



**HAL**  
open science

# Analyse des différences entre systèmes avec PRO (produits résiduels organiques) et engrais minéraux : quantification substitution des engrais N et du temps de travail (projet MétaMétha)

Antoine Savoie

## ► To cite this version:

Antoine Savoie. Analyse des différences entre systèmes avec PRO (produits résiduels organiques) et engrais minéraux : quantification substitution des engrais N et du temps de travail (projet MétaMétha). [Contrat] INRAE. 2020, 17p. hal-03222186

**HAL Id: hal-03222186**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03222186>**

Submitted on 10 May 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

# MétaMéth

## D5-L4.5 : Analyse des différences entre systèmes avec PRO et engrais : quantification substitution des engrais N et du temps de travail

<b>Projet</b>	MétaMéth
<b>Lot</b>	D
<b>Tâche ou sous-tâche</b>	D.4 et D.5
<b>Livrable</b>	L4.5 : Analyse des différences entre systèmes avec PRO et engrais : quantification, substitution des engrais N et du temps de travail
<b>Date de remise</b>	02/06/2020
<b>Confidentiel</b>	oui / <del>non</del>

Etude réalisée par : INRA centre Val de Loire, UE PAO

Partenaire responsable : INRA UE PAO  
Partenaire(s) impliqué(s) dans la rédaction du livrable:  
Chambre d'agriculture 45

Auteur : Antoine Savoie, INRA UE PAO

Financée par : *la région Centre Val de Loire*

Dans le cadre des appels à projets *d'intérêt régional*

Version 3 – juillet 2020

## Action D4 : Intérêt économique (économie réalisée) : autonomie énergétique, substitution d'engrais

L'objectif est d'évaluer économiquement ce qui diffère entre les différentes modalités à l'échelle de la rotation. Les paramètres pris en compte sont l'achat et l'entretien du matériel utilisé pour l'épandage des PRO, le coût de l'azote minéral, du carburant et la main d'œuvre.

On étudie 2 scénarios, un scénario réel qui correspond à ce qui s'est passé sur le terrain pendant les 3 ans d'essai et un scénario dit théorique où on normalise les teneurs et les doses de PRO épandues pour s'approcher des pratiques des agriculteurs et respecter la réglementation découlant de la Directive nitrates (Directive 91/676/CEE).

### Scénario réel (Rotation : Blé - Colza –Blé)

On prend les quantités de PRO et d'engrais mesurées sur le terrain pendant l'essai. Les fertilisants sont apportés tous les ans et les amendements sont effectués 2 ans sur 3.

Parcelle	PRO épandu T/ha	N total Kg/ha	N-NH <sub>4</sub> , N-NO <sub>3</sub> , N-urémique Kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha	K <sub>2</sub> O Kg/ha
A) lisier / fumier	166 / 47	662	215	304	985
B) N minéral	-	389	261	0	0
C) digestat L / S	145 / 49	942	405	580	808
E) digestat brut	181	863	440	399	741

Tableau 1 - doses apportées sur 3 ans dans le scénario réel

### Scénario théorique (Rotation : Blé - Colza –Blé)

On utilise des quantités de PRO et d'engrais normalisées. Les fertilisants sont apportés tous les ans et les amendements 1 an sur 3. On utilise la même rotation.

Parcelle	PRO épandu T/ha	N total Kg/ha	N-NH <sub>4</sub> , N-NO <sub>3</sub> , N-urémique Kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha	K <sub>2</sub> O Kg/ha
A) lisier / fumier	150 / 25	606	248	239	791
B) N minéral	-	450	338	0	0
C) digestat L / S	110 / 25	629	292	374	571
E) digestat brut	125	604	325	273	540

Tableau 2 - doses apportées sur 3 ans dans le scénario théorique

**Les résultats du scénario théorique sont présentés entre parenthèses dans les tableaux ci-après.**

#### D4.1 Coût de l'épandage à l'échelle de la rotation

La méthode choisie est de compter le nombre de passages d'outils d'épandage par modalité sur les 3 ans de rotation,

Parcelle	Tonne à lisier	Epandeur à fumier	Pulvérisateur
A) lisier/fumier	5 (5)	2 (1)	1 (0)
B) N minéral	0 (0)	0 (0)	6 (5)
C) digestat L+S	5 (5)	2 (1)	0 (0)
E) digestat brut	7 (6)	0 (0)	0 (0)

Tableau 3 - nombre de passages

On multiplie ensuite le nombre de passage des outils d'épandage par le coût à l'hectare d'un passage de tonne, d'épandeur, ou de pulvérisateur (cf. Annexe 1 - calcul du coût de passage du matériel),

Tonne à lisier	Epandeur à fumier	Pulvérisateur
72.2€	74.0€	10.0€

On obtient pour chaque modalité le coût des épandages à l'échelle de la rotation :

Parcelle	Tonne à lisier	Epandeur à fumier	Pulvérisateur	Total (€)/ha
A) lisier/fumier	361	148 (74)	10 (0)	519 (435)
B) N minéral	0	0	60 (50)	60 (50)
C) digestat L+S	361	148 (74)	0	509 (435)
E) digestat brut	505 (433)	0	0	505 (433)

Tableau 4 - coût des passages en €/ha

#### D4.2 Coût d'épandage d'une unité de volume ou de masse de PRO

On divise le coût des passages par la quantité épandue en tonne de matière brute (t MB) épandue pendant la rotation :

Parcelle	Tonne à lisier	Epandeur à fumier
A) lisier/fumier	2,18 (2,41)	3,17 (2,96)
B) N minéral	/	/
C) digestat L+S	2,49 (3,28)	3,02 (2,96)
E) digestat brut	2,79 (3,47)	/

Tableau 5 - coût en €/t épandue

Remarque : la densité des PRO utilisés étant de 1,02 (lisier), 1,03 (digestat liquide), 1,04 (digestat brut). Pour les PRO liquide ont fait l'approximation qu'un mètre cube pèse 1 tonne.

Les coûts calculés sont cohérents avec différentes sources :

- Enquête (cf. L.1.1) : coûts d'épandage pour la tonne à lisier sont de 2,5 à 5,6 €/m<sup>3</sup> (variable selon les distances à parcourir) et de 3 à 3,5 €/m<sup>3</sup> pour le système de type cordon ombilical.
- Enquête (cf. L.1.1) : coût de l'épandage pour les PRO solides est estimé entre 2 à 4 €/m<sup>3</sup>.
- Prestataires de l'INRA : coût d'épandage en 2018, 4,2€/t et en 2019, 2,8€/t de digestat.
- Internet (forums agricoles, documents CUMA) : 1,5 à 4€/m<sup>3</sup> de PRO liquide.

#### D4.3 Coût d'épandage d'une unité d'azote total

Divisons les coûts d'épandage par les quantités d'azote épandues :

Parcelle	Tonne à lisier	Epandeur à fumier	Pulvérisateur
A) lisier/fumier	58 (83)	173 (193)	24 (0)
B) N minéral	0	0	65 (90)
C) digestat L+S	126 (93)	155 (163)	0
E) digestat brut	123 (101)	0	0

Tableau 6 - moyenne des apports de N total/ha

On obtient :

Parcelle	Tonne à lisier	Epandeur à fumier	Pulvérisateur
A) lisier/fumier	1,24 (0,87)	0,43 (0,38)	0,42 ( - )
B) N minéral			0,15 (0,11)
C) digestat L+S	0,57 (0,78)	0,48 (0,45)	
E) digestat brut	0,59 (0,71)		

Tableau 7 - coût d'épandage d'1u d'N total (€)

Epandre une unité d'azote de lisier a un coût plus élevé car la teneur en N est plus faible que les autres PRO liquides étudiés. L'épandage des digestats liquides et bruts coûte autour de 65 centimes alors que celui du digestat solide et du fumier coûte autour de 45 centimes.

L'azote minéral est 4 à 6 fois moins coûteux à épandre que le fumier et 4 fois moins coûteux à épandre que le digestat liquide. Mais il faut ajouter le prix d'achat de l'azote minéral (épandage : 0,15€ + achat : 0,70€ = 0,85€/unité d'N épandue).

Coût passage et achat N minéral : Epandage : 60€ + achat : 389u x 0,70€ = 332€

Les PRO étant généralement des déchets (et non des produits normalisés), on peut considérer que leur prix est égal à zéro.

Parcelle	Tonne à lisier	Epandeur à fumier	Pulvérisateur	Total €/ha
A) lisier/fumier	361	148 (74)	10 (0)	519 (435)
B) N minéral	0	0	60 (50)	<b>332 (365)</b>
C) digestat L+S	361	148 (74)	0	509 (435)
E) digestat brut	505 (433)	0	0	505 (433)

Tableau 8 - coût des passages en €/ha en incluant le prix d'achat de l'N minéral

#### D4.4 Estimation de la valeur des PRO épandus

Épandre des PRO n'apporte pas que de l'azote. D'autres éléments tels que le phosphore ( $P_2O_5$ ), le potassium ( $K_2O$ ) et également de la matière organique fertilisent et amendent les parcelles.

Estimons la valeur des PRO apportés en leur donnant le prix d'achat des fertilisants du commerce pour N, P et K seulement (sans compter par souci de simplification l'apport d'humus, de Mg et d'oligo-éléments). La valeur fertilisante des PRO n'étant pas celle des engrais du commerce, on la corrige par le coefficient d'équivalence engrais calculé pendant l'essai pour l'azote (cf. L4.1), pour le phosphore on prendra une valeur minimale de 65% trouvée dans la littérature et 100% pour le potassium.

Parcelle	N	$P_2O_5$	$K_2O$	Total
C digestat L+S	942 (629)	580 (374)	808 (571)	-
keq moyen %	0,44	0,65	1	
Fertilisant €/kg	0,70	1	0,66	
Valeur PRO épandus €	287 (192)	377 (243)	534 (377)	1198 (812)

Tableau 9 - exemple de la modalité C (digestats liquides et solides) pour la rotation

Dans l'exemple ci-dessus, on a épandu l'équivalent de 1198€ (812) sur 3 ans, soit prêt de 400€ par an. Si on tenait compte de cette valeur, on pourrait la soustraire aux coûts d'épandage des PRO.

#### D4.5 Coût de la fertilisation minérale

Dans le cas du système témoin étudié (B) où l'on n'apporte pas de PRO, seulement de l'azote minéral, il faudrait pour maintenir la fertilité épandre d'autres éléments (P, K). Dans ce système, l'agriculteur n'apporterait toutefois pas autant de P et K que l'agriculteur des systèmes PRO (A, C, E). Il chercherait à répondre aux besoins des plantes et non d'apporter des quantités équivalentes à celles que les PRO procurent.

Calculons donc les besoins en  $P_2O_5$  et  $K_2O$  pour la rotation dans le système B (témoin) et les coûts d'achat correspondant.

Dans une situation où l'agriculteur possède des terres ayant des teneurs en phosphore et potassium inférieures à teneur dite « T impasse », on a calculé pour la rotation colza, blé, blé un besoin d'environ 200 unités en  $P_2O_5$  et  $K_2O$ . Les besoins en N sont eux estimés dans le scénario de fertilisation théorique (Annexe 2).

Parcelle	N	$P_2O_5$	$K_2O$
B - fertilisants	450	200	200
Fertilisant €/kg	0,70	1	0,66
Valeur PRO épandus €	315	200	132

Tableau 10 - besoin en N, P2O5, K2O pour la rotation théorique

Il faut ajouter un passage d'épandeur à engrais tous les 3 ans (5,3€/ha) car les produits sont épandus sous forme solide. Ils ne sont donc pas épandus en même temps que l'azote minéral.

L'achat de fertilisants N, P, K coûterait 647€, soit 216€ par an. Les apports en NPK par les PRO dans les modalités A, C, E (PRO) couvrant largement les besoins des cultures, on peut estimer que les agriculteurs dans systèmes A, C, E (PRO) réalisent une économie au minimum de 216€ par an et par hectare par rapport à l'agriculteur du système B.

En résumé, le tableau ci-dessous présente les coûts d'épandage et d'achat de fertilisants des différents systèmes :

Parcelle	Coût épandage	Coût produit épandu	Total
A) lisier/fumier	519 (435)	0	519 (435)
B) N minéral	65 (55)	647	712 (702)
C) digestat L+S	509 (435)	0	509 (435)
E) digestat brut	505 (433)	0	505 (433)

Tableau 11 - coûts d'épandage et des fertilisants épandus

L'économie globale pour les agriculteurs en systèmes PRO se situe autour de 200€ pour la rotation, soit moins de 70€ par an et par hectare. Cette différence est faible. Ainsi, l'éloignement des parcelles du lieu de stockage des PRO par exemple suffirait à rendre le système témoin plus compétitif sur le poste fertilisation des cultures.

#### D4.6 Marges dégagées par les systèmes étudiés

Afin de tenir compte des niveaux de production différents des systèmes, on propose ici d'étudier les marges dégagées (cf. Annexe 3 pour le détail des calculs).

Produits :

Les rendements en grains et en paille et la qualité de la production (taux de protéine du blé) diffèrent dans chaque système mis en œuvre sur le terrain.

Les subventions sont les mêmes dans les systèmes.

Charges :

Mise à part la fertilisation des cultures qui diffèrent et qui influe sur les charges opérationnelles, les charges de mécanisation et la main d'œuvre, toutes les interventions (semis, traitement phytosanitaires, etc.) sont les mêmes dans les systèmes.

Marges :

Marge brute = Produits – charges opérationnelles

Marge semi-nette = Marge brute – charges de mécanisation

	A	B	C	E
	lisier/fumier	N minéral	digestat L+S	digestat brut
PRODUITS (grain, paille, PAC)	1427	1580	1666	1481
CHARGES OPERATIONNELLES	203	288	197	197
CHARGES de MECANISATION	328	216	333	332
CHARGES de MO (main d'œuvre)	69	35	70	72
<b>MARGE BRUT</b>	1224	1292	1469	1284
<b>MARGE SEMI NETTE</b>	<b>897</b>	<b>1076</b>	<b>1136</b>	<b>952</b>
MARGE SEMI NETTE - MO	828	1041	1066	881

Tableau 12 - Marges dégagées par chaque système par ha et par an

En tenant compte de la main d'œuvre, on constate que les marges semis-nettes du système C (digestats séparés) et du système B (témoin) sont similaires dans le contexte de l'essai (rendements, qualité, doses épandues, proximité des parcelles pour l'épandage).



## Action D5 : Évaluer la composante sociale en particulier le temps de travail des pratiques d'épandage des digestats

Après l'étude des coûts comparés des épandages à la parcelle, une autre échelle, celle de l'exploitation agricole, est ici proposée pour l'étude des coûts d'épandage et du temps de travail. On s'intéresse à la période d'épandage la plus problématique : la sortie d'hiver, car la portance du sol est faible et le nombre de jours possibles pour l'épandage limité. L'analyse est effectuée à l'aide d'un nouvel outil (calculateur) de la Chambre d'Agriculture 45. L'outil, entré dans sa dernière phase de développement, est utilisé pour l'une des premières fois pour l'étude d'un cas concret.

Le cas d'étude est l'exploitation agricole de l'INRAE de Nouzilly. Des moyennes ont été réalisées sur 3 ans afin de lisser les pratiques pouvant varier d'une année sur l'autre : assolement, doses d'épandage, fractionnement des doses, types de PRO utilisés, etc.

Afin de répondre aux interrogations des professionnels, des scénarios sont étudiés afin d'envisager les conséquences de :

- **L'éloignement des parcelles**

Il s'agit de la distance moyenne à parcourir entre le lieu de stockage des PRO et les parcelles réceptrices. Le plan d'épandage comprend 2 îlots : un îlot (308 ha) de parcelles est situé à une distance moyenne de 2 km des sources de PRO liquides ou solides et un îlot (57 ha) situé à 5 km.

Scénario 1 : îlot 1 à 2 km et îlot 2 à 5 km. Distance moyenne : 2,5 km

Scénario 2 : îlot 1 à 3 km et îlot 2 à 6 km. Distance moyenne : 3,5 km

Scénario 3 : îlot 1 à 5 km et îlot 2 à 7 km. Distance moyenne : 5,3 km

- **Le choix du matériel utilisé (achat, entretien, utilisation) et ses conséquences sur la logistique**

Le choix du matériel a des conséquences financières (achat, utilisation, entretien) mais aussi logistiques : si le nombre de jours nécessaires pour tout épandre dépasse le nombre de jours où l'épandage est possible (portance du sol, périodes autorisées), il est nécessaire d'avoir recours à un matériel de plus grande capacité ou même à deux matériels. Dans la réalité, une tonne à lisier est présente sur l'exploitation et il peut être envisagé ponctuellement d'avoir recours, en complément, à une prestation de service pour épandre le volume dans le temps imparti. Ce cas n'est pas étudié ici car l'outil utilisé pour l'analyse ne permet pas encore de simuler cette situation.

Enfin, si le parcellaire est trop éloigné, les PRO ne sont plus seulement transportés par le matériel d'épandage. On prévoit un transport routier, un stockage au champ et l'épandage au champ avec une tonne (ou un matériel alternatif tel que le cordon ombilical, non étudié ici). Dans ce cas, le transport routier peut être assuré en dehors des périodes d'épandage rapprochant le volume de PRO du lieu d'épandage.

Scénario a : 1 tonne à lisier de 20 m<sup>3</sup>

Scénario b : 2 tonnes à lisier de 15 m<sup>3</sup>

Scénario c : 1 tonne à lisier de 26 m<sup>3</sup>

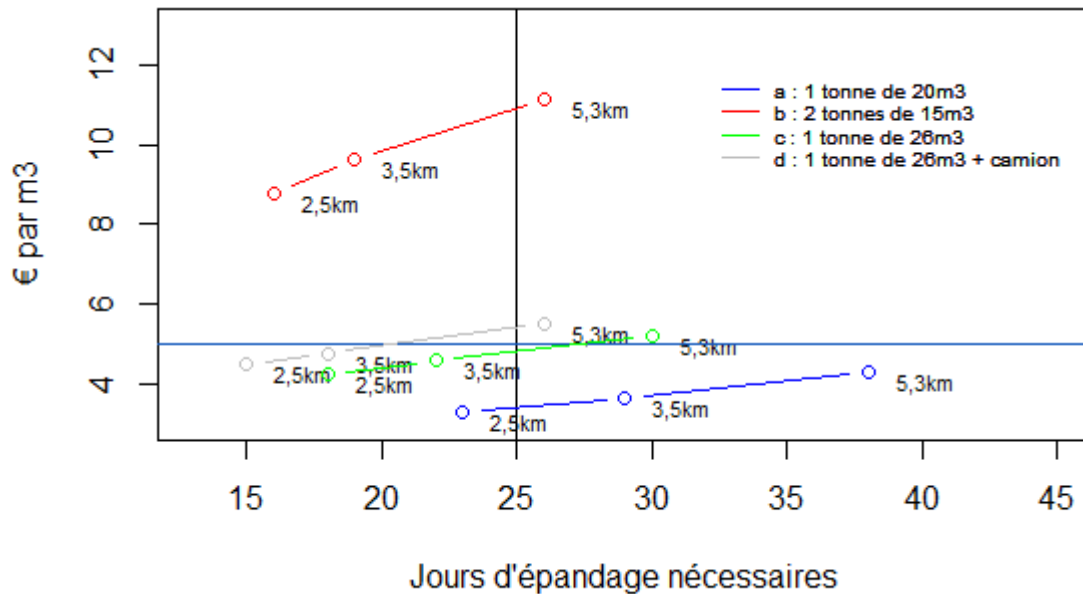
Scénario d : 1 tonne à lisier de 26 m<sup>3</sup> + un transport (en location) en camion pour l'îlot 2

**Synthèse des coûts d'épandage du digestat**

Scénario	Descriptif scénario	Nombre d'outils	Détails outil	Capacité (m3)	Investissement	Coût annuel				Temps et main d'œuvre				Débit chantier (m3/h)
						Détails	coût (€/an)	Volume travaillé (m3)	Coût (€/m3)	Nb d'heures par outil	Nb de jours cumulé	Nb de jours période épandage	MO nécessaire	
1a	Transport et épandage réalisé par le même ensemble ( moy 2,47km)	1	tonne à lisier	20	103 500	transport + épandage 1 et 2	27 055	8283	3.27	187	23	23	1	44
1b		2	tonne à lisier	15	164 000	transport + épandage 1 et 2	72 780	8283	8.79	126	32	16	2	66
1c		1	tonne à lisier	26	175 000	transport + épandage 1 et 2	35 077	8283	4.23	145	18	18	1	57
1d	îlot 1 épandage et transport avec même ensemble et îlot 2 transport et épandage dissocié (moy 2,47 km)	1	tonne à lisier	26	175 000	transport + épandage îlot 1	29 618	6 847	4.33	119	14	14	1	64
		1	tonne à lisier	26	0	épandage sur îlot 2	3 160	1 436	2.20	119	2	2	1	126
		1	Transport camion	34	0	Transport sur îlot 2	4 500	1 436	3.13	9	3	2	0	170
		1	<b>Total</b>		<b>175 000</b>		<b>37 278</b>	<b>8 283</b>	<b>4.50</b>	<b>119</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	
2a	Transport et épandage réalisé par le même ensemble (moy 3,47 km)	1	tonne à lisier	20	103 500	transport + épandage 1 et 2	30 120	8283	3.64	228	29	29	1	33
2b		2	tonne à lisier	15	164 000	transport + épandage 1 et 2	79 710	8283	9.62	153	38	19	2	54
2c		1	tonne à lisier	26	175 000	transport + épandage 1 et 2	37 879	8283	4.57	177	22	22	1	47
2d	îlot 1 épandage et transport avec même ensemble et îlot 2 transport et épandage dissocié (moy 3,47 km)	1	tonne à lisier	26	175 000	transport + épandage îlot 1	32 249	6 847	4.71	146	17	17	1	48
		1	tonne à lisier	26	0	épandage sur îlot 2	2 763	1 436	1.92	146	2	2	1	126
		1	Transport camion	34	0	Transport sur îlot 2	4 500	1 436	3.13	9	3	2	0	159
		1	<b>Total</b>		<b>175 000</b>		<b>39 512</b>	<b>8 283</b>	<b>4.77</b>	<b>146</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>1</b>	
3a	Transport et épandage réalisé par le même ensemble (moy 5,31 km)	1	tonne à lisier	20	103 500	transport + épandage 1 et 2	35 691	8283	4.31	305	38	38	1	28
3b		2	tonne à lisier	15	164 000	transport + épandage 1 et 2	92 103	8283	11.12	204	51	26	2	41
3c		1	tonne à lisier	26	175 000	transport + épandage 1 et 2	43 148	8283	5.21	235	30	30	1	35
3d	îlot 1 épandage et transport avec même ensemble et îlot 2 transport et épandage dissocié ( moy 5,31 km)	1	tonne à lisier	26	175 000	transport + épandage îlot 1	38 830	6 847	5.67	198	23	24	1	35
		1	tonne à lisier	26	0	épandage sur îlot 2	2 302	1 436	1.60	198	2	2	1	126
		1	Transport camion	34	0	Transport sur îlot 2	4 500	1 436	3.13	9	3	2	0	147
		1	<b>Total</b>		<b>175 000</b>		<b>45 632</b>	<b>8 283</b>	<b>5.51</b>	<b>198</b>	<b>23</b>	<b>26</b>	<b>1</b>	

Tableau 13 - Synthèse des coûts d'épandage (combinaison des scénarios 1, 2, 3 et des scénarios a, b, c, d)

La figure 1 (ci-dessous) compare les scénarios vis-à-vis des variables coût d'épandage (€/m<sup>3</sup>) et nombre de jours nécessaires pour épandre.



1 scénario = 1 combinaison : Matériel(s) d'épandage X Eloignement des parcelles  
 Figure 1 - comparaison des scénarios étudiés

Analyse

- L'épandage avec la tonne moyenne de 20 m<sup>3</sup> (scénario a) présente le coût d'épandage au m<sup>3</sup> le plus faible. Cependant, le nombre de jour nécessaire à l'épandage est très important pour la période considérée (mi-janvier à fin avril).
- Investir dans 2 tonnes à lisier (scénario b), même de plus faible capacité (15 m<sup>3</sup>) réduit bien la durée d'épandage mais multiplie les coûts au m<sup>3</sup> par près de 3.
- La tonne à lisier de 26 m<sup>3</sup> (scénario c) permet un coût d'épandage au m<sup>3</sup> légèrement supérieur à celui du scénario a, tout en garantissant des temps d'épandage proche du scénario b. L'investissement est par contre supérieur à l'achat de 2 tonnes de 15 m<sup>3</sup>.
- Le recours au camion pour transporter plus efficacement les PRO renchérit légèrement l'épandage mais diminue encore le nombre de jours d'épandage.
- Si on fixe arbitrairement des critères (< 5 €/m<sup>3</sup> épandu ; < 25 jours d'épandage), on retiendra sur la Figure 1 les scénarios situés en bas, à gauche du graphique. Ainsi, les parcelles ne devraient pas être situées à plus de 3,5 km du lieu de stockage des digestats.
- Pour rentabiliser son investissement dans un matériel d'épandage (et donc réduire le coût d'épandage/m<sup>3</sup> épandu), l'agriculteur peut augmenter l'utilisation de son matériel en réalisant des prestations d'épandage au cours de l'année.
- Si le nombre de jours d'épandage nécessaire est trop important dans une situation donnée, il est possible de recourir à une prestation de service pour épandre le volume qu'il ne serait pas possible d'épandre dans le temps imparti. Dans l'exemple ci-dessous, on a fixé un nombre de jours possible pour l'épandage à 20 jours et un

éloignement des parcelles à 2,5 km. Pour limiter l'investissement, l'agriculteur n'a qu'une tonne de 15 m<sup>3</sup> qui lui permet d'épandre environ 2/3 du volume en 20 jours. Le reste est épandu par un prestataire au prix ici fixé à 4 €/m<sup>3</sup>. Dans ce scénario complémentaire, on obtient un coût relativement élevé de 5,84 €/m<sup>3</sup> mais les frais financiers sont relativement bas.

Nombre d'outils	Détails outil	Capacité (m3)	Investissement	Coût annuel				Temps et main d'œuvre			Débit chantier (m3/h)
				Détails	coût (€/an)	Volume travaillé (m3)	Coût (€/m3)	Nb d'heures par outil	Nb de jours cumulé	MO	
1	tonne à lisier	15	82 000	transport + épandage 1 et 2	36 390	5280	6.89	126	20	1	33
1	tonne à lisier			Prestation de service	12 012	3003	4.00				
<b>1</b>	<b>Total</b>		<b>82 000</b>		<b>48 402</b>	<b>8 283</b>	<b>5.84</b>	<b>126</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	

Tableau 14 – Coûts d'épandage (combinaison des scénarios 1 et b limité à 20 jours, prestation de service en complément)

**Annexe 1 : calcul du coût de passage du matériel**

Référence : Coûts des Opérations Culturelles 2018 des Matériels Agricoles - Un référentiel pour le calcul des coûts de production et le barème d'entraide du Service Elevage & Agroéquipements de l'APCA – Chambres d'Agriculture.

Hypothèses : carburant : 0,70 €, main d'œuvre (MO) : 20,00 €

Il n'existe pas d'évaluation à l'heure de l'utilisation des tonnes à lisier et des épandeurs. L'évaluation est exprimée par voyage. Le carburant et la MO sont affectés au tracteur.

**Tonne à lisier**

Sur l'ensemble de l'essai, on a épandu en moyenne 30,6 T/ha de PRO liquides (lisiers, digestats). On considère un épandage moyen de 30 m<sup>3</sup>/ha, effectué en 2 passages, la capacité de la cuve étant de 15 m<sup>3</sup>.

On épand 7000 tonnes par an sur l'exploitation. Avec une tonne de 15 m<sup>3</sup>, cela fait 500 voyages par an. On compte 2 voyages par heure, temps de chargement compris.

Un tracteur de 150cv permet d'utiliser la tonne à lisier et l'épandeur à fumier destinés à l'épandage.

	matériel/h	carburant/h	MO/h	total/h
Tracteur 150 cv (700h/an)	17 €	11 €	20 €	48 €

	Coût/voyage
Tracteur 150 cv (700h/an)	48€/2 = 24 €
Tonne à lisier	18€/2 = 09 €
Total	33 €

1H = 2 voyages de 15 m<sup>3</sup> = 30 m<sup>3</sup> épandus = 1 ha couvert

⇒ 66 €/ha

Ou en regardant directement le barème, avec 500 voyages par an, on dépense 72,2 € (dont MO).

Attention unité annuelle en voyage

Machine	Prix neuf €	Nombre Voyage / an	OUTIL		TRACTEUR			Perfor voy / h	Perfor ha / h	COUT TOTAL SANS MO € / ha	COUT TOTAL avec MO € / ha
			Réparation € / vo	Coût € / vo	Puissance	Motricité	Tx de charge				
<b>Epandeur lisier 15,5 m3 Standard + Enfouisseurs Prairies 4 m</b>											
Tonne + Enfouisseur	71 500 €	500	3,9	20,1	170 cv			1,50		71,3	92,5
Tonne 15,5 m3 Standard	49 000 €	800		17,4	4 RM	26,9		0,80		66,2	87,5
de 4 m prairie à enfouisseurs/prairie	22 500 €	700	8 080	15,5	40%			17,85		62,6	83,9
<b>Epandeur lisier 15,5 m3 Standard + Rampe à pendillards 12 m</b>											
Tonne + pendillards	70 500 €	500	2,3	18,3	150 cv			2,00		56,2	72,2
Tonne 15,5 m3 Standard	49 000 €	800		15,6	4 RM	23,5		1,07		51,3	67,2
Rampe de 12 m pendillards	21 500 €	700	7 967	13,7	40%			11,81		47,7	63,6

Avec comme hypothèse, 30 m<sup>3</sup>/ha

**Epandeur à fumier**

Un tracteur de 150 cv permet d'utiliser la tonne à lisier et l'épandeur à fumier destinés à l'épandage.

	matériel/h	carburant/h	MO/h	total/h
Tracteur 150 cv (700 h/an)	17 €	11 €	20 €	48 €

Il faut aussi un charriot télescopique pour effectuer le chargement des PRO solides.

	matériel/h	carburant/h	MO/h	total/h
Chargeur	20 €	3 €	Déjà comprise	23 €

On ne compte pas la MO, car c'est le même opérateur que celui qui utilise le tracteur.

Sur l'exploitation, on épand 3600t de produits solides par an. Avec 12t de chargement par épandeur, cela donne 300 voyages par an environ.

Il y a 4000€ de frais fixes, divisé par 300 voyages par an, cela donne 13,3€ par voyage.

On compte **3** voyages par heure (chargement compris).

	coût /voyage
Tracteur 150cv (700h/an)	48€/3 = 16,0€
Epandeur à fumier	13,3€
Chargement (chariot télescopique)	7,7€
Total	37,0€

Quelle surface est-elle épandue avec un chargement de 12 tonnes ?

En épandant à la dose de 24 t/ha, on couvre une surface de 0,5 ha par voyage.

Il faut donc 2 voyages pour amender 1 ha.

Coût d'épandage du PRO solide : (37 €) x 2 = 74 €/ha

Ou en regardant directement le barème, avec 400 voyages par an, on dépense 58 € (dont MO) /ha + 2x8 € de chargement = **74 €**.

Hypothèse 25 T/ha

Attention unité annuelle en voyage

Machine	Prix neuf €	Nombre Voyage / an	OUTIL		TRACTEUR		Perfor voy / h	Perfor ha / h	COUT TOTAL SANS MO € / ha	COUT TOTAL avec MO € / ha
			Réparation € / vo	Coût € / vo	Puissance	Coût Horaire base 700 h/an				
			Charges fixes € / an		Motricité Tx de charge	Conso Carburant l/ha				
Hérissons Horizontaux 6 t / 8 m3 1 essieu	13 400 €	200	0,8	8,4	70 cv	9,9	2,00	55,5	90,9	
		300	1 514	5,8	2 RM		0,48	45,0	80,4	
		400		4,6	40%		12,25	39,7	75,1	
Hérissons Horizontaux 7 à 8 t / 10 m3 1 essieu	16 200 €	300	0,9	7,0	80 cv	13,6	2,00	46,0	74,3	
		400	1 831	5,5	4 RM		0,80	40,9	69,2	
		500		4,6	40%		11,20	37,8	66,2	
Hérissons Horizontaux 10 t / 12 m3 1 essieu	19 000 €	300	0,9	8,1	100 cv	16,3	2,00	40,5	61,8	
		400		6,3	4 RM		0,80	36,1	57,3	
		500	2 147	5,2	40%		10,50	33,4	54,6	
Avec table d'Épandage 10 t / 12 m3 1 essieu	31 600 €	300	1,5	13,4	110 cv	19,0	3,00	49,4	63,5	
		400		10,4	4 RM		1,20	41,9	56,1	
		500	3 571	8,6	40%		7,70	37,5	51,6	
Épandeur 8 t / 10 m3 2 hérissons verticaux 1 essieu grandes roues	25 400 €	400	1,1	8,3	110 cv	19,0	3,00	45,7	63,4	
		500		6,8	4 RM		0,96	41,2	58,9	
		600	2 870	5,9	40%		9,63	38,2	55,9	
Épandeur 10 t / 12 m3 2 hérissons verticaux 1 essieu grandes roues	31 600 €	400	1,2	10,1	110 cv	19,0	3,00	41,2	55,4	
		500		8,3	4 RM		1,20	36,7	50,9	
		600	3 571	7,2	40%		7,70	33,7	47,9	
Épandeur 13 t / 16 m3 2 hérissons verticaux 1 essieu grandes roues	35 400 €	400	1,2	11,2	110 cv	19,0	3,00	43,9	58,0	
		500		9,2	4 RM		1,20	38,9	53,0	
		600	4 000	7,9	40%		7,70	35,5	49,7	

Pulvérisateur

Pulvérisateurs suspendus de grande capacité de cuve & de rampe

La machine et ses équipements de récolte	Prix	Volume de travail annuel ha / an (*)	Réparation	Performance	COUT TOTAL		COUT TOTAL avec MO	
	ch ISO		€/ha	ha / h (**)	€/ ha	€/ h	€/ ha	€/ h
			Charges fixes €/an	Conso Carburant l/ha				
200 ch, 4 RM 40 hl rampe 28 à 32 m équipement standard	180 000 €	2 500	1,41	20	10,6	211,9	11,4	228,9
	200 cv	3 000			9,2	183,5	10,0	200,5
		3 500			8,2	163,3	9,0	180,3
220 ch, 4 RM 50 hl rampe 36 m équipement standard	190 000 €	3 500	1,41	25	8,4	210,4	9,1	227,4
	220 cv	4 000			7,6	190,4	8,3	207,4
		4 500			7,0	174,9	7,7	191,9
250 ch, 4 RM 50 hl Cabine classe 4 rampe 36 m tout équipé	220 000 €	5 000	1,41	50	6,9	346,9	7,3	363,9
	250 cv	6 000			6,1	303,7	6,4	320,7
		7 000			5,5	272,8	5,8	289,8
250 ch, 4 RM 50 hl Cabine cl.4 rampe 36 m tt équipt. + voie variable	240 000 €	5 000	1,41	50	7,4	370,5	7,8	387,5
	250 cv	6 000			6,5	323,3	6,8	340,3
		7 000			5,8	289,6	6,1	306,6
250 ch, 4 RM 50 hl Cabine avancée cl.4 rampe 36 m voie et hauteur variable	300 000 €	5 000	1,41	50	8,8	441,3	9,2	458,3
	250 cv	6 000			7,6	382,3	8,0	399,3
		7 000			6,8	340,2	7,1	357,2

(\*) débit de chantier et nombre d'hectares / an très variables d'une exploitation à l'autre

(\*\*) performance à réduire pour épandage d'engrais liquide

80 unités d'azote / 0,39% d'azote dans la solution = 205 litres de solution épandus/ha  
 4000 litres de cuve / 205l = 19,5ha. Avec un chargement de solution azoté, on peut donc fertiliser 19,5ha. On estime le débit de chantier à **20** hectares par heure.

D'après le barème, pour **3000** ha/an (le matériel sert aussi aux traitements phytosanitaires), les coûts à l'hectare sont de 10€/ha.



## Annexe 2 : calcul des besoins en P et K

Les besoins en P et K se calculent de la façon suivante :

$$\text{Dose } P_2O_5 \text{ ou } K_2O \text{ conseillée (en kg/ha)} = \text{Coefficient multiplicatif des exportations} \times \text{Rendement prévu (unité de rendement aux normes)} \times \text{Teneur en } P_2O_5 \text{ ou } K_2O \text{ dans les exportations (kg } P_2O_5 \text{ ou } K_2O \text{ par unité de rendement aux normes)}$$

avec un supplément éventuel dû aux exportations de résidus du précédent

Le groupe PKMg du COMIFER, 2009

### Besoins en P

1. Rendements prévus pour la rotation : colza (35 q) – blé (80 q, 4 t de paille) – blé (idem)

2. Teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ou K<sub>2</sub>O dans les exportations

Espèce	Organe	% Mat. Sèche récolté	Unité de teneur	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en kg	P en kg
colza	grain	91%	kg/q	1,25	0,55
Blé tendre	grain	85%	kg/q	0,85	0,37
Blé	Paille	88%	kg/t	1,70	0,74

3. Les coefficients multiplicatifs des exportations sont les suivants :

**Grille de calcul des doses de phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) à apporter**  
 Grille de coefficients multiplicatifs des exportations, appliqué à la récolte principale (grains le plus souvent)

**Teneur du sol**  
 Positionner la teneur par rapport aux seuils

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb. d'années sans apport depuis la dernière fertilisation	Teneur du sol						
		Teneur faible	Trenf.	Temp. -10%	Temp.	Temp. +10%	2x Temp.	3x Temp.
<b>Cultures très exigeantes</b> Betterave sucrière Colza - Luzerne Pomme de terre	0	2.2	1.5	1.2	1.0	0.8	0	0
	1 an	3.3	2.0	1.5	1.2	1.0	0	0
	2 ans ou +	3.7	2.7	2.0	1.5	1.2	0.8	0
<b>Moyennement exigeantes</b> Blé/Blé - Blé dur Maïs fourrage - Pois Orge - R.G. - Sorgho	0	1.6	1.0	1.0	0	0	0	0
	1 an	1.8	1.2	1.0	1.0	0.8	0	0
	2 ans ou +	2.0	1.7	1.5	1.2	1.0	0.6	0
<b>Cultures peu exigeantes</b> Avoine - Blé tendre Maïs grain - Seigle Soja - Tournesol	0	1.3	1.0	0.8	0	0	0	0
	1 an	1.6	1.0	1.0	0	0	0	0
	2 ans ou +	1.6	1.2	1.0	1.0	0.8	0	0

▶ Cette grille P s'applique à toutes les cultures y compris fourragères, à leur récolte principale, mais ne s'applique pas aux résidus à enlèvement facultatif (pailles).  
 ▶ Si les résidus de la culture précédente sont récoltés (paille, fanes...), un supplément de dose est proposé selon la règle suivante :
 

- pas de supplément en cas de sol à teneur élevée (teneur > Timp) qu'il y ait un conseil de dose nulle ou non d'après la grille;
- le supplément correspond à l'exportation de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> des pailles sur la culture qui suit dans les autres cas (teneur < Timp).

 Supplément de kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha sur la culture qui suit = Masse de résidus récoltés (t/ha) × teneur en kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/t

Calcul pour le cas d'un apport tous les 3 ans :

	coefficient	Rendement	Teneur P2O5	Dose P2O5
	Inférieur à Teneur impasse	q/ha	Kg/q de MS	Kg/ha
Colza	2	35	1,25	88
Blé grain	0,8	80	0,85	54
Blé paille	0,8	40	1,7	5
Blé2 grain	1	80	0,85	68
Blé2 paille	1	40	1,7	7
Somme				<b>222</b>



**Besoins en K**

1. Rendements prévus pour la rotation : colza (35 q) – blé (80 q, 4 t de paille) – blé (idem)

2. Teneur en P2O5 ou K2O dans les exportations

Espèce	Organe	% Mat. Sèche récolté	Unité de teneur	K <sub>2</sub> O en kg	K en kg
colza	grain	91%	kg/q	0,85	0,71
Blé tendre	grain	85%	kg/q	0,45	0,37
Blé	Paille	88%	kg/t	12,30	10,10

3. Les coefficients multiplicatifs des exportations sont les suivants :

**Grille de calcul des doses de potassium (K<sub>2</sub>O) à apporter (grandes cultures)**  
 Grille de coefficients multiplicatifs des exportations, appliqué à la récolte principale (grains le plus souvent)

**K<sub>2</sub>O**  
 Pour toute destination des résidus du précédent

Nb. d'années sans apport depuis la dernière fertilisation

Teneur du sol Positionner la teneur par rapport aux seuils

Teneur faible Teneur élevée

Cultures	N. d'années sans apport	Teneur du sol					
		Trenf.	Timp. -10%	Timp.	Timp. +10%	2x Timp.	3x Timp.
<b>Cultures très exigeantes</b> Betterave sucrière Pomme de terre	0	1.7	1.2	1.0	0.8	0.6	0
	1 an	2.0	1.4	1.2	1.0	0.8	0
	2 ans ou +	2.3	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8
<b>Moyennement exigeantes</b> Colza - Maïs grain Pois - Tournesol Luzerne	0	1.6	1.2	1.0	0	0	0
	1 an	2.2	1.4	1.2	1.0	0.5	0
	2 ans ou +	2.2	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8
<b>Cultures peu exigeantes</b> Blé tendre - Blé dur Orge - Avoine - Seigle	0	1.2	1.0	1.0	0	0	0
	1 an	1.2	1.1	1.0	0	0	0
	2 ans ou +	1.2	1.2	1.0	1.0	1.0	0

- ▶ Cette grille K s'applique à toutes les grandes cultures, à leur récolte principale mais ne s'applique pas aux résidus à enlèvement facultatif (pailles).
- ▶ Pour ces cultures, la dose sera plafonnée à 400 kg K<sub>2</sub>O/ha/an.
- ▶ Si les résidus de la culture précédente sont récoltés (paille, fanes...), un supplément de dose est proposé selon la règle suivante :
  - pas de supplément en cas de sol à teneur élevée (teneur > Timp) qu'il y ait un conseil de dose nulle ou non d'après la grille ;
  - le supplément correspond à l'exportation de K<sub>2</sub>O des pailles sur la culture qui suit dans les autres cas (teneur < Timp).

Supplément de kg K<sub>2</sub>O/ha sur la culture qui suit = Masse de résidus récoltés (t/ha) x teneur en kg K<sub>2</sub>O/t.

Calcul pour le cas d'un apport tous les 3 ans :

	Coefficient	Rendement	Teneur P2O5	Dose P2O5
	Inférieur à Teneur impasse	q/ha	kg/q de MS	kg/ha
Colza	1,4	35	0,85	42
Blé grain	1	80	0,45	36
Blé paille	1	40	12,30	49
Blé2 grain	1	80	0,45	36
Blé2 paille	1	40	12,30	49
Somme				<b>212</b>

## Annexe 3 : calcul des marges

	2019	2019	2019	2019		2018	2018	2018	2018		2017	2017	2017	2017
	A	B	C	E		A	B	C	E		A	B	C	E
PAC (DPU 108 + paiement vert + paiement redistributif 2019)	233	233	233	233		233	233	233	233		233	233	233	233
production grain	68.33	77.77	78.88	66.6		31	33	39	34		68.3	77.8	78.9	66.6
taux de protéine	8.8	9.9	8.3	7.9							9.2	9.3	10.6	9.9
prix de vente grain	16.4	16.4	16.4	16.4		34	34	34	34		16.4	16.4	16.56	16.4
produit grain	1121	1275	1294	1092		1061	1119	1305	1145		1121	1275	1306	1092
production paille	1.6	2.6	3.2	4.0		0	0	0	0		4.7	5.7	5.6	5.2
prix de vente paille	45	45	45	45		0	0	0	0		45	45	45	45
produit paille	70	115	145	180		0	0	0	0		210	255	250	235
<b>TOTAL PRODUIT</b>	<b>1424</b>	<b>1623</b>	<b>1672</b>	<b>1505</b>		<b>1294</b>	<b>1352</b>	<b>1538</b>	<b>1378</b>		<b>1564</b>	<b>1763</b>	<b>1789</b>	<b>1560</b>
Semences	81	81	81	81		45	45	45	45		114	114	114	114
intrants fertilisants	16.8	112.7	0	0		0	69.3	0	0		0	90.3	0	0
Herbicide	31	31	31	31		100	100	100	100		71	71	71	71
Fongicide	36	36	36	36		35	35	35	35		48	48	48	48
insecticide	0	0	0	0		30	30	30	30		0	0	0	0
<b>Total CHARGES OPE.</b>	<b>165</b>	<b>261</b>	<b>148</b>	<b>148</b>		<b>210</b>	<b>279</b>	<b>210</b>	<b>210</b>		<b>233</b>	<b>323</b>	<b>233</b>	<b>233</b>
coût semis	52.3	52.3	52.3	52.3		52.3	52.3	52.3	52.3		52.3	52.3	52.3	52.3
coût épandage	181.5	27.6	172.3	168.6		116.1	9.2	116.1	112.4		112.4	18.4	112.4	112.4
coût traitement	36.8	36.8	36.8	36.8		27.6	27.6	27.6	27.6		27.6	27.6	27.6	27.6
coût moisson	83	83	83	83		97.4	97.4	97.4	97.4		83	83	83	83
coût presse	15	25	31	39							45	55	54	51
<b>Total CHARGES MECA.</b>	<b>368.7</b>	<b>224.5</b>	<b>375.6</b>	<b>379.5</b>		<b>293.4</b>	<b>186.5</b>	<b>293.4</b>	<b>289.7</b>		<b>320.6</b>	<b>236.2</b>	<b>329.1</b>	<b>325.9</b>
MO semis	7.9	7.9	7.9	7.9		7.9	7.9	7.9	7.9		7.9	7.9	7.9	7.9
MO épandage	46.9	2.4	46.1	48		30.1	0.8	30.1	32		32	1.6	32	32
MO traitement	3.2	3.2	3.2	3.2		2.4	2.4	2.4	2.4		2.4	2.4	2.4	2.4
MO moisson	19	19	19	19		19	19	19	19		19	19	19	19
MO presse	2.4	3.9	4.9	6.1							7.1	8.6	8.4	7.9
<b>TOTAL MO</b>	<b>79.4</b>	<b>36.4</b>	<b>81.1</b>	<b>84.2</b>		<b>59.4</b>	<b>30.1</b>	<b>59.4</b>	<b>61.3</b>		<b>68.37</b>	<b>39.49</b>	<b>69.7</b>	<b>69.2</b>
<b>CHARGE DE STRUCTURE</b>	Non étudiées (pourraient fortement varier selon les systèmes) => pas de calcul de Marge nette													
<b>TOTAL CHARGES</b>	<b>533.5</b>	<b>485.2</b>	<b>523.6</b>	<b>527.5</b>		<b>503.4</b>	<b>465.8</b>	<b>503.4</b>	<b>499.7</b>		<b>553.6</b>	<b>559.5</b>	<b>562.1</b>	<b>558.9</b>
<b>MARGE BRUT</b>	<b>1259</b>	<b>1363</b>	<b>1524</b>	<b>1357</b>		<b>1084</b>	<b>1073</b>	<b>1328</b>	<b>1168</b>		<b>1331</b>	<b>1440</b>	<b>1556</b>	<b>1327</b>
<b>MARGE SEMI NETTE</b>	<b>890</b>	<b>1138</b>	<b>1148</b>	<b>978</b>		<b>790</b>	<b>886</b>	<b>1034</b>	<b>878</b>		<b>1010</b>	<b>1204</b>	<b>1227</b>	<b>1001</b>
<b>MARGE SEMI NETTE - MO</b>	<b>811</b>	<b>1102</b>	<b>1067</b>	<b>894</b>		<b>731</b>	<b>856</b>	<b>975</b>	<b>817</b>		<b>942</b>	<b>1164</b>	<b>1157</b>	<b>932</b>