

CVL1 – Système céréalier raisonné non irrigué en région Centre-Val-de-Loire (Beauce)

Intitulé du cas-type	Système de grande culture raisonné en Beauce – CVL1
Localisation	Département d'Eure-et-Loir – Ferme de La Saussaye
Type de sol	Limon argileux profond sur calcaire
Type de climat	Série climatique 2010-2018
Rotation	Colza – blé tendre – Orge de printemps – Pois de printemps – Blé dur
Pratiqué ou prototype	Pratiqué
N° Cas-types comparables	CVL2
Contact	Lucille Guillomo, Ferme de La Saussaye

I. Contexte

a. Localisation et présentation des principaux enjeux et objectifs du SdC

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

La région administrative du cas-type présenté est la Région centre-Val de Loire. Il se situe plus précisément en Eure-et-Loir, département fortement céréalier et occupé au ¾ par l'agriculture. Le système le plus couramment rencontré dans ce département est le colza/blé tendre/escourgeon, même si dans les systèmes irrigués, la rotation est souvent plus diversifiée avec du maïs, des cultures industrielles (pomme de terre, oignons...) ou des portes-graines. Les spécificités pédologiques de l'Eure-et-Loir permettent de distinguer 4 petites régions agricoles ayant développé des systèmes de cultures spécifiques. Le cas-type étudié correspond aux spécificités de la Beauce Chartraine.

Le contexte environnemental et réglementaire est marqué par la directive nitrates (la totalité du département) et environ ¼ du territoire est concerné par les ZAR (Zone d'Action Renforcée) pour protéger les AAC (Aire d'Alimentation de Captage).

ii. Le système de culture présenté

Le SdC étudié est localisé en Eure-et-Loir (28) au sein de la petite région agricole Beauce Chartraine. Tout le département est classé en « zone vulnérable nitrates ». Le SdC choisit doit donc répondre à la réglementation de la directive nitrates (obligation de couverts...).

- La fréquence de ce cas type reste faible sur la zone agricole concernée. Il est issu du Sdc classique mais modifié avec l'introduction de cultures de printemps malgré l'absence d'irrigation. L'orge de printemps et le pois de printemps ont été introduits pour limiter l'enherbement des graminées d'automne (ray grass et vulpins). Ce système est émergent et se rencontre chez les agriculteurs soucieux de gérer les adventices par le levier de la rotation.
- Le type d'exploitation dans lequel on peut le rencontrer correspond à un système non irrigué dont l'exploitant poursuit une réflexion sur la durabilité de sa stratégie de désherbage.
- Les objectifs recherchés sont de maintenir les marges tout en limitant le recours aux intrants (engrais et produits phytosanitaires) et également de protéger la qualité de l'eau.
- Les principaux leviers mobilisés à l'échelle du SdC pour atteindre ces objectifs sont :

La diversification des cultures par l'introduction de légumineuses / La rupture des cycles des adventices par l'introduction de cultures de printemps / Le choix de couverts végétaux pour répondre au double objectif réglementaire vis-à-vis des CIPAN mais aussi pour éviter un « salissement » des parcelles sur cette période d'interculture longue / Une alternance dans les pratiques de travail du sol : labour ou sans labour.

Le SdC est étudié sur l'exploitation agricole de la Saussaye (140 ha) au sein de l'EPL de Chartres dans le cadre d'essai système.

Les sources d'azote du SdC sont :

- Des fabacées (légumineuses) sont présentes en productions principales (pois protéagineux) mais pas en cultures intermédiaires (ni en association, ni en plantes compagnes).
- Aucun apport organique
- Des apports d'azote minéral, essentiellement sous forme de solution azotée 390 et sous forme ammonitrate 33.5

b. Climat

i. Pluviométrie : mensuelle

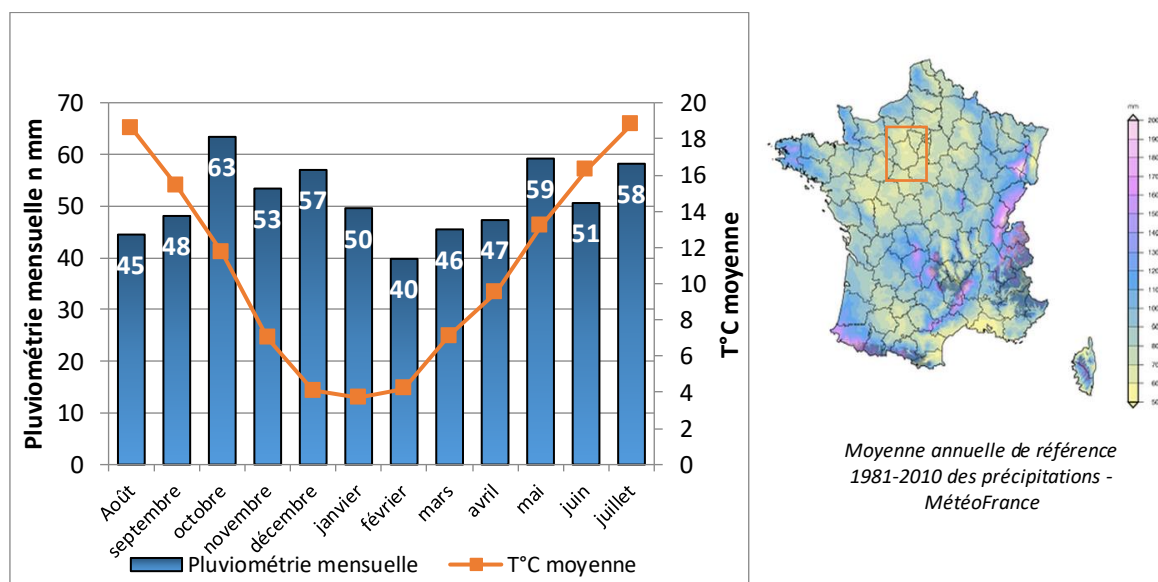


Figure 1 : précipitations et températures mensuelles à Chartres (normales 1981-2010).

Le climat chartrain est de type océanique dégradé, avec des précipitations normalement réparties tout au long de l'année. On dit généralement « à Chartres il pleut 50 mm tous les mois ». Cependant on observe depuis plusieurs années un changement du régime de précipitations avec une augmentation des précipitations durant l'automne-hiver et une augmentation des périodes sèches au printemps (avril) et durant les mois d'été (juillet à septembre). La pluviométrie totale (600 mm / an) reste globalement stable.

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

Limons argileux profonds à moyennement profonds (80 – 90 cm) sur calcaire de Beauce. Réserve utile de 150 - 200 mm.

Tableau 1 : principales caractéristiques du sol

Profondeur (cm)	Argile (%)	Limons (%)	Sables (%)	Densité apparente	Cailloux (%)	Norg (%)	MO (%)	C/N	pH _{eau}
30	25.6	62.2	9.2	1.3	0	0.13	2.18	9.2	6.9
30	28	63.1	8.9	1.5	0				
20 à 30	35.0	55.1	9.9	1.6	0				

II. Le système de culture

Tableau 2 : itinéraire technique de chaque culture et couverts végétaux de la rotation

Cultures	Implantation et travail du sol	Stratégie de fertilisation	Récolte (date, destruction et gestion des couverts) et niveau de rendement
Colza	Fin août après plusieurs passages mécaniques superficiels (5-15 cm – outils à dents ou à disques).	Fertilisation basée sur une mesure des reliquats sortie hiver, du pilotage du dernier apport selon la méthode des bilans.	Fin juillet. Rendement : 35 q/ha
Blé tendre d'hiver	A partir de mi-octobre après passages de déchaumeur	Solution azotée 390 + ammonitrate (dernier apport) Ferti Colza : 50 uN Sol39 20 février 80 uN Sol39 15 mars 50 uN Ammo 1 ^{er} avril Ferti blé tendre : 45 uN Sol39 5 mars + 80 uN Sol 39 25 mars + 40 uN Ammo 30 avril.	Fin juillet Rendement : 82 q/ha
CIPAN : mélange crucifères-légumineuses	Fin août/début septembre après passages de déchaumeur		Destruction par labour fin novembre/début décembre
Orge de printemps	Début mars après labour d'hiver (fin novembre)	Idem Ferti : 90 uN Sol 39 20 avril	Mi-juillet. Rendement : 65 q/ha
CIPAN : avoine brésilienne	Fin août après un ou deux passages de déchaumeur		Destruction par labour fin novembre/début décembre ;
Pois de printemps	Début mars après labour d'hiver (fin novembre)		Mi à Fin juillet. Rendement : 35 q/ha
Blé dur	A partir de début novembre après passages de déchaumeur	Idem 40 uN Sol 39 1 ^{er} mars 80 uN Sol 39 20 mars 40 uN Ammo 25 avril 40 uN Ammo 5 mai	Fin juillet Rendement : 62 q/ha

Ce système de cultures est conduit sans labour (Techniques Culturelles Sans Labour – TCSL) sauf avant les cultures de printemps (labour).

L'objectif de ce SdC est de produire dans un contexte non irrigué tout en ayant recours aux intrants de manière justifiée (conduite raisonnée) selon les observations ou les alertes données par le BSV (Bulletin de Santé des Végétaux), avertissement issu de la Chambre d'Agriculture ou observations réalisés dans la parcelle.

Ce SdC est basé sur une combinaison de cultures d'hiver avec deux cultures de printemps, ce qui permet de bien gérer le développement des adventices (surtout graminées : ray grass anglais et

vulpins). Les adventices sont également contrôlées par le recours à du travail du sol superficiel avec des outils à disques ou à dents en interculture (faux semis) mais sans usage de désherbage mécanique en culture.

Au niveau fertilisation azotée, les leviers agronomiques mobilisés dans ce système de cultures visent une conduite raisonnée selon les conseils donnés par la Chambre d'Agriculture (fertimieux) ainsi que l'application « réglementaire » de la couverture des sols en interculture. L'usage des engrais minéraux se raisonne économiquement : la solution azotée 390 a un coût moindre par unité d'azote et l'ammonitrate est réservé pour les doses plus faibles en fin de cycle, pour éviter de brûler les feuilles et aussi dans les périodes plus sèches afin d'éviter de la volatilisation.

Au niveau protection des cultures, des leviers sont également utilisés pour limiter l'usage des produits phytosanitaires : variétés tolérantes, décalage de date de semis (blé tendre) pour limiter l'enherbement à l'automne.

L'objectif principal des couverts végétaux est de piéger les reliquats d'azote post récolte et éventuellement leur effet concurrentiel vis-à-vis des adventices. La réussite de ces couverts est très aléatoire selon les pluies d'août. De ce fait, les espèces sont choisies sur les critères coût et capacité à s'implanter dans des conditions sèches. Ils sont détruits par labour fin novembre/début décembre.

Le rendement des cultures est dans la moyenne des références régionales. La variabilité des rendements est plus importante pour les cultures de printemps (pois et orge) car la productivité dépend principalement des conditions climatiques de printemps (pluviométrie).

III. Résultats attendus en termes de pertes d'azote

Dans le cadre du projet AgroecoSyst'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 selon ces seuils un système à moins de 10 kgN pour 100 mm d'eau drainée et moins de 10 % de pertes par volatilisation pour 100 kgN/ha apportés. Ces seuils ont été déterminés vis-à-vis de la qualité de l'eau pour les pertes en nitrates et vis-à-vis de la qualité de l'air pour les pertes en ammoniac.

Cependant, dans le contexte de production de la ferme de la Saussaye nous visons des pertes d'azote par volatilisation comprises entre 5 et 10% et des pertes d'azote par lixiviation comprises entre 5 et 10 kgN/100 mm d'eau drainée.

Tableau 3 : Seuils de satisfaction des pertes en nitrate 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		Notre objectif	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 depuis 2009 dans le cadre d’une expérimentation systèmes de cultures sur l’exploitation agricole du lycée de Chartres - la Saussaye. Des mesures de rendements sont réalisées chaque année. Des suivis réguliers de reliquats azotés (0-90 cm) sont réalisés à différentes périodes de l’année (post récolte, entrée d’hiver et sortie d’hiver).

Les simulations présentées ont été réalisées avec les données climatiques de la période 2010-2017 de la station climatique présente sur l’exploitation (données normales présentées dans le contexte de l’étude). Pour cette simulation, des données de biomasse végétale et de reliquat permettaient d’évaluer la fiabilité du modèle et d’éventuellement ajuster certains paramétrages, notamment :

- Blocage du sol à 90cm : si le sol est trop profond, il ne lessive jamais.
- La minéralisation et l’absorption par les cultures semblent correspondre. Des recalages sont faits dans les situations de mauvaise implantation du colza ou des couverts : décalage de la date de semis voire suppression du couvert.
- Sous pois printemps, le modèle semble sous-estimer la fixation d’N.
- Malgré la suppression des repousses, le modèle semble sous-estimer le relargage après colza.
- Le choix de la CIPAN est par défaut « ray-grass et moutarde » car les possibilités sont limitées par le logiciel.

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	128
		a2 : Apport: fertilisation organique	0
		a3 : Fixation biologique d'azote	8
b	Sorties d'azote (kgN/ha/an)	b1 : Exportation par les récoltes	149
		b2 : Exportation par les résidus de cultures exportés de la parcelle	69
c	Minéralisation de l'azote du sol et des résidus de culture (kgN/ha/an)		95
d	Pertes d'azote moyennes annuelles (kgN/ha/an)	d1 : Protoxyde d'azote (N ₂ O)	0.2
		d2 : Ammoniac (NH ₃)	12
		d3 : Nitrate lessivé (NO ₃ ⁻)	19
		d4 : Nitrate ruisselé (NO ₃ ⁻)	0
e	Lame d'eau drainante annuelle (mm d'eau/an)		131

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)	-82
a - (b+d)	Variation du stock d'azote total dans le sol (kgN/ha/an)	-113
(d3*100)/e	Pertes d’azote par lixiviation pour 100 mm de lame d'eau drainante (kgN/100 mm)	14.5

(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)	64
d2/(a1+a2)	Pertes d'azote sous forme d'ammoniac (NH ₃) en % des apports totaux	9.3

La concentration moyenne en nitrates dans la lame d'eau drainante de 131 mm est de 64 mgNO₃⁻/L. Les pertes d'azote (lixivié et volatilisé) représentent 23 % des entrées moyennes annuelles d'azote par les engrais minéraux et la fixation biologique de l'azote (légumineuses). Les pertes d'azote par lixiviation pour 100 mm d'eau drainée sont de 14,5 kgN/ha pour 100 mm d'eau drainée.

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

La Figure 2 ci-dessous présente les dynamiques des pertes moyennes d'azote par lixiviation et volatilisation. Les pertes indiquées sont des moyennes calculées pour chaque culture pour les années climatiques sur lesquelles la culture (ou le couvert) concernée est présente. Elle permet de repérer les grandes périodes de pertes d'azote par lixiviation et volatilisation ainsi que les quantités moyennes calculées par trimestre.

Afin de comprendre les déterminants de ces pertes, la Figure 3 présente les dynamiques d'azote minéral mobilisé au sein de la biomasse des cultures et couverts végétaux et de l'azote minéral dans le profil de sol (0-90 cm).

A partir de l'analyse des Figure 3 et 4 nous constatons que le lessivage hivernal est de plus de 15 kgN/ha sur février-mars devant les cultures de printemps, ce qui est cohérent avec les mesures et observations locales. Les couverts d'interculture de type CIPAN sont semées tard, elles ne permettent pas une bonne absorption de l'azote minéral du sol pendant l'automne (voir leur faible absorption d'azote dans la Figure 4).

Les périodes de lixiviation les plus importantes (36 kgN/ha de novembre à avril) se situent sous blé dur qui est précédé par une culture de pois. Ce résultat est cohérent avec ce qu'on observe en réalité : un précédent de la famille des légumineuses récolté tôt et dont les résidus se minéralisent rapidement (riches en azote) et viennent enrichir la concentration du sol en azote minéral. La culture suivante (blé dur) est un « suivant » avec semis tardif et qui a une faible absorption automnale d'azote (besoins en azote faible en automne-hiver). L'azote minéral du sol qui s'accumule dans le profil de sol n'est donc pas immobilisé par la culture et sur une année à fort potentiel de lessivage (pluviométrie élevée), les pertes sont donc importantes.

On observe également des pertes sous blé précédent colza de 19 kgN/ha (de novembre à avril). Le colza est une culture qui laisse un fort reliquat après la récolte et dont les résidus de culture peuvent se minéraliser rapidement (riches en azote). Le blé tendre, semé fin octobre, n'est pas en mesure de piéger cet azote à l'automne (faible besoin au cours de cette période). Nous avons les mêmes facteurs réunis que sous le blé dur précédé d'un pois (mais situation moins riche en azote que derrière une culture de pois).

Les pertes sous forme ammoniacales (NH₃) par volatilisation sont relativement importantes (environ 12 kg/ha/an en moyenne). Ces pertes sont essentiellement dues à la forme d'apport des engrais sous forme minérale.

[illegible]

Calculé en kg N/ha

N Cule

N fix. et al

— Attention, au delà de ce seuil, l'absorption est probablement surestimée

ANNEES

Mois

Cultures

Colza d'hiver (1)

Blé tendre d'hiver (2)

Moutarde

Orge de printemps

Ray Grass

Pois protéagineux

Blé dur d'hiver (5)

Travail sol

Irrigation

Fertilisation

Pâturage

Calculé en kg N/ha

N Min

N minéral

Relquat avant drainage (octobre) / Relquat sortie hiver (février)

Figure 4 : Dynamiques de l'absorption de l'azote par les cultures et couverts végétaux et dynamiques de l'azote minéral du sol simulés sur une rotation complète de 2005 à 2010.

7

VI. Diagnostic des performances azotées et discussion des résultats
--

Tableau 6 : Seuils de satisfaction des pertes en nitrates et en ammoniac du cas-type CVL1

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			
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		14.5 kgN lixivié / 100 mm de lame drainante et 9 % de l'azote total apporté volatilisé	

Ces résultats montrent que le raisonnement de la fertilisation azotée (« fertimieux ») ainsi que l'application « réglementaire » de la couverture des sols en période d'interculture permet d'atteindre des niveaux de pertes moyennes proches de l'objectif. Lors d'année à risque faible vis-à-vis des pertes d'azote par lixiviation (automne-hiver peu pluvieux) la quantité d'azote minéral perdue par lixiviation est de 6 kgN/100 mm d'eau drainante.

Les pratiques de raisonnement de la fertilisation, ainsi que la succession des cultures limitent le risque de lessivage, mais ces pratiques ne sont pas suffisantes en années à automne/hiver pluvieux. Afin de limiter l'impact sur la ressource en eau, il est important d'adapter nos pratiques.

Plusieurs pistes d'amélioration sont à explorer, pour sécuriser les moments à risque dans la rotation :

- ➔ Interculture longue : Semer des couverts dès début août pour favoriser leur développement et le piégeage d'azote.
- ➔ Interculture Pois-Blé dur :
 - Favoriser les repousses de légumineuses ?
 - Semer une interculture courte pour piéger l'azote dans cette interculture à risque ?
 - Modifier la rotation pour avoir une culture suivante avec plus d'absorption (ex pois-colza)

Ces pistes restent à évaluer sur le terrain, car l'interculture avant le blé dur – semée début novembre – est dédiée à la répétition de faux-semis essentiels pour diminuer la pression de vulpins à l'automne.

- ➔ Blé de colza : Une piste déjà explorée dans le dispositif est de maintenir des repousses de colza fortement développées et homogènes sur les parcelles. Le maintien des repousses permet de limiter les pertes en dessous du seuil de satisfaction. La destruction de ces repousses a lieu début septembre afin de réaliser des faux-semis, levier important pour la gestion des adventices dans le blé tendre.

Le système expérimenté a des objectifs forts de réduction d'intrants phytosanitaires et de protection de la ressource en eau souterraine. Même si les pertes ammoniacales ne font pas partie des objectifs premiers de la rotation, il est intéressant de noter que les pertes se situent dans la tranche 5 à 10% des apports, ce qui est satisfaisant par rapport à nos attentes.

Une part importante des apports est réalisée en solution azotée, forme qui est plus à risque vis-à-vis de la volatilisation. Une marge de progrès sur les pertes ammoniacales est donc possible à mettre en œuvre en modifiant la forme d'apport en ammonitrate par exemple. Une simulation dans Syst'N®

permet d'évaluer qu'une modification de forme d'apport entraînerait une diminution de moitié de la volatilisation NH₃ sur ce système.

En prenant en compte ces pertes, le surcoût de l'ammonitrate 33.5 est tout de même de 35% environ pour 100 kgN/ha apportées, ce qui n'est pas négligeable. Les conditions du premier apport étant dans nos conditions climatiques favorables à une bonne valorisation, la solution azotée pourrait être conservée pour cet apport. En revanche, les conditions sont nettement plus aléatoires pour les apports suivants, où le risque de pertes est d'autant plus important. Dans ce cas une modification de la forme d'apport serait souhaitable.

Enfin, il serait intéressant de prendre en compte les émissions de N₂O liées aux apports minéraux et à la dégradation des Fabacées.

VII. Conclusion

Le système de culture est satisfaisant au niveau des pertes ammoniacales. Une marge de progrès est toutefois possible en modifiant la forme de l'engrais minéral apporté. La volatilisation est diminuée par deux si les apports faits en solution azotée sont remplacés par de l'ammonitrate.

Le système de culture expérimenté n'est pas performant du point de vue des pertes de nitrates, notamment lors d'années climatiques favorables à un fort lessivage automnal et hivernal (14 kgN/100 mm de lame drainante dans ce cas-type). Des années à automne moins favorables, les pertes passent en dessous du seuil de 10 kgN/100 mm de lame d'eau drainante.

Plusieurs pistes de progrès sont envisagées pour sécuriser les périodes d'intercultures à risque : semis plus précoce des couverts d'interculture longue, couverts d'interculture courte derrière la culture du pois de printemps, maintien des repousses de colza au-delà de la limite réglementaire. Ces évolutions de pratiques seront toutefois à évaluer au regard des autres objectifs du système de culture, pour notamment évaluer les incompatibilités avec les pratiques de gestion des adventices.