

BR3 – Système céréalier en élevage de porcs sur paille en Bretagne

Intitulé du cas-type	Système céréalier en Bretagne : fumier de porcs – BR3
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, BR2 et 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, zone de précocité tardive, éventuellement à plus faible potentiel que le reste de la région. Le SdC est lié à un élevage de porcs sur paille 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). Le fumier produit sur l’élevage est le seul produit résiduaire organique valorisé, et ce à la quantité maximale permise en respectant l’équilibre en N et P à la parcelle. Il existe peu d’élevage ne disposant que de fumier. 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).

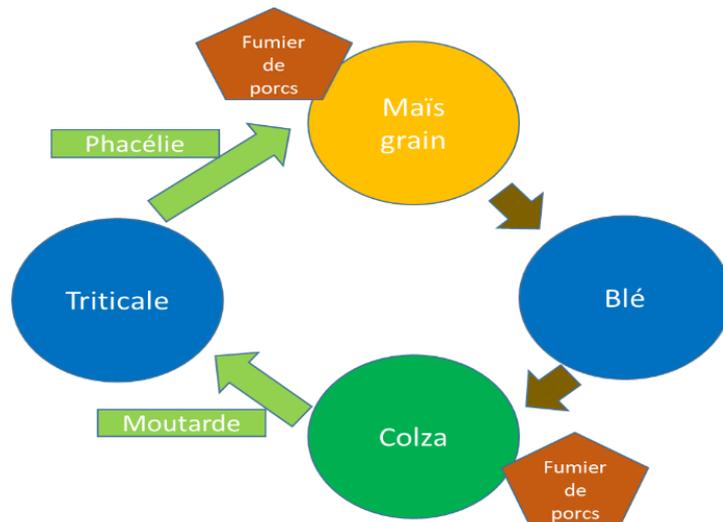


Figure 1 : rotation des cultures

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.

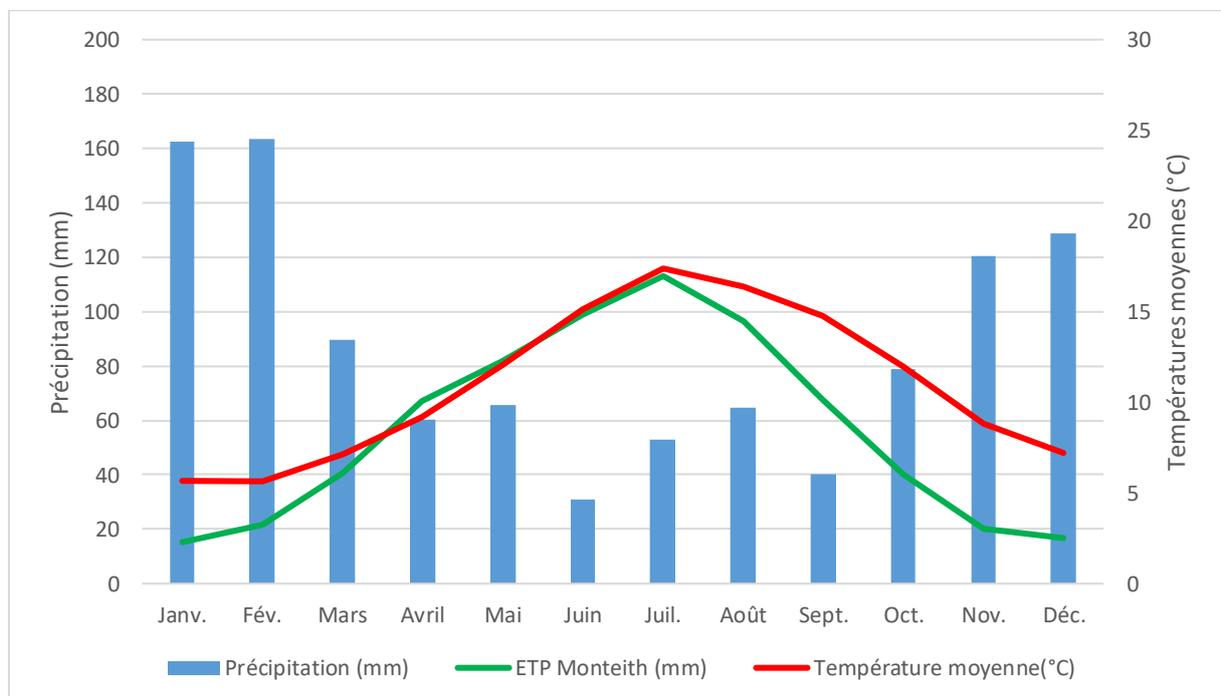


Figure 2 : Données climatiques moyennes (2010-2018) de la station météorologique de Saint Nicolas du Pélem

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 dans 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.	25t/ha de fumier de porcs non composté à 7.6kgN total/t dont 1.6 kgN-NH4+/t à 24.5%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.	Fertilisation minérale de 150uN/ha sous forme d'ammonitrate en 3 apports de 50uN.	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.	25t/ha de fumier de porcs non composté à 7.6kgN total/t dont 1.6 kgN-NH4+/t à 24.5%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.	Fertilisation minérale de 95 à 125uN/ha sous forme d'ammonitrate en 2 à 3 apports de 35, 50 et 35uN.	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 vise à valoriser au mieux les effluents disponibles sur la ferme tout en respectant l'équilibre phosphore à la parcelle. Seules les cultures de maïs et de colza reçoivent du fumier de porcs. Le colza est complémenté en N minéral sous forme d'ammonitrate. Le blé et le triticale sont fertilisés uniquement à base d'ammonitrate en 3 apports.

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. 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-triticale). 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

Un couvert court de moutarde a été inséré entre colza et triticale 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 promulguer 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 triticale sont plus faibles de 5q/ha en moyenne.

Le fumier de porc 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 de cette grille d'interprétation commune à tous les SdC du projet.

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	83
		a2 : Apport: fertilisation organique	95
		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 ⁻)	48
		d4 : Nitrate ruisselé (NO ₃ ⁻)	0
e	Lame d'eau drainante annuelle (mm d'eau/an)		447

Les entrées moyennes d'azote à l'échelle du système de cultures sont de 178 kgN/ha/an. Les entrées issues des engrais organiques représentent 95 kgN/ha/an et celles issues des engrais minéraux représentent 83 kgN/ha/an.

Les cultures intermédiaires restituées immobilisent en moyenne 61 kgN/ha/an et l'azote immobilisé dans les résidus de récolte (restitués) représente 34 kgN/ha/an.

Les sorties moyennes d'azote à l'échelle du système de cultures sont de 188 kg/ha/an issus de l'exportation des grains (123kg) et des pailles du blé et du triticale (65 kg).

Les pertes moyennes à l'échelle du système de cultures sont de 48 kg/ha/an lixiviés, les pertes par volatilisation représentent 6 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)	-10
a - (b+d)	Variation du stock d'azote total dans le sol (kgN/ha/an)	-64
(d3*100)/e	Pertes d'azote par lixiviation pour 100 mm de lame d'eau drainante (kgN/100 mm)	10.7
(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)	48
d2/(a1+a2)	Pertes d'azote sous forme d'ammoniac (NH ₃) en % des apports totaux	3.4

NB : 1 kg N = 4.43 kg NO₃ -

La concentration moyenne en nitrates dans la lame d'eau drainante de 447 mm est de 48 mg NO₃⁻/L. Les pertes d'azote (lixivié et volatilisé) représentent 26.7% des entrées moyennes annuelles d'azote. Les pertes d'azote par lixiviation pour 100 mm d'eau drainée sont de 10.7 kgN/100mm. Le bilan apparent entre les entrées et les sorties d'azote à l'échelle du système de culture est de -10 kgN/ha/an. La prise en compte du lessivage dans les sorties du système dégrade fortement ce bilan, amenant une variation du stock d'azote total de -64kgN/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 56 kgN/ha perdus pendant la période automnale (29 kg perdus en 2011 et 84 kg perdus en 2016). Sous le triticale après un couvert court de moutarde d'août à octobre, le lessivage s'élève à 46.5 kgN/ha sur la période automnale et hivernale (67 kg perdus en 2013 et 26 kg en 2017). Les pertes sous colza sont de 41 kgN/ha. Elles sont de 40kg en moyenne sous couvert long de moutarde utilisé en remplacement de la phacélie non paramétrée dans Syst'N.

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 sont disponibles sous format image pour une meilleure lisibilité et plus grande facilité d'utilisation de ces Figures.

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 BR3 – Système céréalier en élevage de porcs sur paille en Bretagne



Figure 3 : Quantité d'azote lixivié et d'eau drainée au cours de la succession de cultures (2010-2018).

- **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.

Les deux colzas de la succession étudiée ont des résultats de lessivage proche, 40 kgN/ha en 2013 et 42 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 90kgN/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 505mm entraine 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.

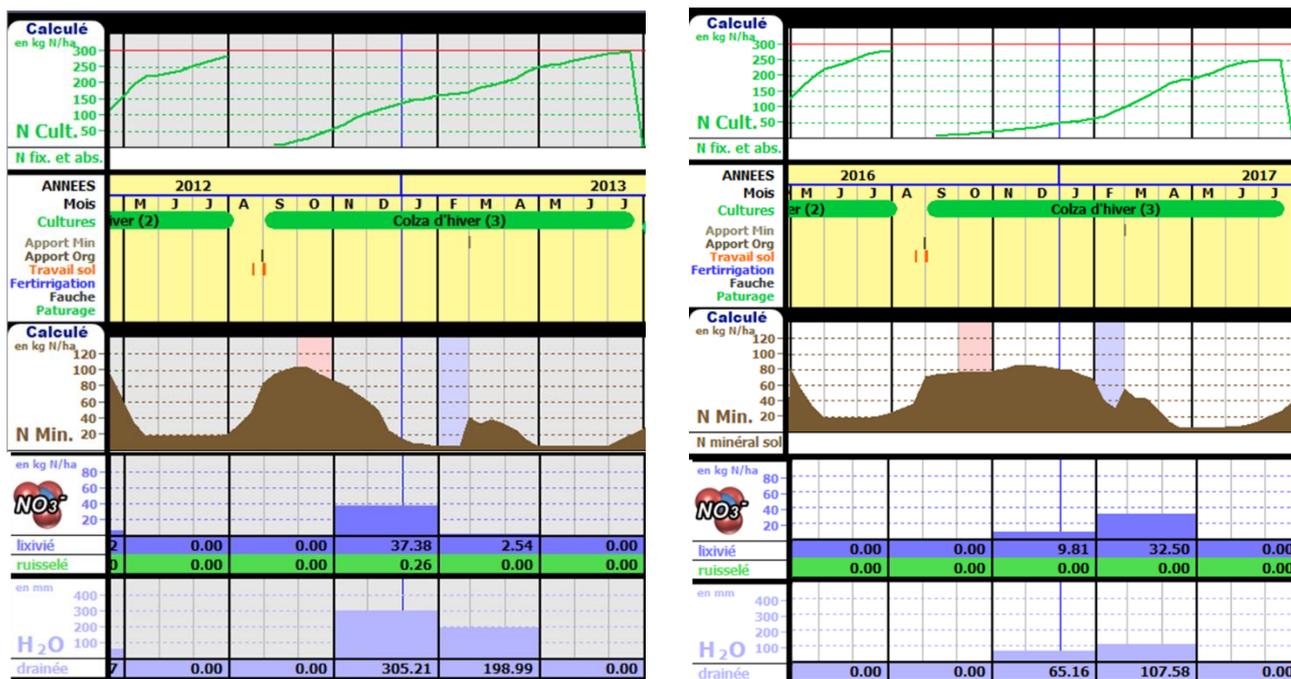


Figure 4 : Extrait des pertes d'azote par lixiviation sous colza en 2012/2013 et 2016/2017.

- 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 84 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 511mm d'eau. En 2012, la lame d'eau totale est de 355mm 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 989 mm pour 67kgN perdus, la seconde elle s'élève à 441 mm pour 26 kg N perdus. 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.

Cas-type BR3 – Système céréalier en élevage de porcs sur paille en Bretagne

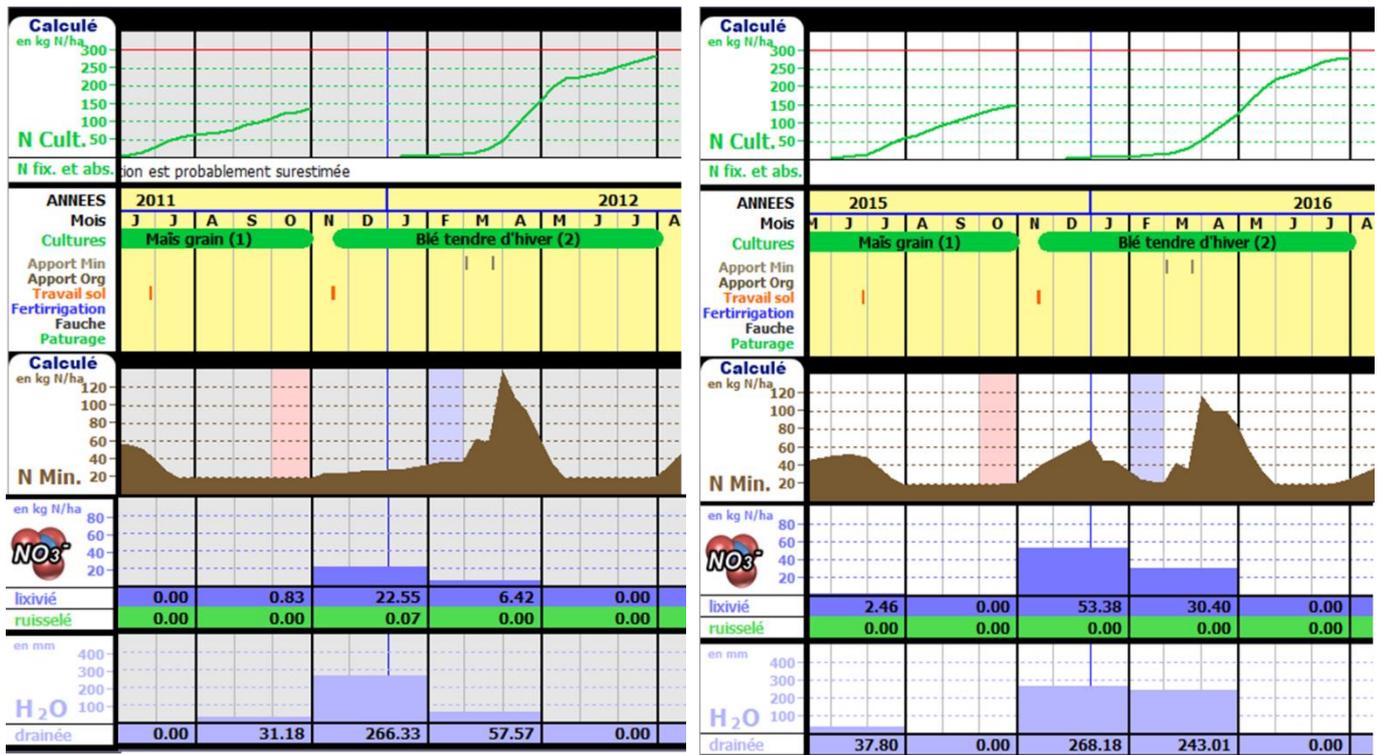


Figure 5 : Extrait des pertes d'azote par lixiviation sous blé en 2011/2012 et 2015/2016.

- 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.

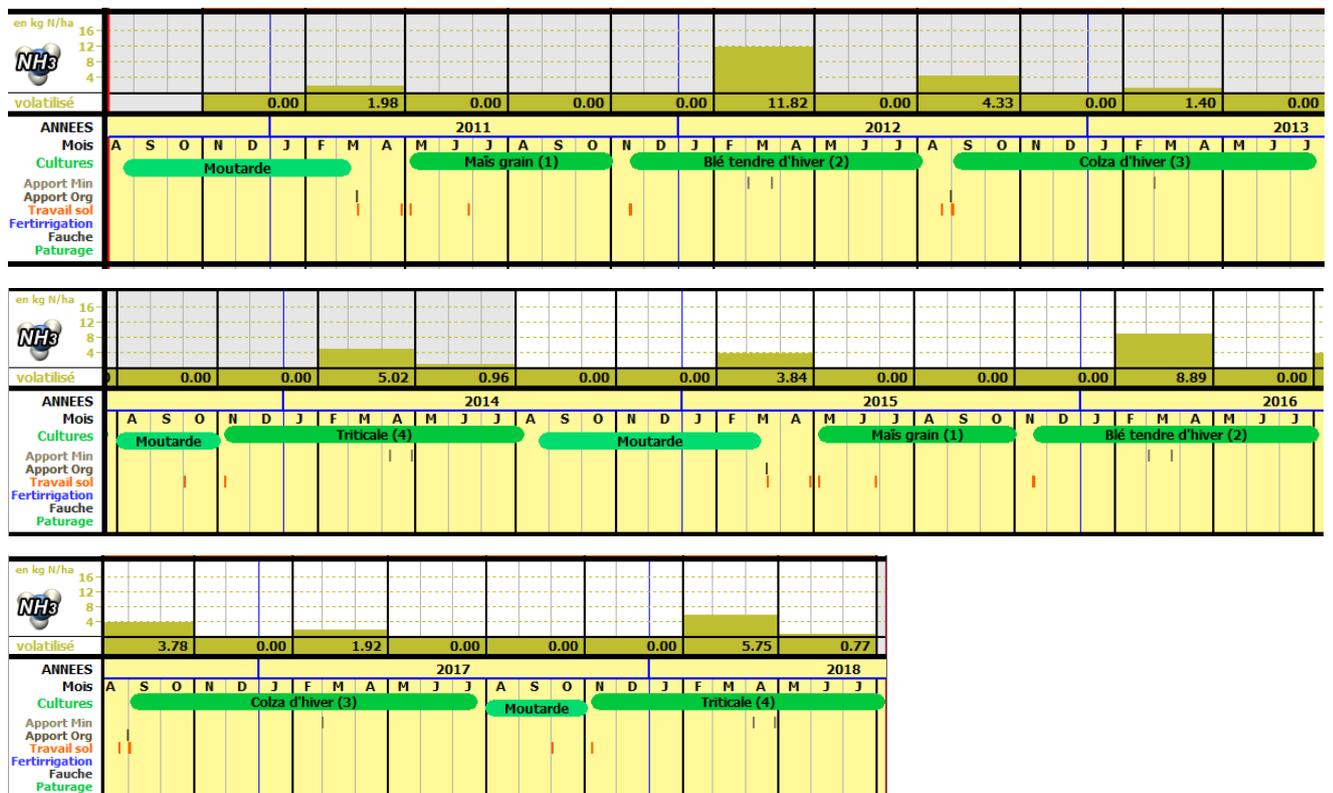


Figure 6 : Dynamique des pertes d'azote par volatilisation simulées de 2010 à 2018.

Les pertes d'azote par volatilisation représentent 6kgN soit 3.3% des apports totaux d'azote. Les pertes sur blé s'élèvent à 10kgN/ha sur blé soit un peu plus de 6% des apports d'ammonitrate sur la culture. Les pertes sur triticales sont de 6kgN/ha soit un peu plus de 5% de l'azote apporté à la culture sous forme d'ammonitrate. Les pertes liées aux apports organiques sont plus faibles. Elles sont de presque 3 kgN/ha/an sur maïs soit 7.5% de l'apport d'N-NH4+ et 1.5% de l'apport total. Elles sont de 4kgN/ha sur colza soit 10.2% de l'apport d'N-NH4+ et 2% de l'azote total.

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 BR3.

	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			10.7 kgN lixiviés / 100 mm de lame drainante et 3.5% 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 46 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 triticales abaisse le reliquat d'automne à 20kg 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 10.7kgN lixiviés/100mm/ha. Il est performant sur la volatilisation ammoniacale avec une perte de 3.5% des apports totaux et ceci grâce au fort apport d'azote organique par le fumier et à l'enfouissement de cet apport organique.

Pour être qualifié de Système HPN, le système doit économiser 2 kgN lixivié /ha/an, soit 8kgN/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 peut être travaillé conjointement avec le même système de cultures recevant du lisier et celui recevant à la fois du lisier et du fumier (BR2 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 qu'en système lisier. 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 puisque l'azote en jeu à l'automne issu de l'apport de fumier est moindre. On atteint 80 à 100 kg N disponible maximum, là où en système lisier on atteint les 100 à 110 kgN disponible. Cette différence d'une dizaine d'unité paraît faible mais elle augmente en tendance le lessivage et ce pour une valeur simulée de 6 kg en moyenne sous colza.

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 11 kgN supplémentaires piégés / ha/an par les cultures intermédiaires par rapport au système lisier.

On remarquera que le système augmente sa dépendance aux engrais minéraux (83kg/ha/an) par rapport au système lisier (65kgN/ha/an) puisque les apports de fumier sont impossibles sur céréales d'hiver.

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 régionale 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 sur 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 3.5% des apports totaux et ceci grâce au fort apport d'azote organique par le fumier qui sont enfouis.