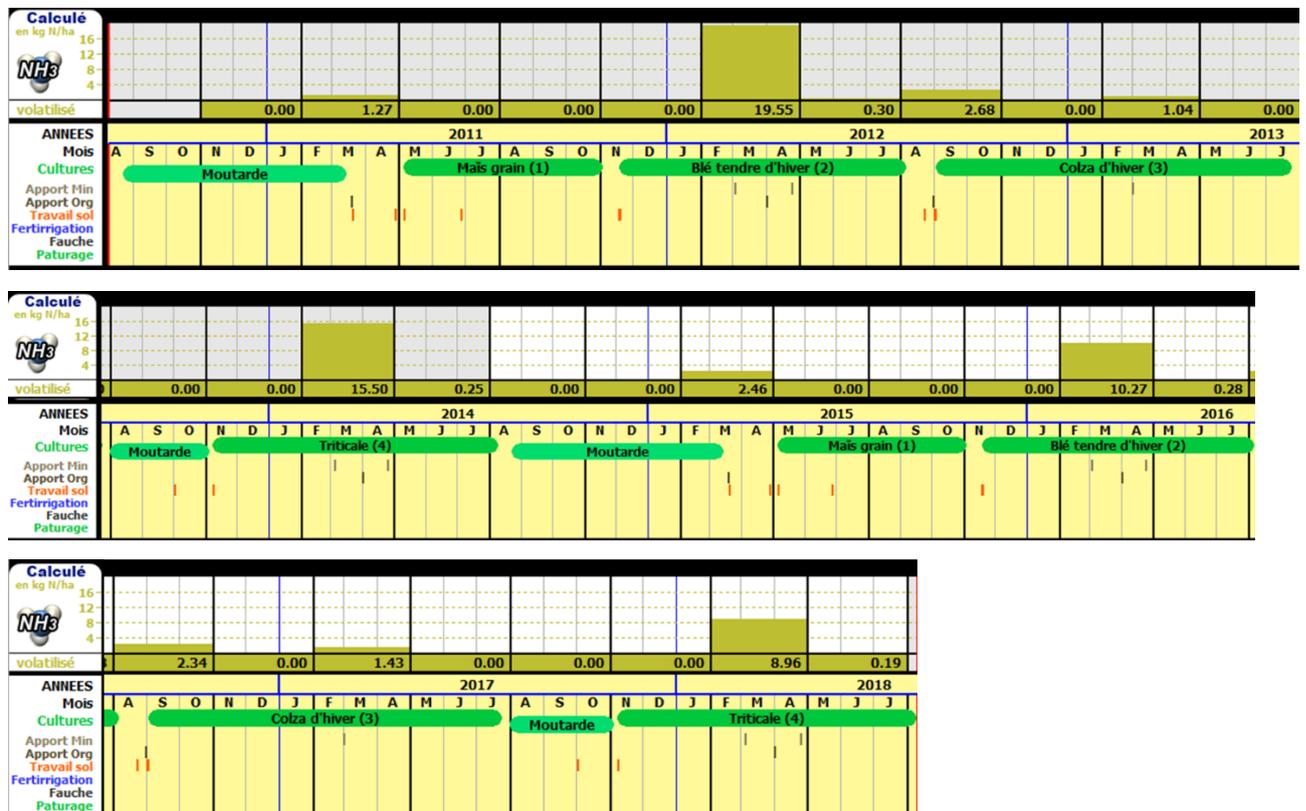


Figure 6 : Dynamique des pertes d'azote par volatilisation simulées de 2010 à 2018.

Les pertes d'azote par volatilisation représentent 6kgN soit 3.3% des apports totaux d'azote. Les pertes faisant suite aux apports de lisier et d'ammonitrate sur blé s'élèvent à 15.2kgN/ha sur blé soit un peu plus de 9% des apports d'azote total sur la culture. Les pertes sur triticale sont de 12.45kgN/ha soit un peu plus de 8.5% de l'azote apporté à la culture sous forme d'ammonitrate. Les pertes liées aux apports de fumier sont plus faibles. Elles sont de 1.9 kgN/ha/an sur maïs soit 7.9% de l'apport d'N-NH4+ et 1% de l'apport total. Elles sont de 2.5kgN/ha sur l'apport de fumier au semis du colza soit 10.4% de l'apport d'N-NH4+ et 1.3% de l'azote total. L'apport d'ammonitrate en sortie hiver sur colza génère 1.2kg de perte par volatilisation.

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

Tableau 6 : Seuils de satisfaction des pertes en nitrates et en ammoniac du cas-type BR2.

	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			
Lixiviation de nitrate > 10 kgN /100 mm de lame d'eau drainante			10.6 kgN lixiviés / 100 mm de lame drainante et 3.3% de l'azote total apporté volatilisé

 Haute performance azotée (HPN)

 Performance azotée partielle

 Basse performance azotée

Le premier objectif de ce système est de ne pas dégrader le lessivage par rapport à une rotation de référence maïs-blé avec lisier de porcs, soit obtenir un lessivage inférieur ou égal à 77kgN/ha. Le second plus ambitieux, est de permettre d'abaisser les flux de 20% à l'échelle d'un bassin versant par rapport à cette situation de référence, soit obtenir un lessivage inférieur ou égal à 62 kgN/ha. Avec un lessivage moyen de 47 kgN/ha, le système remplit ces objectifs.

Ce bon résultat, au regard des 2 premiers objectifs, s'explique par la bonne capacité de piégeage à l'automne 3 années sur 4 au lieu d'une année sur 2 dans le système de référence. Le couvert court entre colza et triticale abaisse le reliquat d'automne à 25kg en moyenne et réduit fortement le risque de lessivage sous céréales d'hiver habituellement très contributrices au lessivage d'un SdC de grandes cultures.

Le système est qualifié de « performance azotée partielle » selon les critères communs au projet. Il n'est pas bon sur le lessivage avec 10.5kgN lixivié/100mm/ha. Il est performant sur la volatilisation ammoniacale avec une perte de 3.3% des apports totaux et ceci grâce au fort apport d'azote organique par le fumier. Pour être qualifié de Système HPN, le système doit économiser 3 kgN lixivié/ha/an, soit 12kgN/ha/rotation. L'implantation précoce des couverts longs est déjà autant que possible soignée mais les conditions climatiques ou de charge de travail ne permettent pas toujours d'intervenir très précocement. Le fumier favorise une minéralisation plus forte à l'automne qui n'est souvent pas maîtrisable. Un point de vigilance et de gain potentiel sur le lessivage porte sur la fertilisation au semis du colza. En effet, la fertilisation avant colza augmente le risque de fuites d'azote en cas de mauvaise implantation ou de mauvais développement de la culture par rapport à une situation non fertilisée. Ces apports de fin d'été sont importants pour la gestion annuelle des effluents vis-à-vis des capacités de stockage, ils ne le sont pourtant que peu pour la culture (sauf pour les apports de soufre). Il faudrait

réfléchir à l'échelle de l'exploitation pour évaluer la faisabilité d'une diminution de dose au semis du colza.

Ce système de culture alimenté par du fumier et du lisier peut être travaillé conjointement avec le même système de cultures recevant du lisier et celui recevant du fumier (BR3 et BR4). Les résultats moyens à l'échelle de la rotation sont très proches seulement les dynamiques ne sont pas identiques. Les pertes sous céréales d'hiver sont plus élevées en système fumier (BR3) ou en système à fertilisation mixte lisier + fumier (BR2) qu'en système lisier (BR4). Ceci s'explique par un plus fort potentiel de minéralisation à l'automne dû à la poursuite de la minéralisation des apports de fumiers de printemps ou d'été. Les pertes sont en revanche plus faibles sous colza en système mixte qu'en système lisier et système fumier. L'azote en jeu à l'automne issu de l'apport de fumier est moindre. On atteint 70 à 95 kg N disponibles maximum, là où en système lisier on atteint les 100 à 110 kgN disponibles dans les autres systèmes. Cette différence d'une dizaine d'unité paraît faible mais elle augmente en tendance le lessivage et ce pour une valeur simulée de 12kg en moyenne sous colza. Le choix du PRO et de la dose apportée en fin d'été n'est pas neutre sur le lessivage. Ainsi en comparant les 3 systèmes, on obtient des résultats illustratifs du lien entre ammonium directement disponible et quantité d'azote lessivé. Pour une dose efficace très proche (mesurée à posteriori et s'étant avérée supérieure à 60uN réglementaire), un apport de dose minérale du PRO supérieure entraîne un lessivage supérieur. Si plusieurs produits sont à disposition, il convient de réserver les produits les moins « minéraux » aux apports de fin d'été, si ce n'est pas le cas et que les capacités de stockage le permettent, un levier de diminution de fuite est la diminution de dose.

Tableau 7 : Comparaison des performances azotées des cas-types BR2, BR3 et BR4.

Apport d'été sur colza (kgN/ha)	Système Lisier (BR4)	Système Fumier (BR3)	Système Mixte (BR2)
Forme de l'apport	Lisier	Fumier	Fumier
Azote total apporté (kgN/ha/an)	106	193	184
Azote NH4+ apporté (kgN/ha/an)	72	40	24
Azote efficace apporté (kgN/ha/an)	68	68	64
Lixiviation N-NO3- (kgN/ha/an)	47	41	35

La plus grande disponibilité d'azote à l'automne grâce à la lente minéralisation du fumier est bénéfique au développement des cultures intermédiaires et donc aux restitutions azotées et carbonées à la parcelle. Ceci représente une dizaine de kg supplémentaires piégés / ha/an par les cultures intermédiaires par rapport au système lisier (BR4).

Grâce à la combinaison de 2 effluents, le système BR2 améliore son autonomie vis-à-vis de la fertilisation minérale. BR2 utilise 50 kgN issus d'engrais minéraux contre 83 kgN en système fumier (BR3) et 65 kgN en système lisier (BR4).

VII. Conclusion

Comme attendu, la maximisation de la couverture des sols à l'automne par la diversification des cultures (introduction de colza) et par l'introduction d'un couvert de courte durée (2-3 mois) permet d'améliorer le risque de lessivage d'azote par rapport à la rotation de référence maïs grain – blé. Les progrès permis par ces leviers sont insuffisants pour être qualifié de HPN. Cependant l'essentiel du chemin à parcourir pour être qualifié de HPN est fait. Des améliorations potentielles ont été identifiées, elles portent la réduction de doses d'apport avant colza qui pourraient permettre une baisse du lessivage. Le système est performant sur la volatilisation ammoniacale avec une perte de 3.3% des apports totaux et ceci grâce à la grande fraction organique des fumiers.