

Synthèse des essais régionaux CIVE

Les projets de méthanisation se développent sur la région Centre-Val de Loire. La plupart des porteurs de projet réfléchissent leur gisement autour des Cultures Intermédiaires à Vocation Energétique (CIVE), et en particulier les agriculteurs céréaliers. Le choix de la culture et de sa conduite doit répondre à des objectifs de production pour alimenter le digesteur mais aussi de rentabilité économique pour l'exploitation agricole.

Campagne 2024-2025

SOMMAIRE	
Calcul des rendements nets	2
Courbe de réponse en azote minéral	4
Efficience des apports de printemps de digestat et d'engrais minéral	5
Impact des apports d'automne sur le potentiel de pertes nitriques	7
Efficience des apports de digestats à l'automne	8
Impact de l'association avec le radis	9

Trois essais sur la fertilisation azotée des Cultures Intermédiaires à Vocation Energétique (CIVE) ont été mis en place pour la campagne 2024-2025 dans la région Centre Val-de-Loire. Ces essais font suite à plusieurs années d'étude relatives à la fertilisation azotée des CIVE. Les objectifs de ces 3 essais sont les suivants :

- Consolider les références nécessaires au calcul de doses sur CIVE avec la mise en place de courbes de réponse à l'azote minéral (essais du 28 et du 45).
- Mieux estimer l'azote réellement disponible pour la CIVE avec des apports de digestats réalisés à l'automne et au printemps.
- Evaluer l'impact environnemental de ces apports, notamment sur les enjeux nitrates (eau).
- Tester l'efficience d'un semis de radis en association avec la céréale pour piéger l'azote mis à disposition par les apports de digestats à l'automne et éventuellement le restituer au printemps (essais du 18 et du 45).

Tableau 1 - Présentation des 3 essais

Localisation	18 Vornay	28 Tremblay-les- Villages	45 Douchy
Type de sol	ACS Argilo-calcaire superficiel	Limon sain profond	LAX Limon argileux caillouteux
Précédent	Blé dur pailles enfouies	Blé tendre pailles enfouies	Blé tendre
Espèce semée	Mélange triticale/orge/féverole	Orge d'hiver	Seigle
Date de semis	14/10	05/10	26/09
Date semis radis	03/09	/	27/09
Date de destruction radis	30/10 20/11	/	Non détruit
Objectif de rendement	9 T MS	11 T MS	9 T MS
Dose conseil (sans digestat automne)	116 u	80 u	99 u
Date de récolte	29/04	15/05	29/04
Moyenne de l'essai	6.9 T MS	10.9 T MS	Sans radis : 4.6 T MS Avec radis : 6.0 T MS
Précision de l'essai	ETR : 0.9 CV : 13.5	ETR : 0.9 CV : 8.7	Sans radis : ETR : 0.8 CV : 16.5 Avec radis : ETR : 1.3 CV : 22

Les essais situés dans le 18 et le 45 sont réalisés sur des parcelles en sol plutôt superficiels. Les rendements obtenus sont faibles, ce qui est lié en partie à des dates d'ensilage précoce (fin avril). L'objectif de rendement de 9 t n'est pas atteint dans les deux essais.

L'essai du 28 bénéficie à la fois d'un sol profond sans cailloux et d'une date d'ensilage plus tardive (mi-mai), ce qui explique les niveaux de rendement plus élevés, conformes aux objectifs de rendement.

Les essais présentent une précision faible à très faible, avec des coefficients de variation élevés (allant de 8.7 à 22).

Baser l'évaluation du rendement sur des récoltes manuelles de bottillons limite forcément la précision de ce type d'essai. De plus, travailler sur des engrais organiques induit également de l'hétérogénéité.

Dans ces conditions, peu de différences statistiques peuvent être mises en évidence, en particulier dans les essais du 18 et du 45. La lecture « brute » des résultats et la pertinence d'éventuelles différences de rendement entre modalités doivent être prises avec précaution.

CALCUL DES RENDEMENTS NETS

Les rendements nets permettent de prendre en compte le coût des unités d'azote apportées et des modes d'épandage qui varient entre produits.

Nous présenterons ces résultats en parallèle aux rendements bruts récolte afin d'évaluer l'intérêt technico-économique des différents itinéraires techniques.

Les prix utilisés pour le calcul des rendements nets sont les suivants :

- Prix d'une tonne de CIVE : 100 €
- Prix d'une unité en solution : 0.97 €
- Prix d'une unité en ammonitrate : 1.19 €
- Prix d'un épandage en solution : 12 € /ha
- Prix d'un épandage en ammonitrate : 5 € /ha
- Prix d'un épandage d'un m³ de digestat : 7.5 € /ha.

Tableau 1 - Apports d'azote réalisés sur les 3 essais.
Les apports pour l'essai du 45 sont donnés pour les blocs sans radis

	Période	Automne*	Sortie hiver		Première quinzaine de mars	
	Type d'apport	Digestat	Digestat**	Apport minéral	Digestat	Apport minéral
18	Témoin sans azote					
	X minéral – Digestat automne	70 kg N 12.6 m ³		30 u		70 u
	X minéral – Digestat automne - Radis	70 kg N 12.6 m ³		30 u		70 u
	X			116 u		
	X digestat printemps fractionné		65 11.7 m ³		51 u 9.2 m ³	
	X digestat printemps		116 20.9 m ³			
	X mixte printemps		65 11.7 m ³			51 u
	X fractionné			65 u		51 u
28	Témoin sans azote					
	X - 40					40 u
	X					80 u
	X + 40					120 u
	X + 70					150 u
	Digestat automne	70 kg N 15.9 t				
	X minéral - Digestat automne	70 kg N 15.9 t				80 u
	X digestat printemps				74 u 26 t	
	X mixte printemps				37 u 13 t	40 u
	X mixte printemps 2				74 u 26 t	80 u
45	Témoin sans azote					
	X minéral - Digestat automne	70 kg N 11.9 m ³				92 u
	X minéral - Digestat automne 2	35 kg N 5.9 m ³				97 u
	X-40					59 u
	X					99 u
	X+40					139 u
	X digestat printemps				99 u 20.8 m ³	
	X mixte printemps				66 u 13.9 m ³	33 u

* Apport de digestat à l'automne : 07/10 pour le 45, 16/10 pour le 28 et 25/10 pour le 18

** Apport de digestat au printemps : 11/02 pour le 18, 05/03 pour le 45 et 06/03 pour le 28.





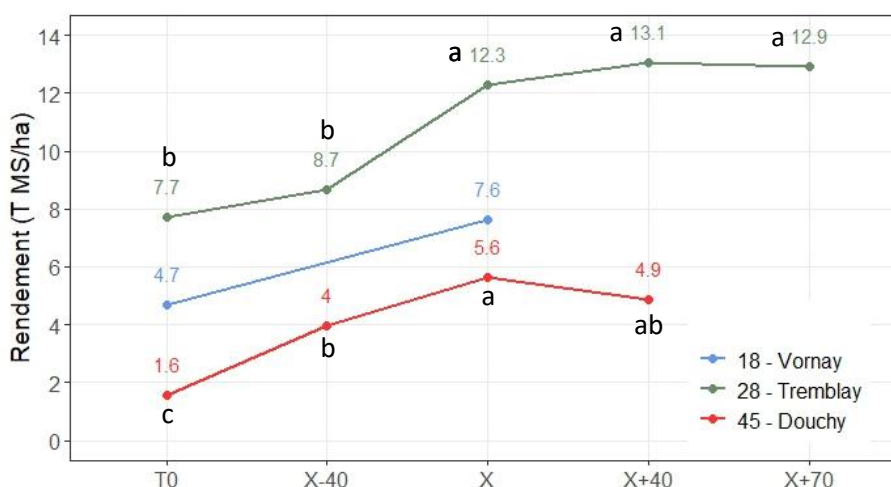
COURBE DE REPONSE EN AZOTE MINERAL

Les modalités du calcul de dose sur CIVE sont en cours de construction au niveau du GREN Centre. La courbe de réponse vise à établir la pertinence du calcul actuel, et notamment du coefficient de besoin, fixé au moment de la mise en place de l'essai à 14 u/t. Deux courbes de réponse à l'azote minéral ont été réalisées et concernent les essais du 45 et du 28.

Ces deux courbes de réponse présentent des résultats contrastés sur les doses supérieures à la dose conseillée : la réponse à l'azote est plus nette

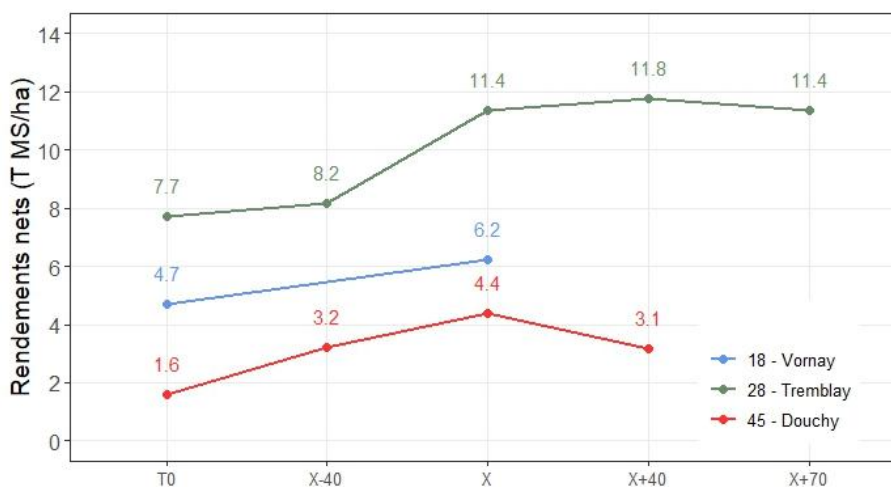
sur la courbe de l'essai eurélien, avec des rendements plus élevés et des différences visuelles importantes dans l'essai. On observe un gain non significatif de rendement entre la dose X et les doses supérieures (+0.8 t MS entre la dose X et la dose X+40). Ce gain est moindre d'un point de vue économique, avec un rendement net comparable entre la dose X et les doses supérieures dans l'essai. La dose X+40 ne permet pas de gain de rendement sur l'essai du 45. Avec un rendement moyen inférieur à l'objectif, la dose conseillée présente le meilleur rendement net sur la courbe.

Figure 1 - Courbe de réponse à l'azote minéral sur les essais du 28 et du 45 (sans radis) en rendements bruts



Dans les deux essais, la dose X-40 présente un rendement significativement inférieur. Si le témoin sans azote est caractérisé par une biomasse correcte sur les essais du 28 et du 18, la biomasse du témoin est très faible dans le 45. Cette fourniture en azote moindre par le sol pourrait provenir d'un problème d'enracinement suite aux fortes pluies de l'automne 2024. Ces pluies ont en effet occasionné une inondation partielle de la parcelle d'essai (sol hydromorphe).

Figure 2- Courbe de réponse à l'azote minéral sur les essais du 28 et du 45 (sans radis) en rendements nets





EFFICIENCE DES APPORTS DE PRINTEMPS DE DIGESTAT ET D'ENGRAIS MINÉRAL

En moyenne sur les 4 essais (les résultats sont traités séparément sur les blocs avec et sans radis pour l'essai du 45), la biomasse produite par la modalité en engrais minéral est supérieure de 0.8 t MS par rapport à la modalité équivalente en digestat.

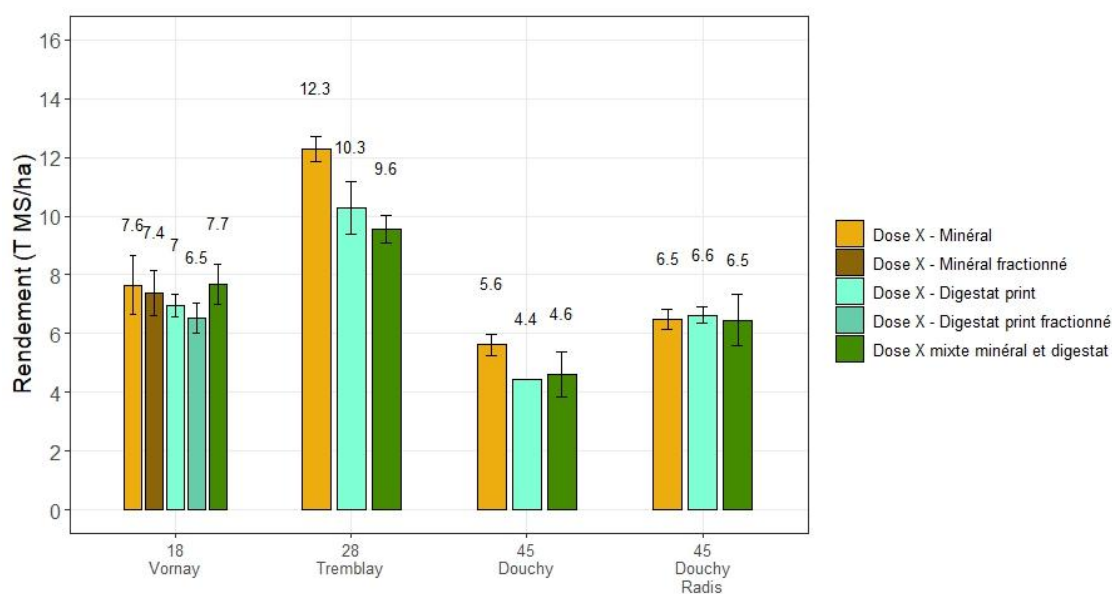
Les différences de rendement significatives entre modalités relatives au type d'engrais utilisés et au fractionnement ne sont identifiées que dans l'essai du 28, avec un gain significatif de biomasse pour l'apport minéral en solution par rapport à l'équivalent en digestat (+ 2 t).

Dans cet essai, les apports de digestat présentent une efficacité moindre : en effet, environ 44% de

l'azote total apporté par le digestat au printemps est valorisé par la plante dans cet essai, alors que le CAU sur la dose X en solution est évalué à 81%. Ce résultat met en évidence une probable surestimation du coefficient d'équivalence engrais de 0,7 généralement admis et utilisé dans cet essai pour calibrer l'apport de digestat.

Ceci explique les rendements plus faibles observés sur cette modalité. Les conditions d'apports sèches de l'apport début mars sont probablement à l'origine de cette efficacité réduite. A contrario, l'apport de solution est réalisé dans des conditions d'humidité satisfaisantes et semble avoir correctement porté.

Figure 3 - Comparaison des rendements bruts sur les modalités avec des apports de printemps (engrais minéral ou digestat)



Dans les essais du 18 et du 45, aucune différence significative n'est identifiée entre la modalité engrais minéral et la modalité digestat. Si l'on excepte l'essai du 45 avec radis où les rendements sont équivalents, on retrouve des pertes de rendement avec le digestat (- 1.2 t dans le 45, - 0.6 t dans le 18). Il semblerait là aussi que le coefficient d'équivalence engrais de 0.7 soit surestimé, probablement à cause de pertes par volatilisation importante.

Les modalités mixtes (avec de l'engrais minéral et du digestat) présentent des rendements équivalents aux modalités réalisées entièrement en digestat et sont donc généralement moins performantes que les modalités en engrais minéraux. La modalité mixte dans l'essai de Vornay présente néanmoins des rendements équivalents à la dose X minéral, ce qui est lié à une meilleure valorisation du digestat au printemps dans cet essai (apport réalisé plus tôt, pluie reçue le jour

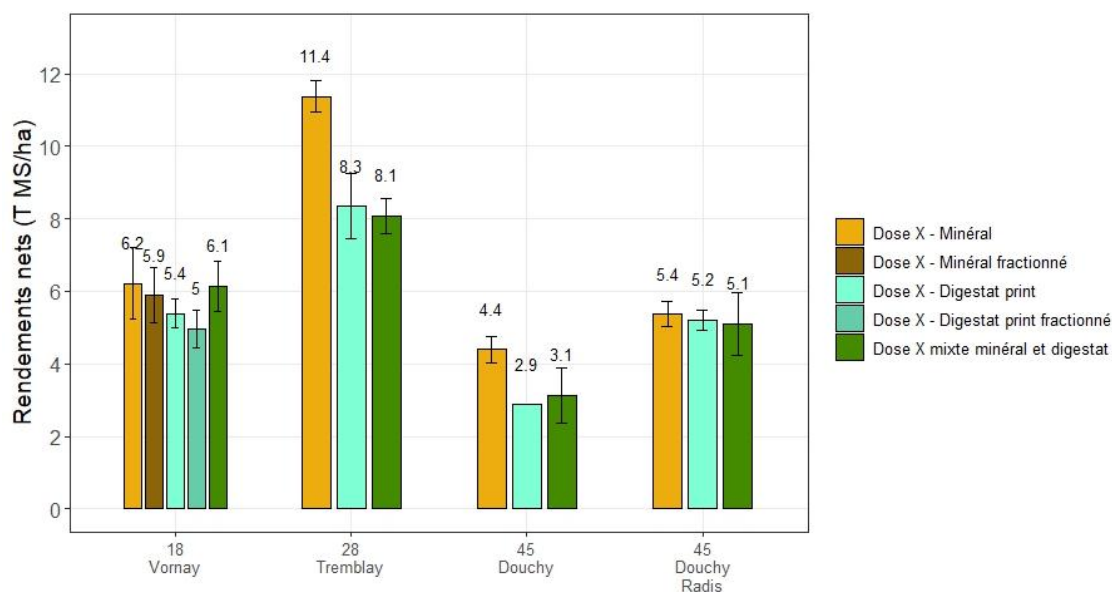
même et faible amplitude thermique dans les jours suivants).

Le fractionnement des apports de digestats, testé dans l'essai du 18, n'apporte pas de gain de rendement par rapport à la modalité avec un apport unique de digestat.

Les modalités avec des apports de digestats au printemps sont pénalisées d'un point de vue technico-économique : les rendements nets sont inférieurs sur ces modalités à cause des coûts élevés d'épandage.

La valorisation de ces engrais reste dépendante des conditions d'apports au printemps. Malheureusement, la fenêtre idéale - pas trop humide pour pouvoir passer dans la parcelle et pas trop sec pour que l'azote ammoniacal ne soit pas volatilisé, avec des pluies annoncées derrière - est difficile à identifier et n'est pas toujours compatible avec l'organisation des chantiers d'épandage.

Figure 4 - Comparaison des rendements nets sur les modalités avec des apports de printemps (engrais minéral ou digestat)





IMPACT DES APPORTS D'AUTOMNE SUR LE POTENTIEL DE PERTES NITRIQUES

Les digestats sont caractérisés par une forte proportion d'azote ammoniacal et donc par une mise à disposition rapide de l'azote dans le sol.

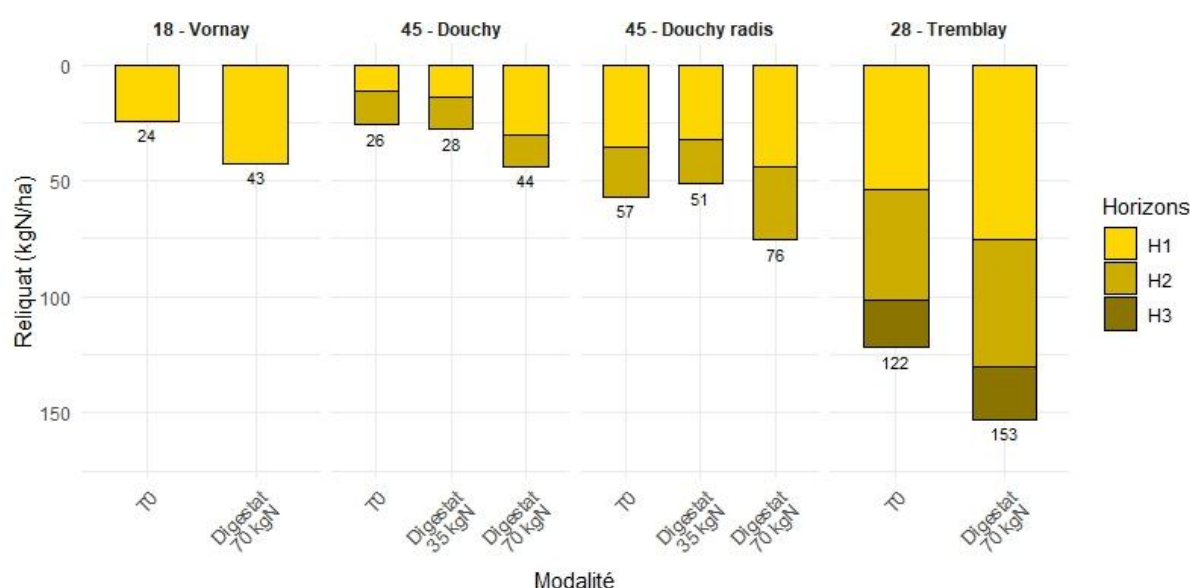
De ce fait, les apports à l'automne sont problématiques lorsqu'un couvert n'est pas en mesure de valoriser cet azote avant qu'il ne soit lixivié. Des reliquats entrée hiver sont réalisés dans les 3 essais afin de comparer des modalités avec et sans digestats. Ces reliquats permettent d'évaluer

l'impact de ces épandages d'automne sur la lixiviation potentielle des nitrates.

Les essais du 18 et du 45 comprenaient également des modalités avec une implantation de radis en fin d'été. L'objectif de ce semis était d'implanter une crucifère capable d'absorber l'azote mis à disposition par le digestat plus rapidement que ne pouvait le faire la CIVE, et donc de limiter les pertes en azote vers les nappes.

Figure 5 - Evolution du reliquat entrée hiver sur les différentes modalités avec ou sans apports de digestats.

Les reliquats sont pris sur 30 cm à Vornay (45% de cailloux), sur 50 cm à Douchy et sur 90 cm à Tremblay. Dates des REH : 23/10 dans le 45, 12/11 dans le 28 et 19/11 dans le 18



Les reliquats entrée hiver ont été réalisés entre la fin octobre et la mi-novembre en fonction des essais. Les apports de digestats ont été réalisés le 07/10 dans le 45, le 16/10 dans le 28 et le 25/10 dans le 18, soit environ 3 semaines à 1 mois avant les reliquats.

Les résultats mettent en évidence des REH bas pour les essais du 18 et du 45, ce qui est lié à des sols superficiels avec présence de cailloux et à des mises en route du lessivage précoces suite aux pluies importantes de l'automne 2024 pour l'essai du 45. Malgré cela, **on identifie une quantité d'azote plus élevée dans les sols à l'automne avec un apport de digestat correspondant à 70 kg N par rapport au témoin**, avec un surplus d'azote minéral d'environ 20 kg N pour les deux essais. Ce surplus d'azote dans le sol monte à 30 kg N dans les sols profonds de l'essai du 28, où le lessivage a pu être plus tardif. L'azote apporté par le digestat est principalement situé dans le premier horizon. Les REH deviennent comparables entre le témoin et la modalité avec digestat correspondant à 35 kg N dans l'essai du 45. Lorsque des quantités de digestats moindres sont apportées, le sol ne semble pas stocker d'azote supplémentaire à cette

période, ce qui pourrait être lié à des pertes par lixiviation ou par volatilisation.

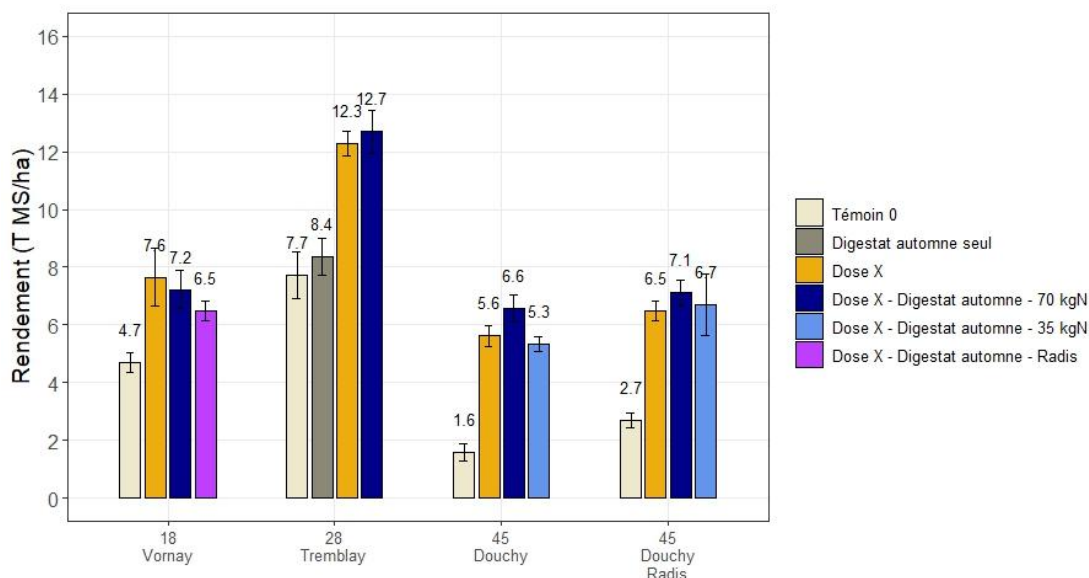
On ne met pas en évidence de différence de reliquats sortie hiver avec ou sans digestat dans les 3 essais, ce qui est probablement lié à des pertes en nitrates sous la parcelle lors de l'automne et l'hiver pluvieux. En effet, les mesures de biomasses et de quantités d'azote absorbé réalisées en sortie d'hiver dans l'essai du 28 sont équivalentes avec ou sans digestat, ce qui semble indiquer une valorisation quasi nulle du digestat épandu à l'automne. Les RSH réalisés dans les essais du 18 et du 45 sont également très faibles et comparables entre modalités (avec ou sans digestat à l'automne, avec ou sans radis).

Ces résultats mettent en évidence un **renforcement du risque de lixiviation des nitrates en cas d'apports importants de digestat à l'automne**. En effet, l'azote mis à disposition par l'apport est stocké dans le sol et pas dans la biomasse, ce qui induit un potentiel de pertes supérieur, notamment lors des hivers pluvieux.

EFFICIENCE DES APPORTS DE DIGESTATS A L'AUTOMNE

L'efficacité des apports de digestats réalisés à l'automne semble a priori faible car l'azote disponible précocement semble avoir été lessivé (voir plus haut). Ces éléments ne prennent pas en compte la minéralisation printanière de l'apport automnale, censée être relativement faible étant donnée la forte proportion d'azote ammoniacal rapidement disponible dans les digestats épandus.

Figure 6 - Comparaison des résultats en rendement brut pour les modalités avec un apport de digestat à l'automne

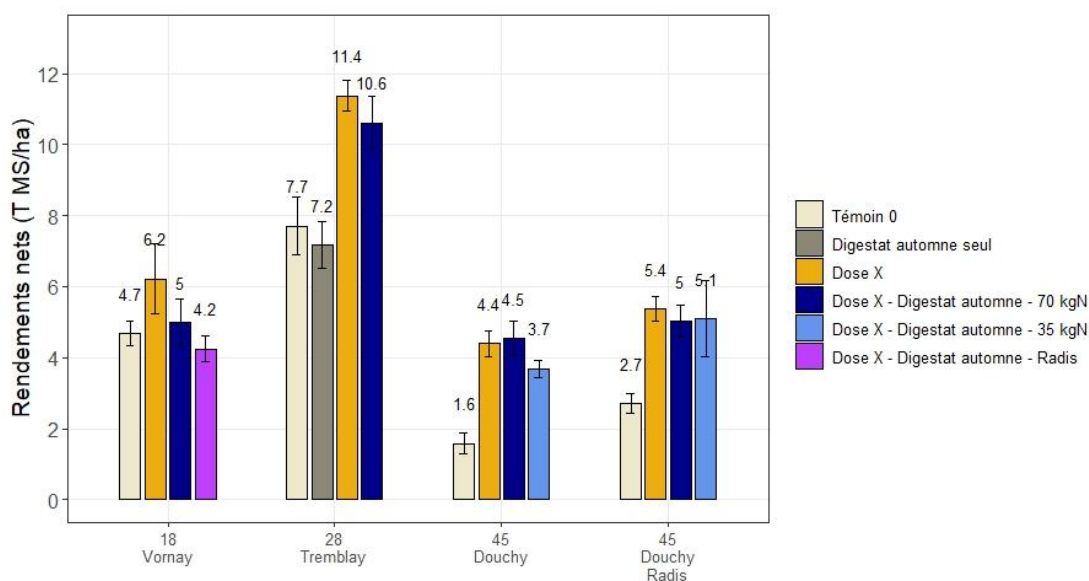


La comparaison des biomasses entre les modalités sans apport de digestat à l'automne et les modalités qui en ont bénéficié tend à confirmer la faible valorisation de cet apport : en effet, aucune différence significative entre ces modalités n'est identifiée dans les essais. Dans le détail, un apport d'automne de 70 kg N permet un gain moyen de 0.4 t MS sur les modalités dose X dans les 4 essais. Le gain maximum concerne l'essai de Douchy sans radis (+1 t MS). L'essai de Vornay présente a contrario une perte de 0.4 t MS. Les gains de

biomasse sont nuls avec un apport réduit de digestat (35 kg N) dans l'essai du 45.

La comparaison des rendements nets montre que l'apport de digestat à l'automne ne permet pas de gain de marge par rapport à une modalité sans apport. Le surcoût de l'épandage n'est pas compensé par un gain de rendement suffisant. Les pertes de marges vont d'un rendement net équivalent sur l'essai de Douchy sans radis à des pertes de 1.2 t sur l'essai de Vornay.

Figure 7 - Comparaison des résultats en rendement net pour les modalités avec un apport de digestat à l'automne





IMPACT DE L'ASSOCIATION AVEC LE RADIS

Sur l'essai de Vornay (18), le radis est semé début septembre sur une seule modalité et détruit fin novembre. Les biomasses produites à cette période sont faibles, estimée via MERCI à 0.8 t de MS pour environ 35 kg N absorbé. Avec ces niveaux de biomasses faibles, l'association avec le radis à l'automne ne permet pas de gain sur le rendement à la récolte (-0.7 t MS sur la modalité avec radis par rapport à la dose X avec apport à l'automne de digestat, différence non significative).

Avec une date de semis très tardive (fin septembre), les biomasses de radis obtenues dans

l'essai du 45 sont négligeables. Malgré cela, on observe des niveaux de rendement supérieurs sur la CIVE avec le radis par rapport aux blocs sans radis (+1.4 t MS). Avec des biomasses aussi faibles, il est difficile de considérer que le radis ait eu une quelconque incidence sur les rendements. La différence entre les deux essais provient d'une stagnation de l'eau sur l'essai sans radis, situé en contrebas sur la parcelle. On observe d'ailleurs un surplus de REH sur les blocs avec radis (+30 kg N environ), que l'on ne peut pas expliquer par d'éventuelles restitutions du couvert puisque le radis est maintenu dans la CIVE jusqu'à l'ensilage.

Tableau récapitulatif des résultats rendements bruts et rendements nets (q/ha)

Essais		18	28	45 sans radis	45 avec radis	18	28	45 sans radis	45 avec radis
Modalités		Rendements bruts				Rendements nets			
Témoin sans azote		4.7	7.7	1.6	2.7	4.7	7.7	1.6	2.7
Apports minéraux	X - 40		8.7	4.0			8.2	3.2	
	X	7.6	12.3	5.6	6.5	6.2	11.4	4.4	5.4
	X + 40		13.1	4.9			11.8	3.1	
	X + 70		12.9				11.4		
	X deux apports	7.4				5.9			
Digestat automne	Digestat automne seul		8.4				7.2		
	X minéral - Digestat automne 70 kg N	7.2	12.7	6.6	7.1	5.0	10.6	4.5	5.0
	X minéral - Digestat automne 35 kg N			5.3	6.7			3.7	5.1
Digestat printemps	X digestat printemps	7.0	10.3	4.4	6.6	5.4	8.3	2.9	5.2
	X digestat printemps deux apports	6.5				5.0			
	X mixte printemps	7.7	9.6	4.6	6.5	6.1	8.1	3.1	5.1
	X mixte printemps renforcé		13.4				10.6		
Effet radis	X minéral - Digestat automne - Radis	6.5				4.2			
Moyenne de l'essai		6.9	10.9	4.6	6.0	5.3	9.5	3.3	4.8

A retenir

- Les courbes de réponse réalisées dans plusieurs essais mettent en évidence des doses conseillées globalement cohérentes d'un point de vue technico-économique. Néanmoins, la dose semble légèrement sous-estimée dans l'essai du 28. Une révision de la méthode du bilan sur CIVE est en cours dans la région pour affiner la méthode de calcul.
- L'efficacité des apports de digestats semble relativement faible sur les essais. Les épandages réalisés à l'automne souffrent des faibles besoins des céréales à cette période. L'azote mis à disposition alimente le reliquat entrée hiver et le risque de lixiviation des nitrates. La mise en place d'un radis dans la CIVE courant septembre n'a pas permis de réduire ce risque dans nos essais, avec des biomasses produites insuffisantes.
- Sans possibilité d'enfouir le digestat, les apports de printemps sont moins bien valorisés que les apports minéraux et semblent globalement pénalisés par la volatilisation. Trouver la fenêtre climatique « idéale » pour l'épandage (pas trop humide pour réaliser l'épandage sans abîmer la parcelle, pas trop sec pour faire porter l'azote du digestat) semble compliqué, et cela d'autant plus que les agriculteurs ne sont pas forcément autonomes sur la gestion des chantiers d'épandage. Les coûts associés aux épandages limitent la performance économique des modalités avec apport de digestat dans nos essais de l'année.