



Nutri2Cycle

Transition towards a more carbon and nutrient efficient agriculture in Europe

Economie circulaire et fertilisation : valorisation des effluents d'élevage sur parcelle agro-forestière.

Présentation de la démonstration conduite avec l'EARL Manicot (Charente-Maritime) pour le projet Nutri2Cycle.

**aGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRE D'AGRICULTURE
CHARENTE-MARITIME



**CHAMBRE
D'AGRICULTURE**
CHARENTE-MARITIME DEUX-SÈVRES



La Rochelle, juin 2023



Ce projet a bénéficié d'un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon H2020 de l'Union Européenne au titre de la convention de subvention n° 773682

Financé par



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Document vérifié le : 05/06/23

Par : JPh BERNARD

Signature :

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'JPh Bernard', is placed to the right of the 'Signature :' label. The signature is written in a cursive, somewhat stylized font.

Document réalisé par
Jean-Philippe BERNARD
Avec la participation de **Corinne LOMBARD**

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	6
1 INTRODUCTION	7
2 LE CADRE D'ETUDE : EARL MANICOT (SAINT MARTIAL SUR NE).....	8
Figure 1 : Situation géographique de l'exploitation.....	8
Figure 2 : Ateliers de l'exploitation Manicot.....	9
2.1 Le système agroforestier.	9
2.2 La production d'effluents d'élevage.	9
Figure 3 : Situation des zones agroforestières.....	10
Figure 4 : Bassin à rhizophyte, parcours et implantation agroforestière en 2015.....	10
Figure 5 : Taillis linéaire intra-parcellaire en 2018.....	11
Figure 6 : Taillis linéaire intra-parcellaire en 2019.....	11
3 MATERIEL ET METHODE : DISPOSITIF DE DEMONSTRATION.....	13
3.1 Zone d'étude : la parcelle « La Terrière-Champ ».....	13
Figure 7 : la parcelle « La Terrière-Champ » en mars 2019.....	13
Figure 8 : dispositif de démonstration sur la parcelle « La Terrière-Champ ».....	14
Figure 9 : Lignes de haie intra-parcellaire sur « La Terrière-Champ » (en m).....	14
Figure 10 : implantation de haie sur la parcelle la « Terrière-Champ » au 29/06/2020.....	15
Figure 11 : Parcelle la « Terrière-Champ » au 27/05/2021.....	15
Figure 12 : Parcelle la « Terrière-Champ » au 07/06/2022.....	16
Figure 13 : Situation des coupes de segment de haie en mai 2022.....	16
3.2 Itinéraires de fertilisation et protocoles de suivi associés pour les campagnes 2019 - 2022.	17
Figure 14 : itinéraire technique (simplifié) et protocole de suivi pour la culture de Blé tendre d'hiver 2019 sur la parcelle « La Terrière-Champ ».....	18
Figure 15 : itinéraire technique (simplifié) et protocole de suivi pour la culture de Maïs 2020 sur la parcelle « La Terrière-Champ ».....	19
Figure 16 : itinéraire technique (simplifié) et protocole de suivi pour la culture de Maïs 2021 sur la parcelle « La Terrière-Champ ».....	20
Figure 17 : itinéraire technique (simplifié) et protocole de suivi pour la culture de Blé tendre d'hiver 2022 sur la parcelle « La Terrière-Champ ».....	21
3.3 Eléments innovants de suivi agronomique	22
3.3.1 Appréciation de la fertilité azotée du sol par cinétique de minéralisation.....	22
3.3.2 Etat du carbone dans le sol et niveau d'activité biologique	22
3.3.3 Suivi du développement cultural par télédétection.....	22
Figure 18 : Profil de sol et échantillon de terre sur la parcelle « La Terrière-Champ », 2019.....	23
.....	23
Figure 19 : Drone et caméra multispectrale	23
3.3.4 Suivi de la nutrition azotée des cultures par capteur manuel.....	24
Figure 20 : capteur Dualex.....	24

4	RESULTATS : SUIVI DU RECYCLAGE DES EFFLUENTS ORGANIQUES EN SITUATION AGROFORESTIERE DE 2019 A 2021.....	25
4.1	Caractérisation et quantification des effluents.	25
4.1.1	Valeur agronomique des effluents.....	25
	Table 1 : Caractérisation agronomique des effluents d'élevage de l'EARL Manicot.....	25
4.1.2	Quantification de la production d'effluent	25
4.1.3	Teneurs en éléments traces des effluents	26
	Table 2 : Teneurs en éléments traces des effluents d'élevage de l'EARL Manicot.	26
	Figure 21 : Zones d'étude A et B après épandage de lisier, au 27/05/21.	26
4.2	Etat et fonctionnement du sol de la parcelle « La Terrière-Champ ».....	27
4.2.1	Situation texturale et caractérisation physico-chimique : proposition d'un profil de sol	27
	Table 3 : Caractérisation texturale et physico-chimique de la parcelle « La Terrière-Champ ».....	27
	Figure 22 : Dénivellation de la parcelle « La Terrière-Champ »	28
4.2.2	Situation agronomique du sol.....	29
	Table 4 : Caractérisation agronomique de la parcelle « La Terrière-Champ ».....	29
	Table 5 : Cinétiques de minéralisation de l'azote du sol de la parcelle « La Terrière-Champ »	30
	Figure 23 : Courbes de cinétique de minéralisation de l'azote du sol pour les zones d'étude de la parcelle « Terrière-Champ ».....	31
	Figure 24 : Azote potentiellement minéralisables dans les sols des zones d'étude de la parcelle « Terrière-Champ », en fonction des exercices culturaux.....	32
4.2.3	Situation du stock de carbone et état biologique du sol	34
	Figure 25 : Courbes de cinétique de minéralisation du carbone du sol pour les zones d'étude de la parcelle « Terrière-Champ »	34
	Table 6 : Fractionnement de la matière organique et biomasse microbienne du sol de la parcelle « La Terrière-Champ »	35
	Table 7 : Evaluation du stock de carbone stable de la parcelle « La Terrière-Champ » à partir des fractions de la matière organique.	35
4.2.4	Fractionnement de la matière organique versus cinétiques de minéralisation.	36
4.2.5	Indices de biomasse microbienne.....	36
4.2.6	Situation environnementale du sol.....	37
	Table 8 : teneurs en éléments trace du sol de la parcelle « La Terrière-Champ »	37
4.3	Suivi cultural 2019	38
4.3.1	Images NDVI 2019.....	38
	Figure 26 : Images NDVI de la culture de Blé tendre d'hiver 2019	38
4.3.2	Mesures NBI 2019	39
	Figure 27 : Mesures d'indice NBI par capteur au sol en 2019.....	39
4.3.3	Prélèvements végétaux et estimation de récolte 2019.	40
	Table 9 : évaluation des rendements pour les trois zones d'échantillonnage – culture de Blé tendre d'hiver 2019.....	40
	Figure 28 : Images de l'indice NBI modélisé - Blé tendre d'hiver 2019.....	41
4.3.4	Mesures de reliquats azotés post récolte 2019	42
4.3.5	Bilan 2019.....	42

Figure 29 : Courbes de fourniture d'azote par le sol – saison culturale 2019, parcelle « Terrière-Champ »	42
4.4 Suivi cultural 2020	44
4.4.1 Images NDVI 2020.....	44
Figure 30 : Images NDVI de la culture de Maïs 2020	44
4.4.2 Mesures NBI 2020.....	45
Figure 31 : Mesures d'indice NBI par capteur au sol en 2020.....	46
4.4.3 Effet de bordure des taillis linéaire intra-parcellaire	46
Figure 32 : Images de l'indice NBI modélisé - Maïs 2020.....	47
4.4.4 Bilan 2020.....	48
Figure 33 : Courbe de fourniture d'azote par le sol après épandage de fumier – saison culturale 2020, parcelle « Terrière-Champ »	48
4.5 Suivi cultural 2021	49
4.5.1 Images NDVI 2021.....	49
Figure 34 : Images NDVI de la culture de Maïs 2021 – du 27/05 au 05/07 2021.....	49
Figure 35 : Images NDVI de la culture de Maïs 2021 – du 19/07 au 09/09 2021.....	50
4.5.2 Mesures NBI 2021.....	51
Figure 36 : Mesures d'indice NBI par capteur au sol en 2021.....	51
4.5.3 Influence des taillis linéaire intra-parcellaire sur l'absorption d'azote	52
Figure 37 : Images de l'indice NBI modélisé - Maïs 2021.....	53
Figure 38 : Dispositif de test de l'effet de récupération de l'azote du taillis intraparcélaire - Maïs 2021.....	54
Figure 39 : Représentation en Boxplot des mesures de NBI sur les segments de taillis au 25/08/21	55
Figure 40 : Représentation en Boxplot des mesures de NBI sur les bandes de Maïs grain avec apport supplémentaire d'azote au 25/08/21	56
4.5.4 Prélèvements végétaux et estimation de récolte 2021.	56
Table 10 : évaluation des rendements pour les quatre zones d'échantillonnage – culture de Maïs grain 2021.....	57
4.5.5 Bilan 2021.....	57
4.6 Suivi cultural 2022	58
4.6.1 Images NDVI 2022.....	58
Figure 41 : Images NDVI de la culture de Blé tendre d'hiver 2022	58
4.6.2 Bilan 2022.....	59
5 EFFET FERTILISANT DU RECYCLAGE DES EFFLUENTS ORGANIQUES : CE QUE MONTRENT QUATRE ANS DE SUIVI.....	60
5.1 Méthode : bilan de fertilisation et modélisation des cultures.....	60
5.1.1 Choix du type de sol.....	60
5.1.2 Situation climatologique	60
5.1.3 Les correspondances variétales	60
5.2 Ce que nous montrent les simulations sur le système sol/culture de la parcelle la « Terrière-Champ ».....	61
5.2.1 Minéralisation de l'azote de la matière organique du sol.....	61

Figure 42 : Courbes de minéralisation de l'azote de la matière organique du sol entre semis et récolte imulées pour les cultures de Blé tendre d'hiver 2019 (a) et Maïs grain 2020 (b).....	61
5.2.2 Situation du stock d'azote minéral du sol à l'entrée du bilan.....	62
Figure 43 : Exemple de simulation du stock d'azote minéral du sol entre ouverture et fermeture du bilan pour la production de Blé tendre d'hiver 2022.	62
5.3 Etude des bilans de fertilisation	63
5.3.1 Blé tendre d'hiver 2019.....	63
Figure 44 : Bilan de fertilisation pour les quatre zones d'étude de la parcelle « La Terrière-Champ » pour la culture de Blé tendre d'hiver 2019.	64
Figure 45 : Evaluation par STICS de l'azote absorbé par la culture de blé 2019 dans les trois cas de scénarios « A initial », « A avec un apport d'irrigation » et « A avec l'apport de lisier plus précoce ».	65
Figure 46 : Evaluation par STICS de la minéralisation de l'azote de la matière organique du sol (N sol) et de la fraction organique du lisier (N résidu) pour la culture de blé 2019 dans les trois cas de scénarios « A initial », « A avec un apport d'irrigation » et « A avec l'apport de lisier plus précoce ».....	66
Figure 47 : Evaluation par STICS du stock d'azote minéral du sol (StockN) pour la culture de blé 2019 dans les trois cas de scénarios « A initial », « A avec un apport d'irrigation » et « A avec l'apport de lisier plus précoce ».	67
5.3.2 Maïs grain 2020.....	68
Figure 48 : Bilan de fertilisation pour les quatre zones d'étude de la parcelle « La Terrière-Champ » pour la culture de Maïs grain 2020.	69
Figure 49 : Evaluation par STICS de l'azote absorbé par la culture de maïs grain 2020 pour les zones A, B, C et D.	70
Figure 50 : Evaluation par STICS de la minéralisation de l'azote de la matière organique du sol (MO sol) et du fumier (B) pour la culture de maïs grain 2020.....	71
Figure 51 : Evaluation par STICS du stock d'azote minéral du sol sous la culture de maïs grain 2020 pour les quatre zones d'étude A, B,C et D.	72
5.3.3 Maïs grain 2021.....	73
Figure 52 : Bilan de fertilisation pour les quatre zones d'étude de la parcelle « La Terrière-Champ » pour la culture de Maïs grain 2021.	74
Figure 53 : Evaluation par STICS de l'azote absorbé par la culture de maïs grain 2021 pour les zones A, B, C et D.	75
Figure 54 : Evaluation par STICS de la minéralisation de l'azote de la matière organique du sol (N-MO) et du lisier (zones A et B) pour la culture de maïs grain 2021.	76
Figure 55 : Evaluation par STICS du stock d'azote minéral du sol sous la culture de maïs grain 2021 pour les quatre zones d'étude A, B, C et D.	77
5.3.4 Blé tendre d'hiver 2022.....	78
Figure 56 : Bilan de fertilisation pour les quatre zones d'étude de la parcelle « La Terrière-Champ » pour la culture de Blé tendre d'hiver 2022.	79
Figure 57 : Evaluation par STICS de l'azote absorbé par la culture de blé tendre 2022 pour les zones A, B, C et D.	80
Figure 58 : Evaluation par STICS de la minéralisation de l'azote de la matière organique du sol (N-MO) et du lisier (zone A) pour la culture de blé tendre 2022.....	81
Figure 59 : Evaluation par STICS du stock d'azote minéral du sol sous la culture de blé tendre 2022 pour les quatre zones d'étude A, B,C et D.....	82

6 CONCLUSION : DES AMELIORATIONS POSSIBLES POUR LE RECYCLAGE DES EFFLUENTS SUR PARCELLE AGROFORESTIERE ?	83
6.1 Intérêt agronomique des effluents.....	83
6.1.1 Le potentiel de recyclage au sein de l'exploitation	83
6.1.2 Expression de la valeur fertilisante azotée des effluents.....	83
6.1.3 Evaluation des risques de lessivage de l'azote dans les pratiques de fertilisation.	83
6.2 La gestion de la matière organique du sol de la parcelle.	84
6.2.1 Fertilité organique du sol.	84
6.2.2 Stockage du carbone dans les sols	84
6.3 L'effet de la présence agroforestière ?	84
6.3.1 Un effet agro-forestier ?	84
6.3.2 Pour une extension de l'implantation agro-forestière.....	84
6.4 Recommandations d'épandage en parcelle agro-forestière.....	85
7 BIBLIOGRAPHIE.....	86

Mots clefs : économie circulaire, fertilisation, agroforesterie, élevage, effluents d'élevage, lisier, fumier, recyclage agronomique, bio-sourcé, télédétection.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier vivement la famille MANICOT, en particulier M. Paul MANICOT et son frère Vincent, qui ont été nos partenaires "de terrain" pendant les quatre années de travail de démonstration engagées sur la parcelle dite « La Terrière-Champ », dans le cadre du projet européen Nutri2Cycle.

Il nous faut également remercier nos partenaires du projet Nutri2Cycle, en particulier

- L'équipe du professeur Erik MEERS de l'Université de Ghent (Gand), Mme Evi MICHELS, Mme Margherita GENUA et M. Çagri AKYOL, pour leur confiance et sans qui nous n'aurions jamais eu l'occasion de participer à cet ambitieux projet ;
- Nos correspondants du TEAGASC irlandais, Mme Elizabeth O'CARROLL et M. Patrick FORRESTAL pour leur soutien dans la démarche de démonstration ;
- Notre correspondant de l'ISA de Lisboa (Lisbonne), le professeur David FANGUEIRO, pour tous nos fructueux échanges.

1 INTRODUCTION

En France, la tradition de recyclage agronomique des effluents organiques intègre la récupération des éléments fertilisants NPK dans le bilan de fertilisation à l'échelle de l'exploitation, voire à la parcelle. Cependant leur utilisation ne représente qu'une fraction de l'alimentation des cultures. Avec la tendance croissante au recyclage de la collecte des déchets organiques et au stockage du carbone pour limiter le changement climatique, les mesures politiques en France concernant le retour de la matière organique dans les sols doivent être renforcée : en 2018, le gouvernement français a proposé de faire du secteur agricole un moteur de l'économie circulaire en valorisant tous les biodéchets par retour au sol (MTES, 2018). En parallèle, un nouveau règlement européen sur les matières fertilisantes (règlement UE 2019/1009 du 05/06/2019) met l'accent sur la substitution des matières fertilisantes issues de la synthèse ou de l'extraction industrielles pour des raisons d'indépendance économique, en invoquant également les principes de l'économie circulaire.

Dans cette perspective de remplacement, l'accent a été mis sur les agro-résidus de la ferme, dont le recyclage au sein de l'exploitation illustre parfaitement la définition de l'économie circulaire. Les effluents d'élevage sont de bons exemples de matériaux bio-sourcés connus comme substituts aux engrais de synthèse (MAROIS, 2019). Bien que le recyclage agronomique des effluents d'élevage ait fait l'objet d'un important travail de valorisation en France de 1993 à 2006 (IDELE, 2008), l'enjeu actuel est de replacer les intrants organiques comme des composantes significatives de la fertilisation.

L'émergence du nouveau règlement européen est accompagnée par différents projets européens de recherche et développement s'intéressant à l'utilisation de matières fertilisantes issues du recyclage.

C'est le cas du projet Nutri2Cycle (programme Horizon 2020 – projet n°773682) qui s'intéresse au cyclage des éléments fertilisants NP et du carbone entre pôles agricoles et d'agro-transformation.

Dans le cadre de ce projet, la Chambre d'agriculture a été missionnée pour démontrer la situation et l'évolution possible du cyclage dans une exploitation agricole associant élevage, cultures et agroforesterie.

Notre démonstration avait deux ambitions :

- 1 – Mettre en évidence et comprendre l'effet fertilisant des effluents, en particulier l'effet azoté, sur une parcelle en agroforesterie ;
- 2 – Apprécier l'effet de l'implantation agroforestière sur le stockage de carbone.

Pour cela nous avons suivi pendant quatre ans, de 2019 à 2022, une parcelle agroforestière dans une exploitation comprenant un atelier élevage et un atelier de productions végétales à Saint Martial sur Né, dans le département de la Charente-Maritime (17), avec un protocole de suivi sur différentes zones établies en fonction des épandages d'effluents et de la situation agroforestière.

Ce protocole associe :

- a - un état analytique initial et final des sols, avec cinétique de minéralisation et fractionnement de la matière organique ;
- b - une caractérisation analytique des effluents ;
- c - un suivi du développement cultural par télédétection.

Les résultats obtenus au cours de la démonstration seront débattus avec les exploitants agricoles les éléments de leur système de fertilisation à faire évoluer pour passer de l'état de recyclage de la matière organique à celui d'une gestion optimale de la fertilisation.

2 LE CADRE D'ETUDE : EARL MANICOT (SAINT MARTIAL SUR NE).

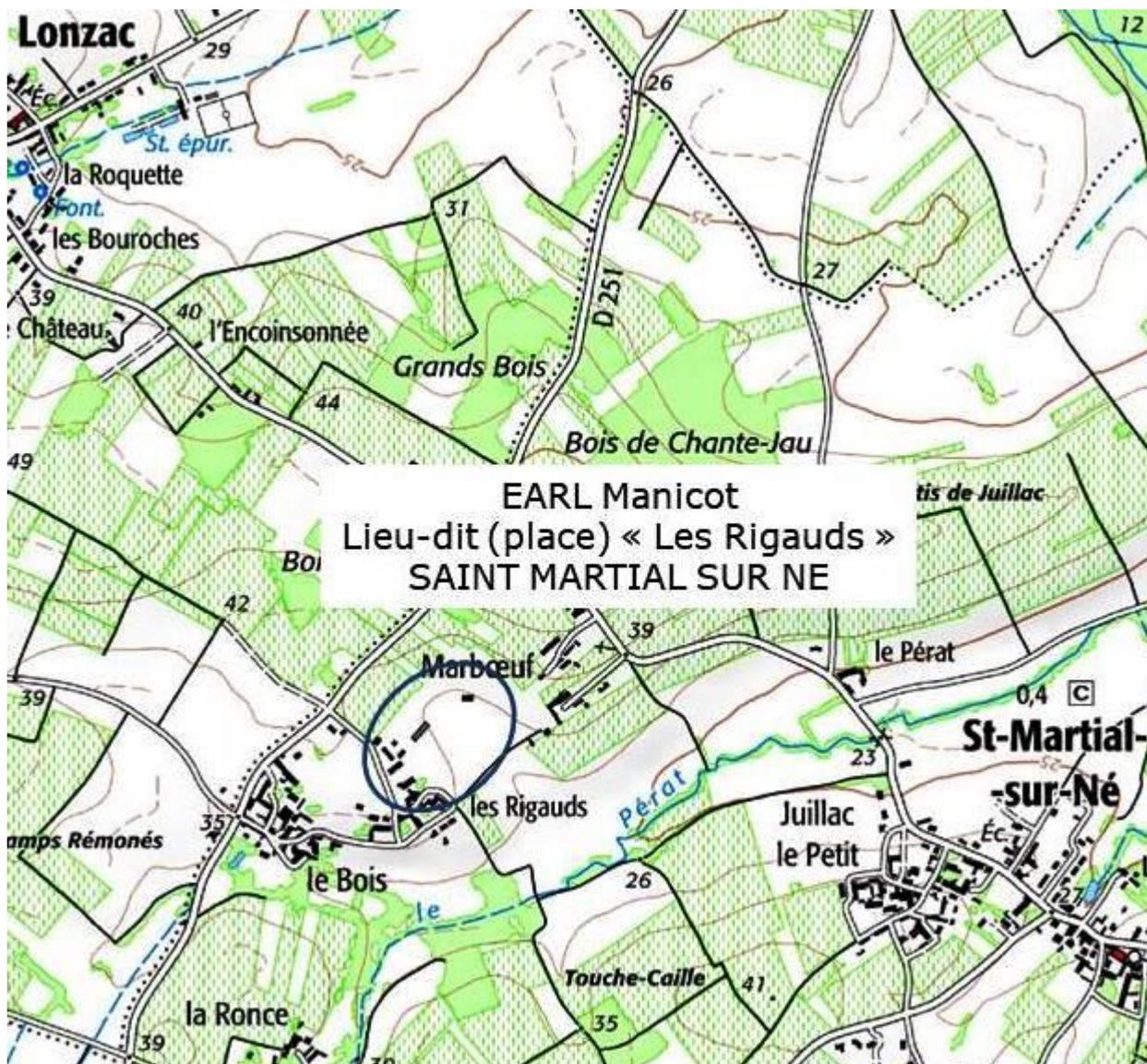


Figure 1 : Situation géographique de l'exploitation
(Source : IGN, SCAN 25® - Chambre d'agriculture de Charente-Maritime, 2019)

L'exploitation familiale Manicot est principalement tournée vers l'élevage d'oies grasses, leur transformation en aliments et plats cuisinés et la vente directe.



Élevage d'oies
Foie gras *M*ANICOT

<http://www.manicot.fr>

Avec une SAU de 93 ha, cette exploitation regroupe les ateliers suivants :



Figure 2 : Ateliers de l'exploitation Manicot

L'exploitation a une SAU de 93 ha, avec une zone d'aire d'exercice pour les oies de 7 ha, implantée en Dactyle et Fétuque, et une surface de production végétales de 86 ha destinées à l'alimentation des oies et à la vente.

2.1 Le système agroforestier.

L'EARL Manicot s'est engagée depuis 2002 dans des actions d'amélioration de l'autonomie énergétique et de transformation vers une économie plus circulaire :

- Abandon de la viticulture et développement des cultures céréalières et protéagineuses pour l'autonomie alimentaire de l'élevage ;
- Traitement des eaux usées par bassins à roseaux ;
- Bâtiments en bois ;
- Utilisation de la biomasse résiduelle pour le chauffage (bois et graisse d'oie) ;
- Panneaux solaires thermiques et photovoltaïques...

En 2010 l'EARL Manicot lance son programme agroforestier avec

1. 5 ha d'aire d'exercice implanté en agroforesterie traditionnelle pour augmenter le confort des animaux (ombrage) et faciliter la production prairiale des parcours ;
2. 8 ha de grandes cultures implantées en taillis linéaire intra-parcellaire par bandes de 6 m de large espacées de 36 m, pour la production de biomasse énergétique ;
3. 380 m linéaires d'agroforesterie sur fossé drainant en sortie de bassin de traitement des eaux ;
4. 570 m linéaires d'agroforesterie en têtards pour amélioration du paysage.

Les essences implantées sont rustiques : Charme, Chêne, Cerisier, Cornouiller, Erable, Frêne, Noisetier, Noyer, Poirier, Pommier, Prunellier, Orme, Troène, Viorne.

Etant donné l'intérêt de l'exploitation pour son autonomie énergétique, il est fort probable que l'exploitation des haies en taillis intra-parcellaires devienne à moyen terme un atelier de l'exploitation à part entière.

De 2019 à 2022, nous avons mis en place en concertation avec les exploitants un suivi des itinéraires de fertilisation intégrant des apports d'effluents d'élevage sur la parcelle dite « La terrière-Champ » de 8 ha en grandes cultures et qui est implantée avec les taillis linéaires.

2.2 La production d'effluents d'élevage.

Le cheptel annuel de 4500 oies génère du fumier et du lisier.

Habituellement les effluents sont recyclés sur l'exploitation, ce qui est le cas majoritaire des systèmes en polyculture – élevage : ils sont épandus sur les parcelles suffisamment éloignées du bourg pour des raisons de relationnel avec le voisinage, sur Triticale principalement.



Figure 3 : Situation des zones agroforestières
 (Source : Chambre d'agriculture 17, 2019)



Figure 4 : Bassin à rhizophyte, parcours et implantation agroforestière en 2015.
 (Source : EARL Manicot, 2015)



Figure 5 : Taillis linéaire intra-parcellaire en 2018
(Source : EARL Manicot, 2018)



Figure 6 : Taillis linéaire intra-parcellaire en 2019
(Source : Chambre d'agriculture 17, 2019)

Du point de vue matériel, l'exploitation possède en propre une tonne à lisier et emploie l'épandeur à fumier de sa CUMA. L'épandage du fumier demande donc un peu plus d'organisation préalable.

Cependant les deux natures d'effluents – lisier et fumier - n'ont pas les mêmes propriétés fertilisantes.

L'opération de démonstration engagée avec l'exploitation doit apporter une meilleure connaissance de l'efficacité des deux types d'effluent pour l'amélioration de leur valorisation comme fertilisant.

3 MATERIEL ET METHODE : DISPOSITIF DE DEMONSTRATION

3.1 Zone d'étude : la parcelle « La Terrière-Champ »

Cette parcelle de plus de 8 ha contient une zone avec implantation de haie - Ouest et sud - et une zone de plein champ – Est et Nord.



Figure 7 : la parcelle « La Terrière-Champ » en mars 2019.
(Source : Chambre d'agriculture 17, 2019)

Notons que la zone de plein champ au Nord comprend en particulier un site implanté en vigne jusqu'en 2017.

Le dispositif de démonstration divise la parcelle en quatre zones – du Sud-ouest au Nord-est :

1. Une bande A agroforestière (0.956 ha) qui recevra deux épandages en 2019 et en 2021 ;
2. Une bande B agroforestière (0.971 ha) qui recevra deux épandages en 2020 et en 2021 ;
3. Une zone C agroforestière (1.665 ha) avec une fertilisation conventionnelle à partir de fertilisants de synthèse ou d'extraction ;
4. Une zone D de plein champ (4.744 ha) avec fertilisation conventionnelle.



Figure 8 : dispositif de démonstration sur la parcelle « La Terrière-Champ »
 (Source : Chambre d'agriculture 17, 2019)

Notons que la zone sous influence agroforestière – qui représente 3.6 ha – contient 6 lignes de haie pour un total de 975 m linéaires (segments de 110 à 220 m).

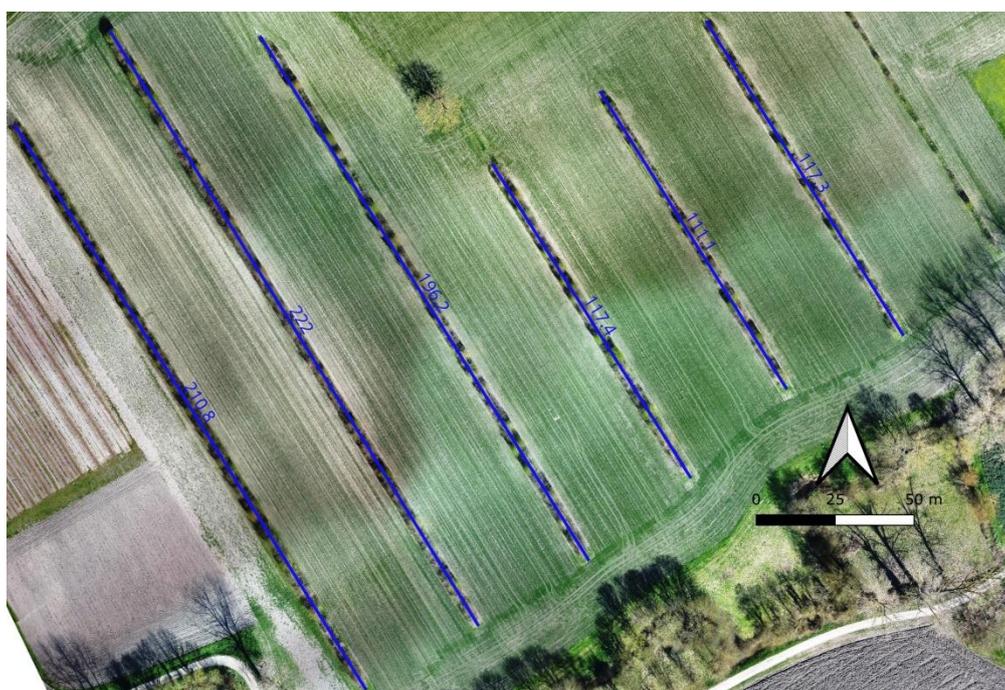


Figure 9 : Lignes de haie intra-parcellaire sur « La Terrière-Champ » (en m).
 (Source : Chambre d'agriculture 17, 2019)

Par souci de cohérence, nous conserverons cette configuration au cours de la période 2019 – 2021.

Il faut noter cependant que la situation de l'implantation agro-forestière a évolué au cours de la période de suivi :

- Implantation de nouveaux segments de haie en 2020 ;

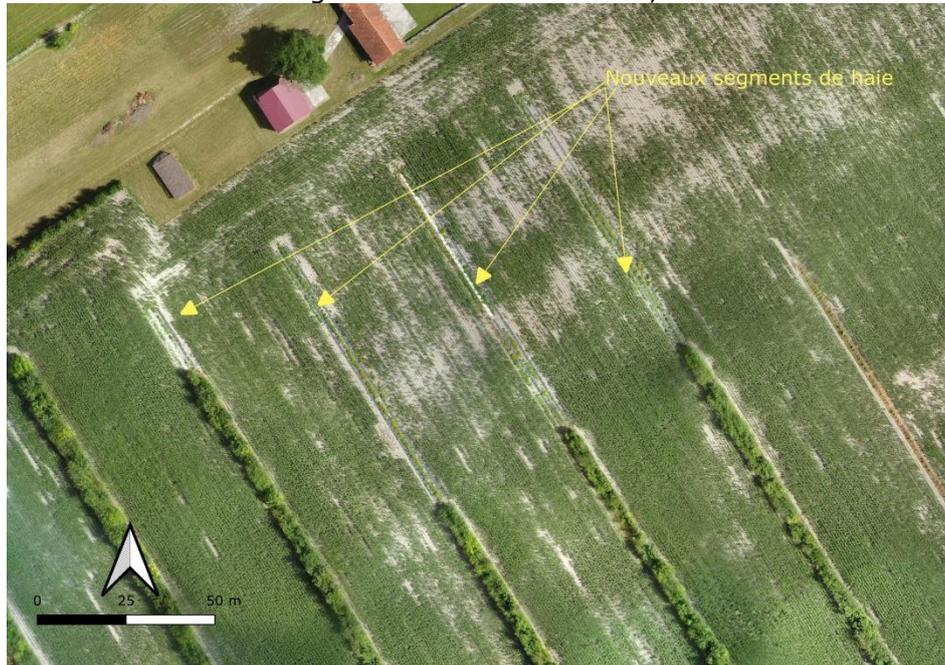


Figure 10 : implantation de haie sur la parcelle la « Terrière-Champ » au 29/06/2020.
(Source : Chambre d'agriculture 17)

- Coupe d'un premier segment pour récolte du bois-énergie 2021 ;

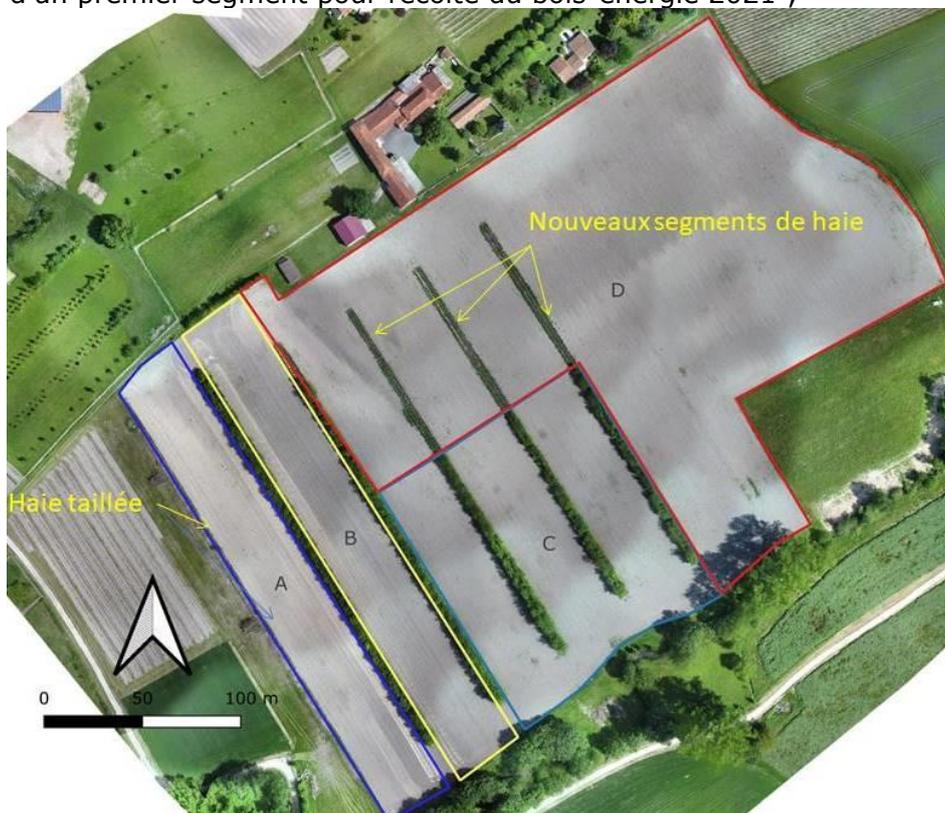


Figure 11 : Parcelle la « Terrière-Champ » au 27/05/2021.
(Source : Chambre d'agriculture 17)

- Coupe d'un deuxième segment en 2022 ;

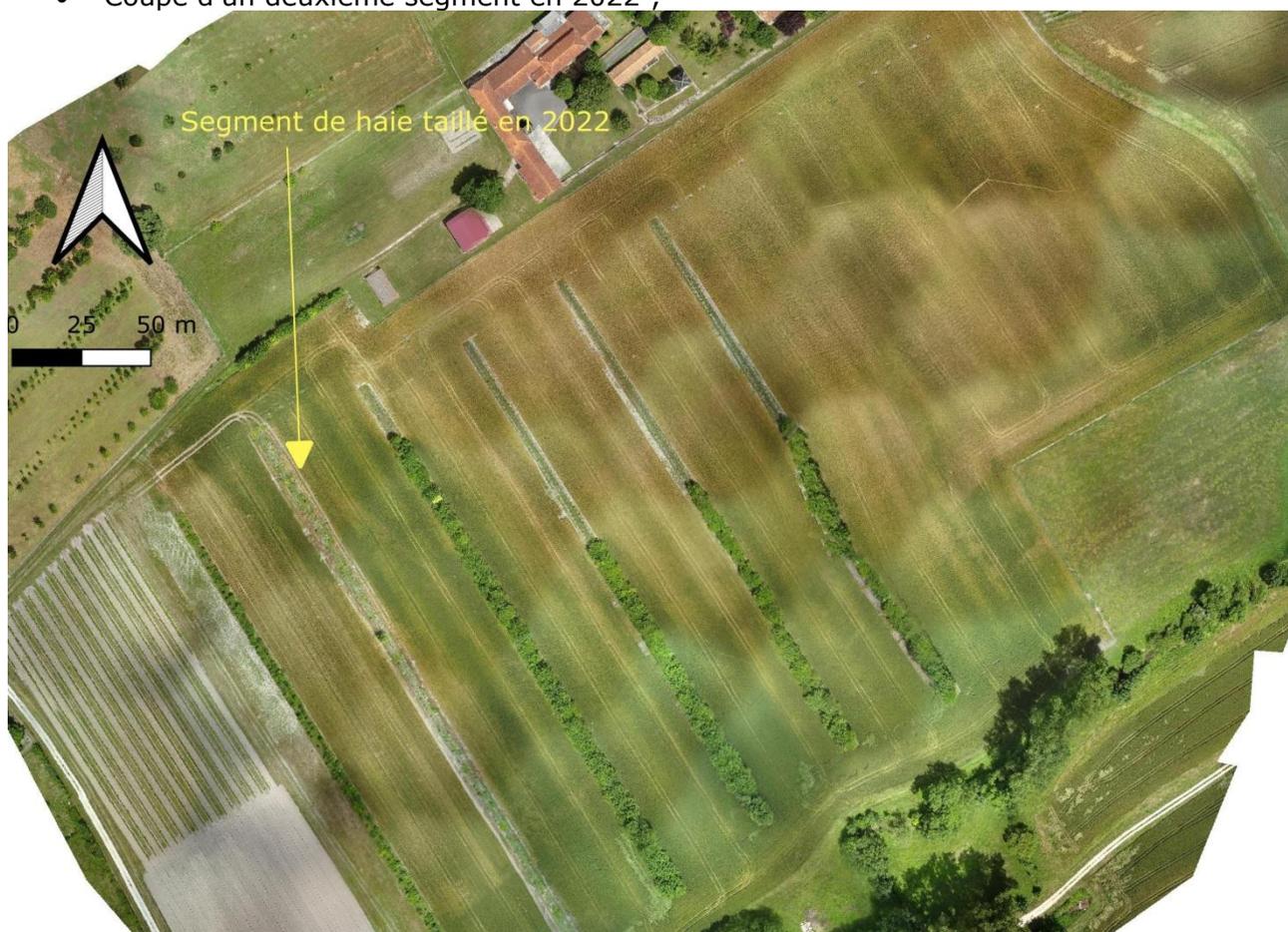


Figure 12 : Parcelle la « Terrière-Champ » au 07/06/2022.
(Source : Chambre d'agriculture 17)

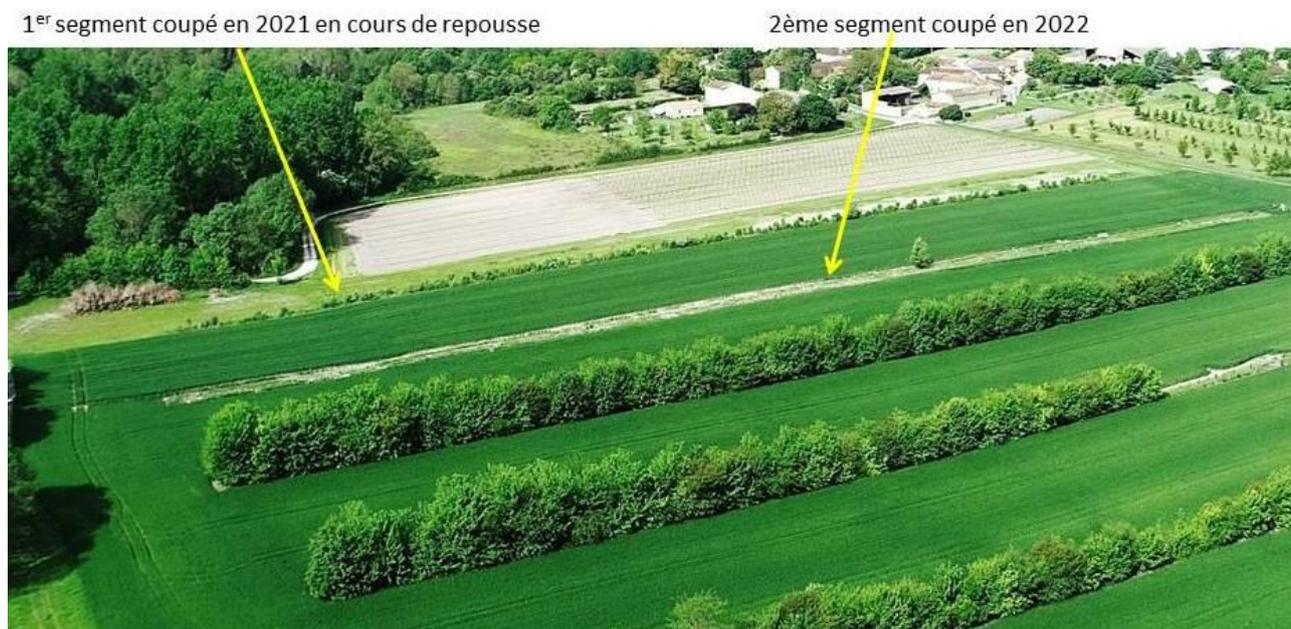


Figure 13 : Situation des coupes de segment de haie en mai 2022.
(Source : Agrobjetif et Chambre d'agriculture 17)

3.2 Itinéraires de fertilisation et protocoles de suivi associés pour les campagnes 2019 - 2022.

Des itinéraires de fertilisation par zone ont été appliqués par les exploitants pour les différentes zones :

Bandes/ Zones	Surface (ha)	2019	2020	2021	2022
A	0.956	Lisier + fertilisation minérale	Fertilisation minérale	Lisier + fertilisation minérale	Lisier + fertilisation minéral
B	0.971	Fertilisation minérale	Fumier + fertilisation minérale	Lisier + fertilisation minérale	Fertilisation minérale
C	1.665	Fertilisation minérale	Fertilisation minérale	Fertilisation minérale	Fertilisation minérale
D	4.744	Fertilisation minérale	Fertilisation minérale	Fertilisation minérale	Fertilisation minérale

Les itinéraires techniques simplifiés des campagnes de Blé tendre d'hiver (var. Izalco) 2019, de Maïs (var. Vestas) 2020, de Maïs (var. RGT XXACT) 2021 et blé tendre d'hiver (var. IZALCO) 2022 sur la parcelle « La Terrière-Champ » sont présentés pages suivantes avec les protocoles de suivi associés.

Ces protocoles comprennent :

- des prélèvements d'effluents pour analyse agronomique ;
- des prélèvements de terre pour analyse agronomique et biologique ;
- des prises d'image de télédétection par drone pour le suivi de la végétation, associées ou non à des mesures au sol de la situation azotée par capteur manuel.

Pour la première campagne de suivi – 2019 - nous avons réuni des informations concernant les effluents et les sols pour établir une situation de départ et nous avons testé le suivi par télédétection et capteur manuel.

Nous avons également mené des observations et fait un échantillonnage de végétal avant la récolte.

Le suivi de la campagne 2020 a été moins fourni, notamment pour des raisons de moindre communication avec les exploitants.

- ✓ Nous avons fait des prélèvements de terre en décembre 2019 pour conduire des cinétiques de minéralisation pour les deux bandes en fertilisation organique A et B – mesure d'un arrière-effet du lisier sur A et d'un effet pour la campagne 2021 pour B. Mais une erreur de menu au laboratoire nous a privé des résultats.
- ✓ Nous avons renouvelé l'échantillonnage de terre avec apport de fumier en septembre 2020 pour une évaluation de la minéralisation de l'azote a posteriori sur B.

Pour la campagne 2021 – deuxième campagne de maïs – nous avons déroulé un travail de suivi plus intense, avec en particulier plus de mesures de télédétection et de capteur au sol.

De plus, une meilleure communication avec les exploitants nous a permis de conduire un travail de prélèvement de végétal pour une appréciation plus fine des résultats de l'itinéraire de fertilisation.

La quatrième campagne de suivi, en 2022, n'était pas prévue dans le programme initial. Nous avons cependant réalisé deux passages de drone pour télédétection puis un prélèvement de terre pendant l'été 2022.



Figure 14 : itinéraire technique (simplifié) et protocole de suivi pour la culture de Blé tendre d’hiver 2019 sur la parcelle « La Terrière-Champ »

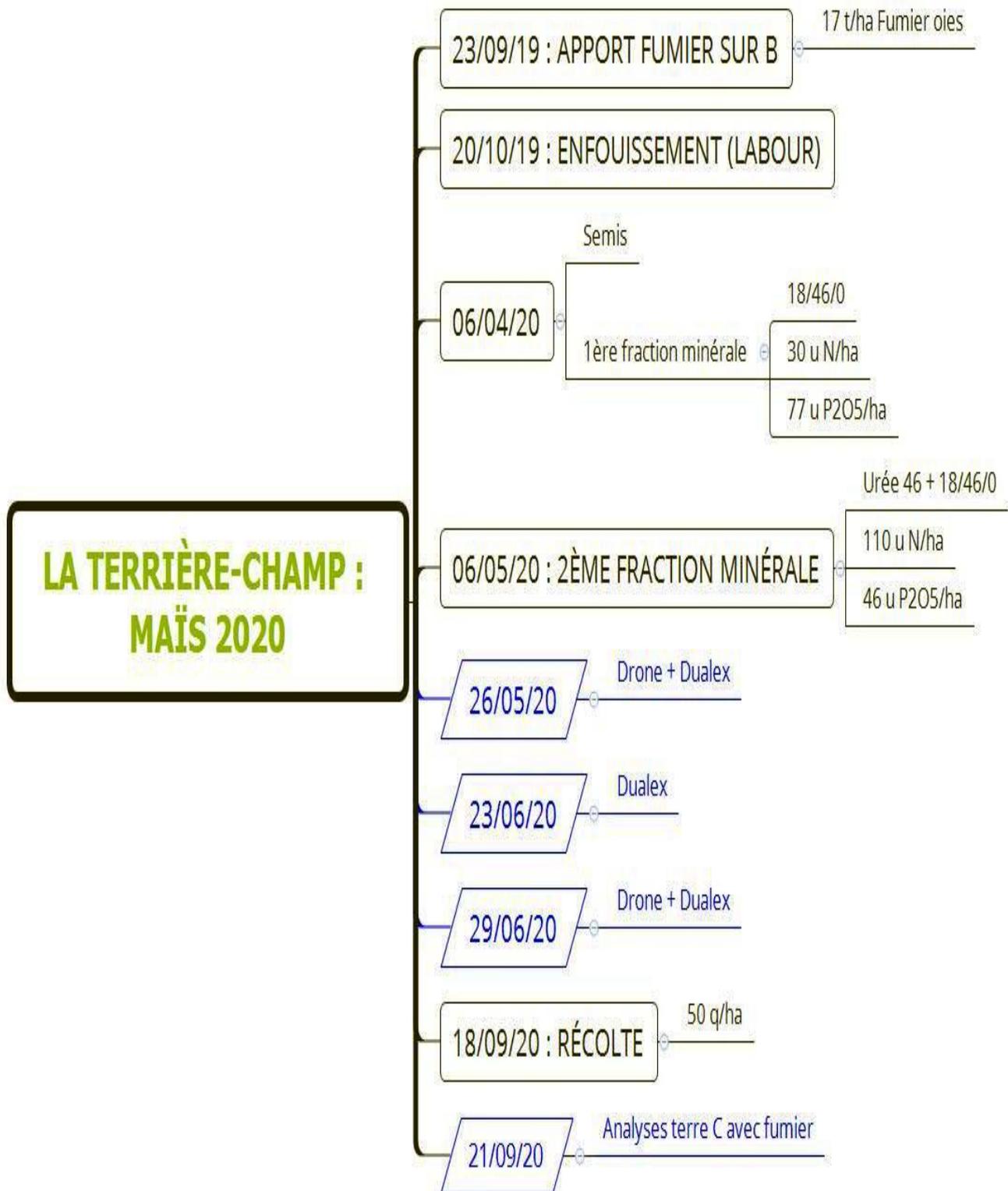


Figure 15 : itinéraire technique (simplifié) et protocole de suivi pour la culture de Maïs 2020 sur la parcelle « La Terrière-Champ »

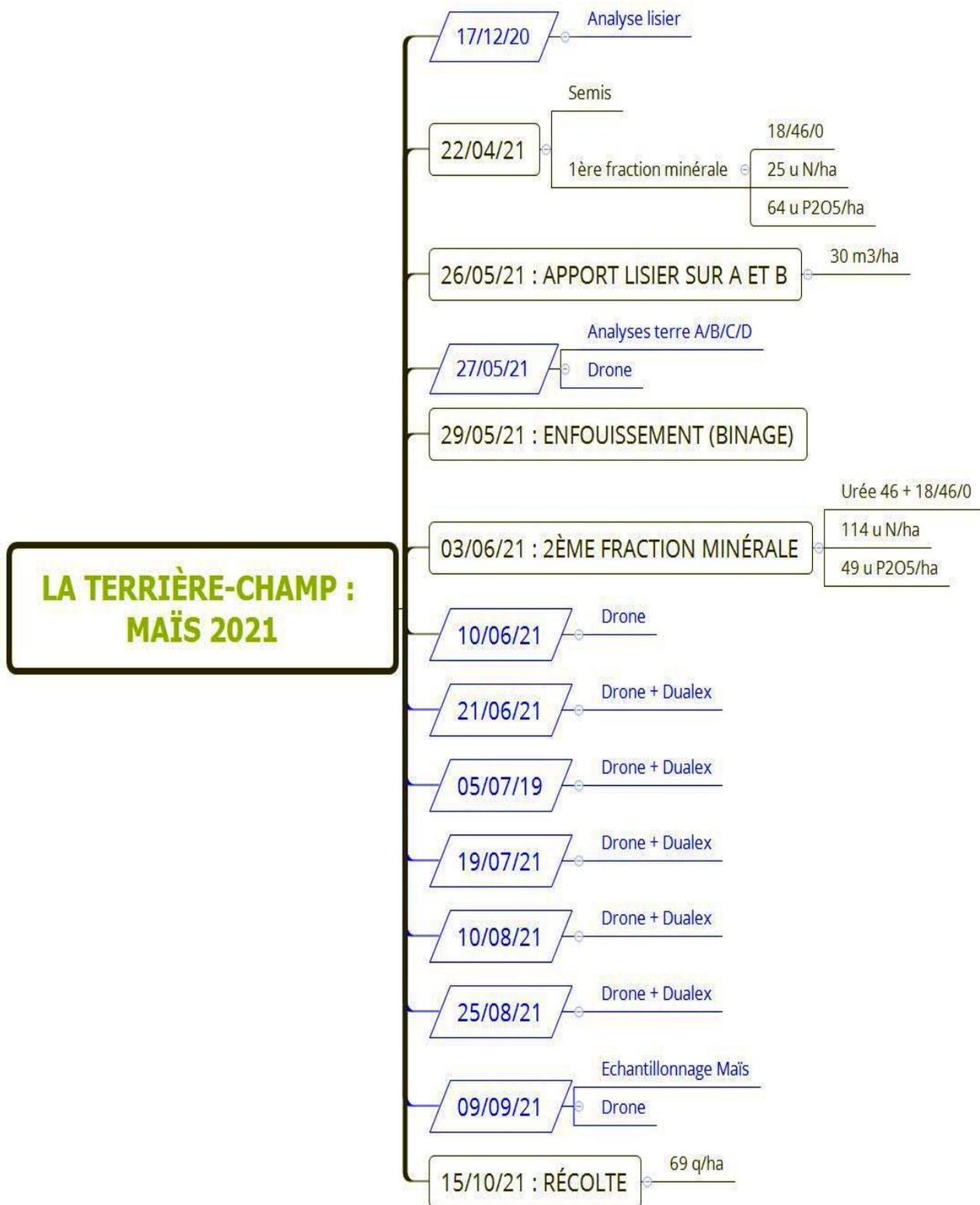


Figure 16 : itinéraire technique (simplifié) et protocole de suivi pour la culture de Maïs 2021 sur la parcelle « La Terrière-Champ »

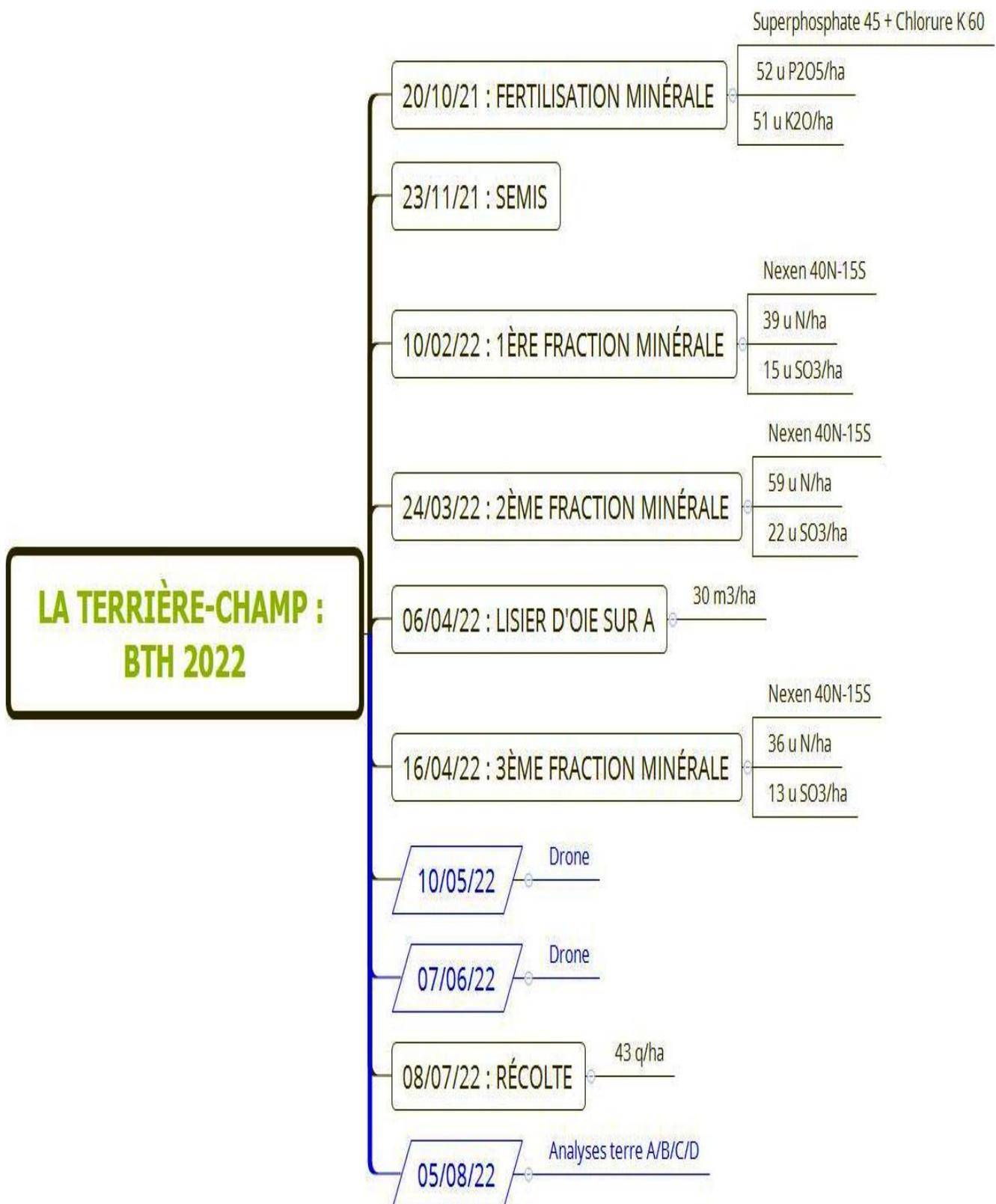


Figure 17 : itinéraire technique (simplifié) et protocole de suivi pour la culture de Blé tendre d'hiver 2022 sur la parcelle « La Terrière-Champ »

Les analyses des effluents et les analyses de terre ont été réalisées par le laboratoire AUREA Agro-sciences et par le laboratoire Celesta.

3.3 Éléments innovants de suivi agronomique

3.3.1 *Appréciation de la fertilité azotée du sol par cinétique de minéralisation.*

Le protocole de cinétique de minéralisation est une version simplifiée de la norme française FD U44-163 conçue en 2008 par le laboratoire LCA - actuellement laboratoire AUREA Agro-sciences (BERNARD et GUILLOTIN, 2013). Il permet de mesurer les proportions de l'azote organique du sol qui se minéralisent pendant un certain nombre de jours d'incubation : c'est une évaluation de la quantité potentielle d'azote fournie par le sol.

Une modification a été apportée en 2014 (BERNARD et GUILLOTIN, 2015) : les dates de mesure ont été repositionnées sur la base des équivalences entre cycles de culture et jours d'incubation pour trois cas de culture significative du département de Charente-Maritime. Selon les aléas climatiques, un cycle correspond à 10 jours (situation climatique défavorable à la minéralisation) à 30 jours (conditions très favorables) avec une valeur médiane de 20 jours d'incubation.

Sous certaines hypothèses (profondeur, densité apparente) concernant l'horizon de minéralisation, on peut évaluer l'apport du sol en azote en kg N/ha.

Nous avons déjà testé cette méthode en suivi agronomique en 2018 (BERNARD ET LOMBARD, 2019).

3.3.2 *Etat du carbone dans le sol et niveau d'activité biologique*

Nous avons choisi d'évaluer la situation du carbone dans le sol avec le protocole de fractionnement de la matière organique proposé par l'INRAe (méthode de tamisage sous l'eau).

Le fractionnement granulométrique de la matière organique permet d'isoler la partie humifiée de la matière organique (fraction fine < 50 micromètres) de la partie labile (fraction grossière > 50 micromètres). La fraction humifiée de la matière organique correspond à la partie « inerte » et stabilisée, constituant la fraction « humus stable » du complexe argilo-humique. Il évolue très lentement. La fraction labile de la matière organique correspond au pool de matière organique en voie de transformation, son carbone va évoluer par minéralisation sous forme de CO₂ et son azote sous forme d'azote minéral.

Nous considérons que le stockage du carbone dans le sol peut s'évaluer à partir de la fraction humifiée de la matière organique.

Nous avons retenu la mesure de la biomasse microbienne (méthode de fumigation/extraction dérivée de la norme NF ISO 142 40-2) pour évaluer l'état d'activité biologique des sols.

La matière organique du sol est constituée de carbone en partie sous forme microbienne : la biomasse microbienne (BM). La mesure de la BM permet de connaître la taille du compartiment microbien du sol. Cette fraction vivante de la matière organique du sol représente la quantité de « carbone vivant » contenue dans les microbes du sol, principalement les bactéries et les champignons et réagit rapidement aux changements de pratiques culturales (labour, intrants organiques, restitution des résidus, ...). C'est à la fois un compartiment transformateur (potentiel de minéralisation du sol) et un compartiment (stockage) capable de piéger des éléments tels que l'azote.

3.3.3 *Suivi du développement cultural par télédétection.*

La Chambre d'agriculture de Charente-Maritime a conduit préalablement des travaux de développement méthodologique (DE PIERREPONT et BERNARD, 2016) et d'application (BERNARD et LOMBARD, 2019) pour l'usage des images de télédétection en suivi agronomique.



Figure 18 : Profil de sol et échantillon de terre sur la parcelle « La Terrière-Champ »,
2019
(Source : Chambre d'agriculture 17)



Figure 19 : Drone et caméra multispectrale
(Source : Chambre d'agriculture 17)

Les images brutes sont prises avec une caméra multispectrale modèle multiSPEC 4C (version MSP11) de la société Airinov, portée par un drone eBee de la société SenseFly. Cette caméra enregistre la réflectance de quatre longueurs d'onde : 550 nm (vert), 660 nm (rouge), 735 nm (Rouge « limite ») et 790 nm (proche infrarouge). Les images sont traitées avec le logiciel Pix4Dmapper pro © pour obtenir les quatre cartes de réflectance initiales, sous forme d'images géoréférencées.

Les images de base sont interprétées en indices de végétation, combinaisons algébriques des valeurs de réflectance, qui fournissent des informations utiles sur la végétation (SRINIVAS et col, 2004 et CHEREL, 2010 cités par De Pierrepont et Bernard, 2016).

Nous utiliserons notamment :

- L'estimation de la biomasse végétale au sol avec l'indice NDVI (ROUSE et col, 1972 cité par DE PIERREPONT et BERNARD, 2016) ;
- L'évaluation du niveau de nutrition azoté de la culture, modélisé à partir des indices MTCI, MNLI, MSAVI2 ou WDRVI (BERNARD et LOMBARD, 2019).

L'indice NDVI se situe dans l'intervalle $[-1 ; 1]$. La biomasse végétale au sol est signalée à partir de la valeur 0.2 et sa densité est corrélée positivement avec l'indice NDVI sur l'intervalle $[0.2 ; 1]$.

Cependant l'indice sature pour les fortes valeurs de biomasse.

3.3.4 Suivi de la nutrition azotée des cultures par capteur manuel.

L'analyse des images issues de la télédétection peut être complétée par des mesures au sol de la teneur en azote des plantes, à l'aide du capteur manuel Dualex Scientific sensor (société Force A). L'appareil mesure les taux de chlorophylle et de polyphénol des feuilles.

Pour chaque mesure, le capteur affiche les niveaux de chlorophylle et de flavanols mesurés par fluorescence et calcule un indice de statut azoté appelé NBI défini par le rapport Chlorophylle/Flavanols.

Sur la base de travaux internes, nous utilisons l'échelle de mesure suivante :

1. $NBI < 20$ \Rightarrow la culture a besoin d'apport d'azote ;
2. $20 \leq NBI < 30$ \Rightarrow le niveau N de la culture est équilibré ;
3. $NBI \geq 30$ \Rightarrow Consommation « de luxe » d'azote.

Cet appareil dispose d'un récepteur GPS pour localiser les mesures avec un outil SIG.



Figure 20 : capteur Dualex.
(Source : Chambre d'agriculture 17)

4 RESULTATS : SUIVI DU RECYCLAGE DES EFFLUENTS ORGANIQUES EN SITUATION AGROFORESTIERE DE 2019 A 2021.

4.1 Caractérisation et quantification des effluents.

4.1.1 *Valeur agronomique des effluents.*

Table 1 : Caractérisation agronomique des effluents d'élevage de l'EARL Manicot.

Effluents	Lisier			Fumier	Unités
	05/02/2019	17/12/2020	Moyenne	05/02/2019	
MS	3.5	2.2	2.85	19.1	% MB
MO	2.18	1.78	1.98	11.02	% MB
	62.55	79.56	71.055	57.71	% MS
N total	0.18	0.13	0.155	0.45	% MB
	5.2	5.9	5.537	2.36	% MS
N minéral	0.04	0.06	0.05	0.05	% MB
	1.18	2.72	1.95	0.24	% MS
N organique	0.14	0.07	0.105	0.4	% MB
	4.03	3.04	3.535	2.11	% MS
P2O5	0.11	0.1	0.105	0.24	% MB
	3.07	4.66	3.865	12.58	% MS
K2O	0.1	0.1	0.1	0.46	% MB
	2.93	4.62	3.775	24	% MS

MS : matière sèche, en % matière brute (MB) – MO : matière organique.

Les teneurs en éléments NPK sur brut sont assez faibles : moins de 0.5% par élément. Ces effluents en l'état ne peuvent pas prétendre à la qualification commerciale d'engrais.

Mais dans le cas d'un recyclage au sein de l'exploitation, ils ont une valeur fertilisante.

4.1.2 *Quantification de la production d'effluent*

L'évaluation des stocks d'effluents croisant l'estimation par le logiciel de fertilisation *Clé de sol*, le temps de parcours des animaux et les estimations des exploitants a abouti à un résultat de :

145 m3 de lisier et 25 tonnes de fumier par an.

Si l'on considère les quantités estimées et les résultats d'analyse, le gisement d'effluent représente un potentiel fertilisant théorique de :

N	P ₂ O ₅	K ₂ O
338 kg	212 kg	260 kg

4.1.3 Teneurs en éléments traces des effluents

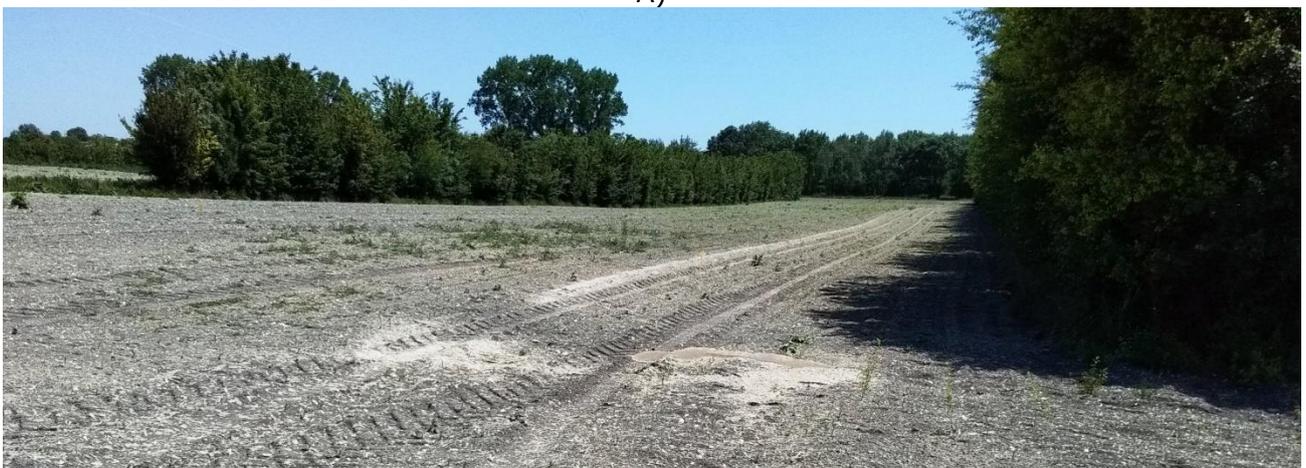
Table 2 : Teneurs en éléments traces des effluents d'élevage de l'EARL Manicot.

ETM (mg/kg MS)	Lisier		Fumier 2019	Seuils de référence Arrêté du 01/04/20 (LEGIFRANCE 2020)
	2019	2020		
Cd	0.12	0.333	0.288	1
Cr	2.92	1.93	3.64	120
Cu	76.4	36.2	29.8	300
Hg	0	0	0.011	1
Ni	4.32	5.88	2.44	50
Pb	2.18	1.46	2.27	120
Zn	547	394	150.4	800

On constate que par rapport aux seuils de référence proposés, les teneurs sont assez faibles – moins de 33% - en dehors du zinc – moins de 68%- et sans dépassement.



A)



B)

Figure 21 : Zones d'étude A et B après épandage de lisier, au 27/05/21.
(Source : Chambre d'agriculture 17, 2021)

4.2 Etat et fonctionnement du sol de la parcelle « La Terrière-Champ ».

Les quatre zones d'étude (A, B, C, D) ont fait l'objet de trois prélèvements de terre pour analyse les 05/02/19 (situation initiale), 27/05/21 et 05/08/22 après la campagne culturale de 2022.

4.2.1 Situation texturale et caractérisation physico-chimique : proposition d'un profil de sol

Table 3 : Caractérisation texturale et physico-chimique de la parcelle « La Terrière-Champ ».

Zone		A%	L%	S%	Type textural ¹	pH	Calcaire total (%)	CEC (meq/100g)
A	2019	40.9	42.8	16.3	AL	8.2	29.1	32
	2021	37.4	43.6	19		8.3	31.5	29
	2022	-	-	-	-	8.2	48.0	21.6
B	2019	42	38.3	19.7	AL	8.1	35.9	29.6
	2021	53.8	36	10.2	ALO	8.3	11.8	36.9
	2022	-	-	-	-	8.2	7.1	36.8
C	2019	51.1	35.2	13.7	ALO	8.1	16.3	34.9
	2021	53.3	35.4	11.3		8.3	14	33
	2022	-	-	-	-	8.2	25.8	28.3
D	2019	46.8	41.4	11.8	ALO	8.2	16.1	32
	2021	51.5	33.6	14.8		8.5	19.6	34.2
	2022	-	-	-	-	8.2	22.2	32.5
Parcelle		48	38	14	ALO	8.3	21.0	32.3

1 selon JAMAGNE, 1967 cité par BONNEAU et SOUCHIER, 1979.

La texture présente une forte proportion d'argile et se classe dans la catégorie des argiles lourdes. Ce sont des sols à forte capacité de rétention en eau, avec une terre très plastique et collante en condition humide – on la qualifie localement de terre « *amoureuse* ».

Ce sont des sols à tendance basique – pH très homogène – avec une présence notable du calcaire – plus de 15% de calcaire total – ce qui place le sol de la parcelle dans la famille des sols carbonatés.

Ce sol est doté d'un fort potentiel de fertilité chimique – forte valeur de CEC.

Les investigations de terrain, avec sondage à la tarière, complétant les données analytiques indiquent un profil de sol de type Calcosol rédoxique argileux (BERNARD, 2014). Il est désigné sous le nom de "Champagne" dans la terminologie vernaculaire.

C'est un sol avec deux horizons pédologiques :

1. L'horizon supérieur, siège principal de l'activité biologique, d'épaisseur moyenne de 20 cm, avec environ 10% d'éléments grossiers ;
2. L'horizon intermédiaire d'épaisseur allant de 30 à 40 cm et dont dépend de 50 à 70 % de la capacité hydrique.

Il s'agit d'un type de sol intéressant du point de vue de la fertilité chimique mais difficile à travailler en condition humide et d'accessibilité plus limitée que les autres types de sol.

Notons que l'inclinaison de la parcelle limite les manifestations possibles d'engorgement ou d'hydromorphie avec une circulation transversale de l'eau du sol plutôt lente du Nord vers le Sud.

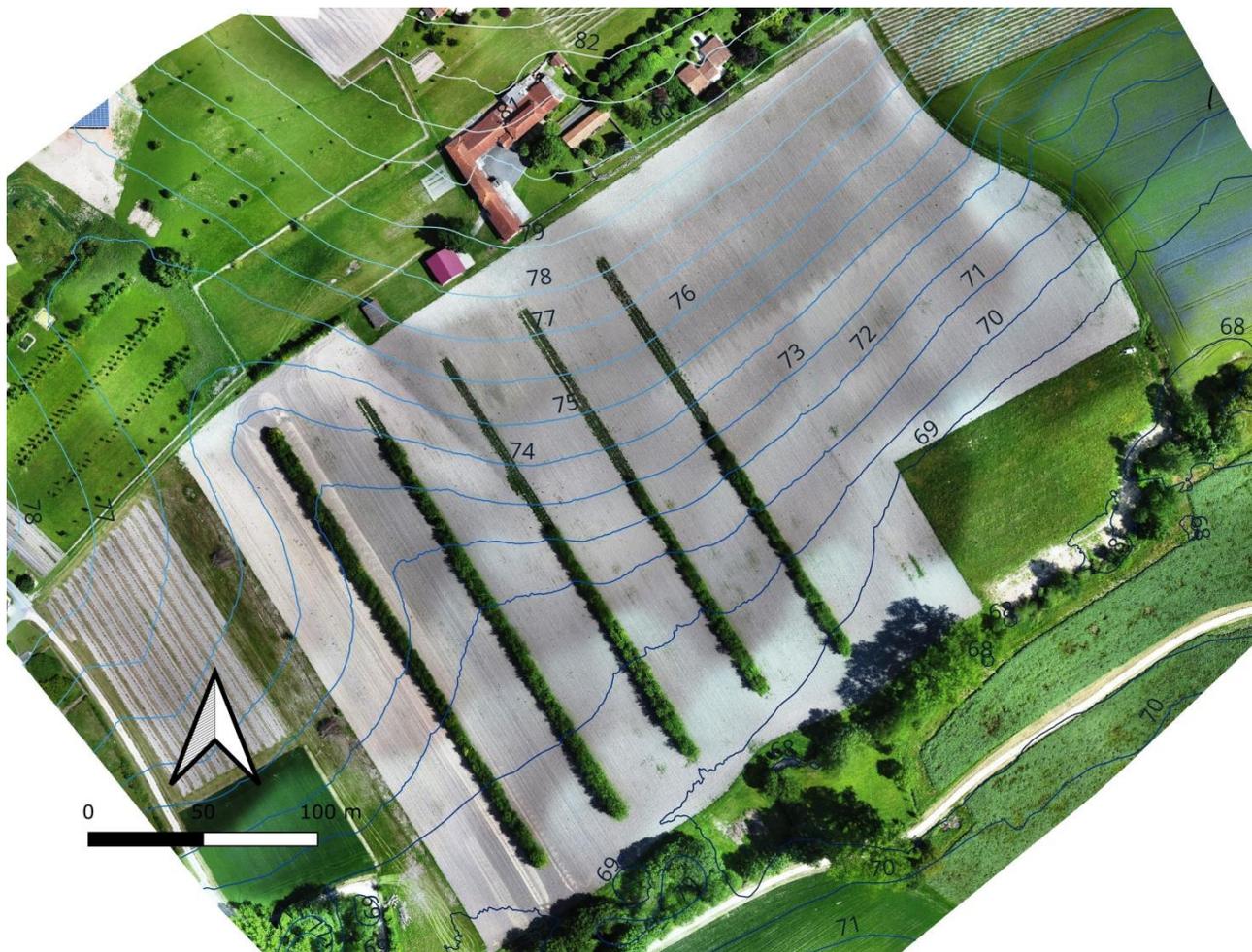


Figure 22 : Dénivellation de la parcelle « La Terrière-Champ »
(Source : Chambre d'agriculture 17, 2021)

N.B.

Pour le calcul d'estimations concernant les stocks élémentaires du sol, en particulier le carbone (C) et l'azote (N), nous utiliserons les hypothèses suivantes concernant les zones d'étude et leurs sols :

Zones	A	B	C	D
Surface (ha)	0.956	0.971	2.13	4.256
Epaisseur de l'horizon de labour (cm)	20	20	20	20
Masse surfacique (t/ha)	2700	2800	2600	2600
Taux d'éléments grossiers EG (%)	10	10	10	10

Ces valeurs ont été définies à partir de nos investigations de terrain et ont été consolidées avec des résultats de modélisations provenant de l'outil INRAe STICS ©.

4.2.2 Situation agronomique du sol.

Table 4 : Caractérisation agronomique de la parcelle « La Terrière-Champ »

	A			B			Références pour calcosol rédoxique argileux ¹
	2019	2021	2022	2019	2021	2022	
MO (%)	2.6	2.9	2.3	3.2	3.4	3.1	6
N total (%)	0.169	0.215	0.138	0.178	0.231	0.183	0.3
C/N	9.1	7.8	9.6	10.5	8.5	9.8	10.5
CaO (g/kg)	16.49	17.39	16.35	16.08	18.78	18.63	-
P ₂ O ₅ JH (g/kg)	0.315	0.318	0.236	0.277	0.476	0.641	0.187
K ₂ O (g/kg)	0.572	0.51	0.451	0.524	0.584	0.637	0.502
MgO (g/kg)	0.249	0.263	0.205	0.245	0.331	0.348	0.264
Na ₂ O (g/kg)	0.035	0.056	0.04	0.031	0.062	0.054	0.052
	C			D			Références pour calcosol rédoxique argileux ¹
	2019	2021	2022	2019	2021	2022	
MO (%)	2.8	3.1	2.7	4	2.9	2.8	6
N total (%)	0.171	0.184	0.159	0.202	0.175	0.178	0.3
C/N	9.3	9.8	10.0	11.4	9.7	9.2	10.5
CaO (g/kg)	18.56	18.77	17.37	16.91	18.18	17.88	-
P ₂ O ₅ JH (g/kg)	0.507	0.438	0.298	1.482	0.596	1.064	0.187
K ₂ O (g/kg)	0.679	0.542	0.693	1.447	0.808	1.188	0.502
MgO (g/kg)	0.333	0.315	0.270	0.443	0.354	0.409	0.264
Na ₂ O (g/kg)	0.034	0.049	0.032	0.038	0.045	0.036	0.052

Interprétation des couleurs : Niveau faible - Niveau souhaitable - Niveau élevé (selon le laboratoire).

¹ d'après BERNARD, 2014.

Le niveau des stocks phospho-potassiques est assez élevé, plus élevé que le niveau moyen observé sur sol de Champagne – en particulier pour le phosphore. Les éléments Mg et Na sont à niveau suffisant, plus proche de la moyenne.

Le niveau des indicateurs organiques est plus faible que dans le cas du profil standard, ce qui témoigne d'un sol assez actif du point de vue biologique.

Nous pouvons proposer une évaluation de la fertilité azotée du sol à partir des données de cinétique de minéralisation établies pour chaque zone d'étude.

Les mesures s'expriment sous forme de pourcentage de minéralisation du taux d'azote initial du sol. Nous proposons également le calcul de l'équivalent en kg d'azote minéralisé /ha, sous les hypothèses concernant la masse surfacique de l'horizon supérieur et de la teneur en élément grossier.

Table 5 : Cinétiques de minéralisation de l'azote du sol de la parcelle « La Terrière-Champ »

Zone	Période	% d'azote minéralisé après incubation			
		7 jours	17 jours	27 jours	37 jours
A	2019	0.3	0.7	1.4	1.3
	2021	0.52	1.36	2.05	2.64
	2022	0.1	0.6	0.8	1
B	2019	0.2	0.5	1.2	1.5
	2021	0.06	0.26	0.57	0.74
	2022	0.1	0.2	0.2	0.3
C	2019	0.4	0.9	1.7	2.3
	2021	0.49	0.94	1.2	1.35
	2022	0.2	0.3	0.4	0.4
D	2019	0.5	0.9	1.3	1.9
	2021	0.25	0.68	0.92	1.15
	2022	0.2	0.4	0.5	0.7
Zone	Période	Equivalent d'azote libéré après incubation (en kg/ha)			
		7 jours	17 jours	27 jours	37 jours
A	2019	12.8	29.9	59.9	55.6
	2021	27.8	72.7	109.6	141.1
	2022	3.4	20.1	26.8	33.5
B	2019	11.7	29.4	70.5	88.1
	2021	3.5	15.1	33.0	42.9
	2022	4.6	9.2	9.2	13.8
C	2019	18.2	40.9	77.2	104.4
	2021	20.6	39.6	50.5	56.9
	2022	7.4	11.2	14.9	14.9
D	2019	23.0	41.5	59.9	87.6
	2021	10.5	28.6	38.8	48.4
	2022	8.3	16.7	20.8	29.2
		7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
Terre + fumier 2020 ¹	% N minéralisé	0.3	0.4	0.5	0.5
	Equivalent kg/ha	23.4	31.2	39.1	39.1

¹ le protocole utilisé par le laboratoire est une variante avec un temps global d'incubation de 28 j et des dates de mesure différentes de celle du protocole principal.

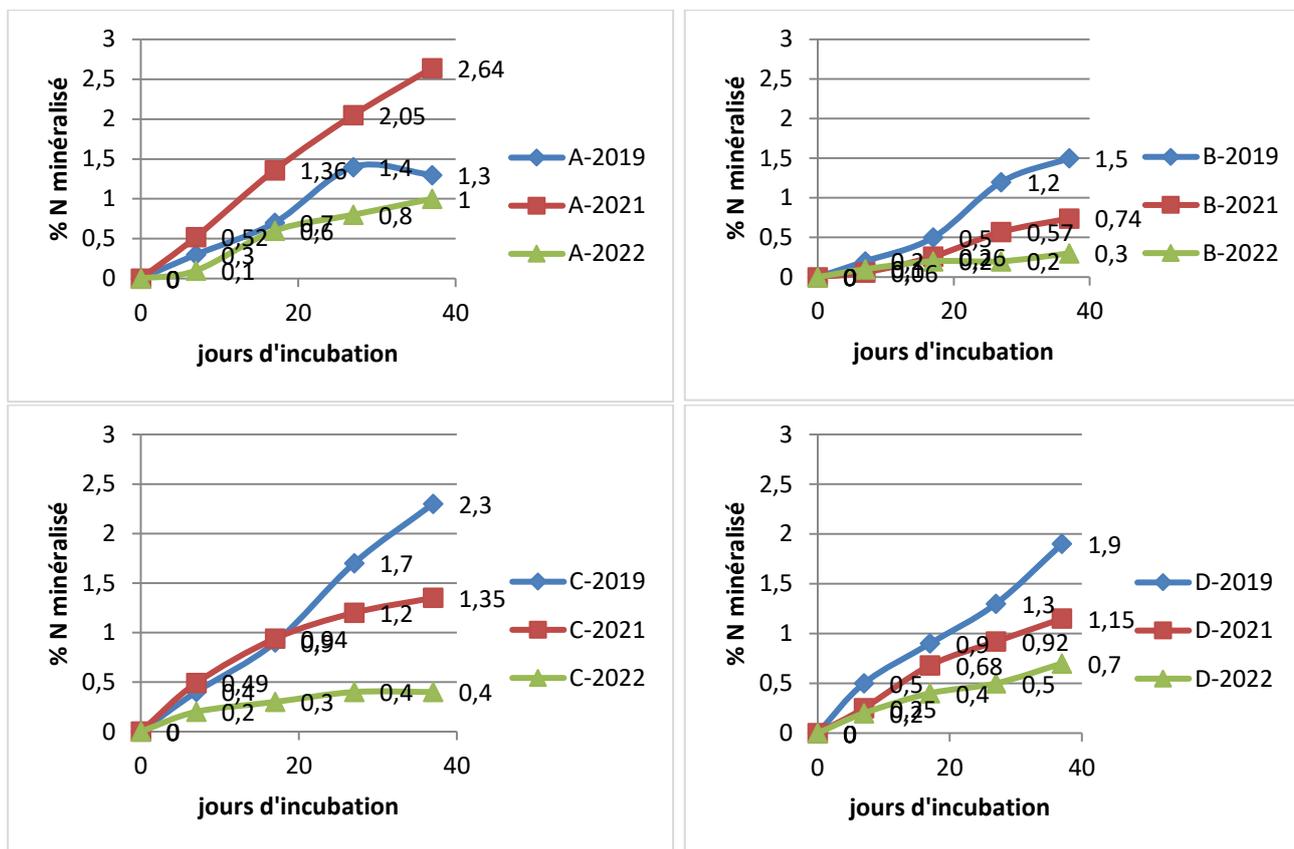


Figure 23 : Courbes de cinétique de minéralisation de l'azote du sol pour les zones d'étude de la parcelle « Terrière-Champ »

Les mesures au 05/02/19 nous donnent la situation initiale de fertilité azotée du sol avant mise en place de la démonstration.

Les mesures faites sur terre de la parcelle mélangée à du fumier pour un apport équivalent à 17 t/ha, en septembre 2020, reproduisent le comportement du sol de la zone B après apport de fumier pour la culture 2020.

Les mesures au 27/05/21 et au 05/08/22 situent le niveau de fertilité azotée du sol des quatre zones d'étude en fonction de la distribution des effluents :

	A	B	C	D
05/03/19	Lisier	Pas d'apport organique	Pas d'apport organique	Pas d'apport organique
23/09/19	Pas d'apport organique	Fumier	Pas d'apport organique	Pas d'apport organique
26/05/21	Lisier	Lisier	Pas d'apport organique	Pas d'apport organique
06/04/22	Lisier	Pas d'apport organique	Pas d'apport organique	Pas d'apport organique

Le potentiel d'azote disponible pour la parcelle au départ de la démonstration est en moyenne de 67 kg/ha au bout de 27 jours d'incubation et de 84 kg/ha au bout de 37 jours d'incubation.

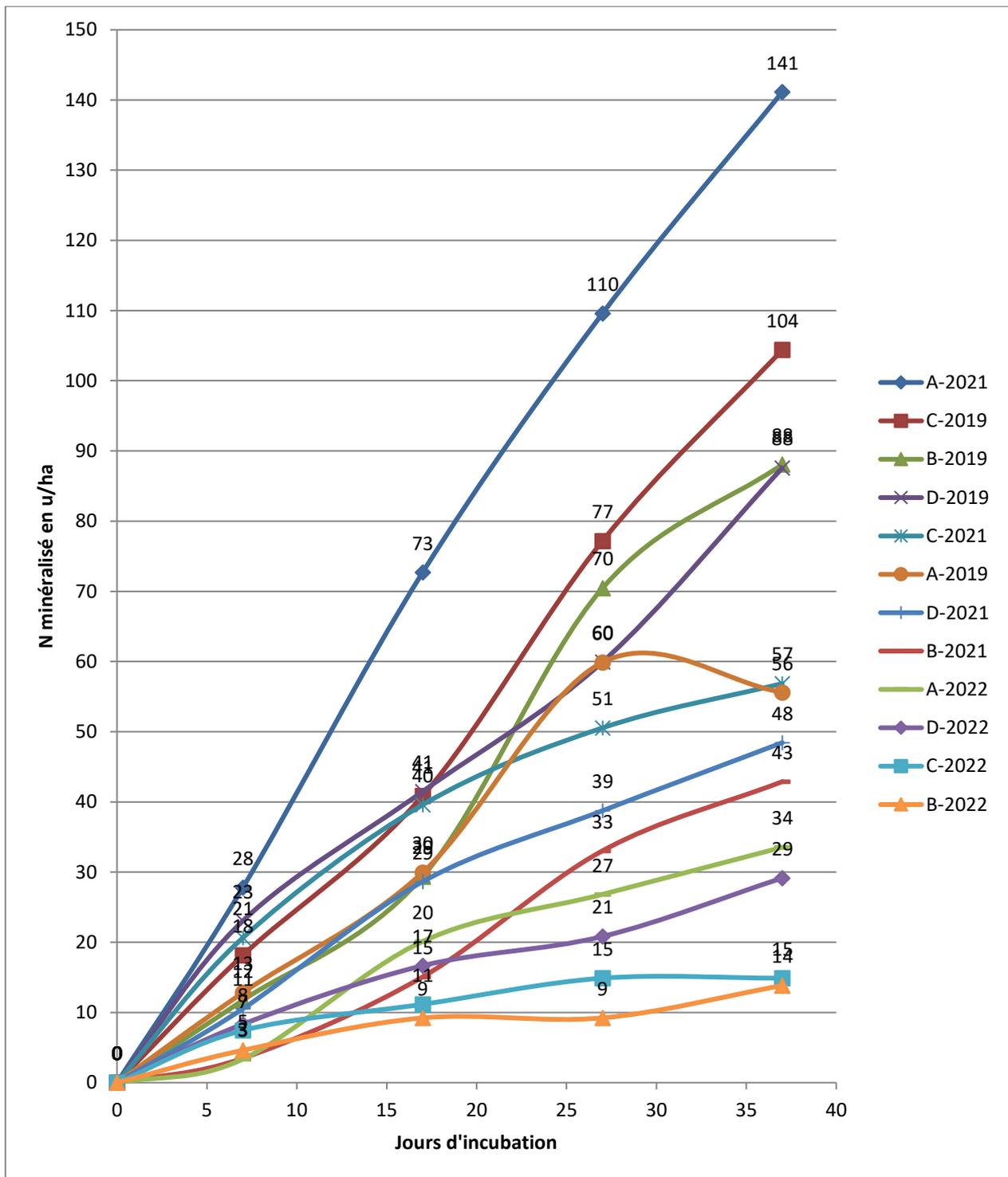


Figure 24 : Azote potentiellement minéralisables dans les sols des zones d'étude de la parcelle « Terrière-Champ », en fonction des exercices cultureux.

Au 27/05/21, on peut mesurer l'effet des apports organiques sur le potentiel de minéralisation :

- Pour la zone A, les deux apports de lisier semblent avoir augmenté le potentiel de minéralisation, avec un coefficient plus important et un potentiel d'azote disponible doublé ;
- Pour la zone B,
 - La cinétique de minéralisation du mélange (terre + fumier) présente une forme à plateau qui plafonne à 0.5% soit un potentiel d'azote disponible de 39 kg/ha, ce qui montre une libération d'azote à court terme ;
 - Cependant, l'association des apports de fumier et de lisier **n'a pas augmenté le potentiel de minéralisation de l'azote** puisque le coefficient à 37 jours d'incubation a fortement diminué (plus de 50%).
- Pour les zones C et D, les coefficients ont diminué. Pour ces deux zones qui servent de témoin par rapport à la fertilisation organique, on constate une baisse de même ordre de grandeur du coefficient de minéralisation à 37 jours d'incubation (environ 40%) et un potentiel d'azote disponible qui descend de 96 kg/ha à 53 kg/ha

En 2021, seule la fertilité azotée de la zone A semble augmenter significativement, après deux apports de lisier.

Au 05/08/22, les cinétiques de minéralisation de l'ensemble des zones étudiées montrent une diminution de la fertilité azotée avec des coefficients de minéralisation et des potentiels d'azote disponibles bien plus faibles - notamment à 37 jours.

- ✓ La zone A reste avec la valeur de potentiel d'azote disponible la plus importante : plus de 30 u N/ha à 37 jours d'incubation,
- ✓ Moins de 30 u N/ha pour D,
- ✓ Moins de 15 u N/ha pour B et C.

Il est vraisemblable que le comportement des échantillons de sol prélevés en août exprime

- l'impact d'une saison culturale 2022 assez sévère en termes de sécheresse sur la biocénose du sol.
- Ainsi que l'effet résiduel des résidus de culture.

L'examen des évaluations d'azote potentiellement minéralisable montre une forte hétérogénéité en fonction des zones et des exercices culturaux.

Il semble que les impacts climatiques et la gestion des résidus de culture influent sur les résultats des cinétiques et perturbent l'interprétation des apports d'effluent.

4.2.3 Situation du stock de carbone et état biologique du sol

L'estimation de la situation carbonée de la parcelle associe plusieurs indicateurs dont les taux de répartition des fractions liées et labiles de la matière organique.

Cf table "Fractionnement de la matière organique et biomasse microbienne du sol de la parcelle « La Terrière-Champ »"

- ✓ Les quatre zones d'étude présentent une proportion importante de la fraction liée donc stable de la matière organique, ce qui va dans le sens d'un stock de carbone plutôt durable.
- ✓ Les taux de matière organique liée ont tendance à être
 - assez stables pour les zones B et C
 - plus hétérogènes pour les zones A (effet de la coupe 2021 ?) et DAvec ces résultats, on peut s'interroger sur l'effet "minéralisateur" des apports de lisier.
- ✓ La zone D de plein champ se distingue par un taux de matière organique qui diminue de 2019 à 2022 avec l'augmentation la plus importante du taux de matière organique liée : à la différence des zones en agroforesterie, la zone de plein champ semble être le siège d'une maturation plus prononcée de sa matière organique, ce qui peut s'expliquer par des apports moindres de résidus végétaux que dans les zones d'agroforesterie.

Nous pouvons proposer une estimation des stocks de carbone stables à court et moyen terme pour chaque zone et pour l'ensemble de la parcelle, à partir des taux de matière organique liée – qui correspond au carbone stable – du taux de carbone et des hypothèses de densité du sol.

Cf table " Evaluation du stock de carbone stable de la parcelle « La Terrière-Champ » à partir des fractions de la matière organique "

- ✓ Le stock de carbone stable à la parcelle est du même ordre de grandeur en 2019 et en 2021, mais il semble plus faible en 2022 (un impact climatique ?)
- ✓ Le stock de C stable reste relativement stable sur les zones avec implantation agroforestière. Il semble diminuer sur la zone de plein champ.

Les prélèvements de terre du 27/05/21 nous ont également fourni les résultats de cinétique de minéralisation du carbone.

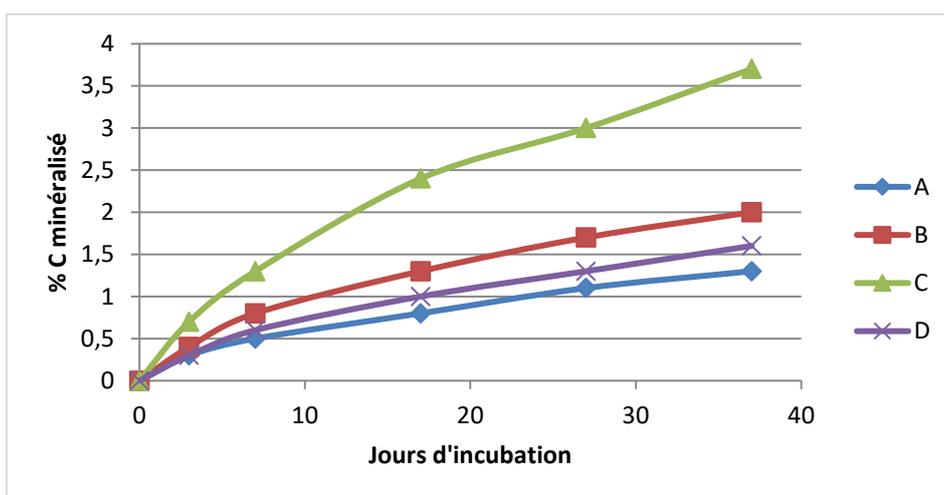


Figure 25 : Courbes de cinétique de minéralisation du carbone du sol pour les zones d'étude de la parcelle « Terrière-Champ »

Table 6 : Fractionnement de la matière organique et biomasse microbienne du sol de la parcelle « La Terrière-Champ »

		A			B			C			D		
		2019	2021	2022	2019	2021	2022	2019	2021	2022	2019	2021	2022
MO	Totale (%)	2.6	2.9	2.3	3.2	3.4	3.1	2.8	2.8	2.7	4	2.9	2.8
	Liée (% MO)	85.9	86	84.3	87.3	88.6	82.1	85.6	89.9	83.4	82.6	91	81.1
Avis laboratoire		<i>Taux de MO liée élevé (>80%)</i>											
N	Total (%)	0.17	0.21	0.14	0.18	0.23	0.18	0.17	0.18	0.16	0.2	0.17	0.18
	Labile (% N)	10.9	7.5	13.6	10.1	8.7	11.7	10.5	9	12.3	15.7	8.2	14.5
Avis laboratoire		<i>Taux de N labile faible (<15%)</i>									<i>moyen</i>	<i>faible</i>	
C/N	MO totale	9.1	7.8	9.7	10.5	8.5	9.8	9.3	9.8	10	11.4	9.7	9.2
	MO liée	8.7	7.2	9.4	10.2	8.2	9.1	8.9	9.7	9.5	11.2	9.6	8.7
	MO labile	11.3	14.4	11.9	13	11	15.2	13.3	11.1	14	12.5	10.9	12.1
Biomasse microbienne (% C)		5.07	1.5	-	3.58	4.64	-	4.52	4.1		3.52	3.52	-
Avis laboratoire		<i>Elevé</i>	<i>Faible</i>	-	<i>Moyen</i>	<i>Elevé</i>	-	<i>Elevé</i>		-	<i>Moyen</i>		-

Table 7 : Evaluation du stock de carbone stable de la parcelle « La Terrière-Champ » à partir des fractions de la matière organique.

Période	2019				2021				2022			
Zones	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Masse surfacique (t/ha)	2700	2800	2600	2600	2700	2800	2600	2600	2700	2800	2600	2600
Taux EG (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
C (%)	1.5	1.9	1.6	2.3	1.7	2.0	1.8	1.7	1.4	1.8	1.6	1.6
MO liée (% MO)	85.9	87.3	85.6	82.6	86	88.6	89.9	91	84.3	82.1	83.4	81.1
Stock unitaire C (t/ha)	37	47	38	54	41	50	42	40	33	44	37	39
C stable(t/ha)	32	41	33	45	36	45	38	36	28	36	31	31
Surface (ha)	0.956	0.971	2.13	4.256	0.956	0.971	2.13	4.256	0.956	0.971	2.13	4.256
Stock de C stable par zone(t)	30	40	69	191	34	43	81	154	26	35	67	133
Stock de C stable parcelle (t)	331				312				261			

La zone C minéralise la proportion de carbone la plus importante au bout de 37 jours d'incubation, et la zone A la moins importante.

4.2.4 Fractionnement de la matière organique versus cinétiques de minéralisation.

L'examen comparé des taux d'azote ou de carbone labiles et des taux d'azote ou de carbone minéralisés au 37^{ème} jour d'incubation ne montre pas de relation directement proportionnelle entre les deux types d'indicateur :

Période	Zone	Taux N labile (% N total)	N minéralisé ¹ (% N total)	Taux C labile (% C total)	C minéralisé (% C total)
2019	A	10.9	1.3	-	-
	B	10.1	1.5		
	C	10.5	2.3		
	D	15.7	1.9		
2021	A	7.5	2.64	14	1.3
	B	8.7	0.74	11.4	2
	C	9	1.35	10.1	3.7
	D	8.2	1.15	9	1.6
2022	A	13.6	1	-	-
	B	11.7	0.3		
	C	12.3	0.4		
	D	14.5	0.7		

Valeurs max. surlignées en bleu, valeurs min. surlignées en orangé.

On ne peut donc pas faire une estimation directe de la fertilité azotée du sol ou de l'intensité de l'activité biologique globale seulement avec les indicateurs de fractionnement de la matière organique.

Cependant il pourrait être utile de vérifier l'existence d'une relation entre les taux d'éléments minéralisés, les fractions labiles ou liées d'élément et les rapports C/N. Une telle relation permettrait de prévoir la libération d'azote ou de carbone à partir d'une détermination analytique rapide.

4.2.5 Indices de biomasse microbienne

Les valeurs de la mesure de la biomasse microbienne sont assez variables d'une zone à l'autre et d'une époque à l'autre. Il est difficile d'en tirer une conclusion particulière si ce n'est un niveau d'ensemble pour la parcelle qui est plutôt légèrement supérieur à la moyenne.

Il semblerait cependant que les mesures de biomasse microbienne plus élevées soient associées aux zones d'agroforesterie.

4.2.6 Situation environnementale du sol.

Table 8 : teneurs en éléments trace du sol de la parcelle « La Terrière-Champ »

ETM (mg/kg MS)		Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
A	2019	0.75	41.5	12.5	0.021	13.2	16.0	49.2
	2020	0.81	50.0	11.5	0.027	18.1	16.5	48.8
	2022	0.59	33.7	8.9	0.013	11.6	11.2	37.4
B	2019	0.64	34.3	9.7	0.019	11.9	14.8	43.8
	2020	1.02	50.3	14.7	0.028	18.7	22.1	63.0
	2022	1.14	63.6	9.7	0.021	19.5	22.1	67.8
C	2019	0.84	48.8	13.3	0.022	15.6	18.6	61.9
	2020	0.89	47.8	12.6	0.022	15.6	20.2	62.1
	2022	0.85	45.9	16.1	0.016	14.2	17.7	52.5
D	2019	1.15	60.1	217	0.023	13.7	23.6	108.9
	2020	0.95	53.4	47.3	0.017	15.2	21.1	76.9
	2022	0.76	44.1	115.4	0.026	12.14	17.3	67
Seuil d'investigation (35 < Argile (%) < 50 - BAIZE, 1997 ¹)		-	95	30	-	65	55	150
Seuils d'investigation (BAIZE, 2000 ¹)		0.7	100	35	-	70	60	150
Limites arrêté 08/01/1998 (Légifrance, 1998)		2	150	100	1	50	100	300

(¹ Cité par BERNARD, 2000)

La présence des éléments traces dans le sol de la parcelle « La Terrière-Champ » n'est notable que

- pour le cadmium : même si elles restent inférieures au seuil officiel de contamination, la quasi-totalité des teneurs sont supérieures au seuil d'investigation proposé par BAIZE, 2000 et inciteraient à faire une vérification de la présence naturelle du cadmium dans ce type de sol ;
- pour le cuivre dans la zone D : cela est très clairement dû à l'ancienne présence de la vigne et de l'impact des traitements antifongiques au cuivre.

4.3 Suivi cultural 2019

Pour une interprétation plus précise des informations apportées par la télédétection sur le développement cultural, nous avons divisé la zone d'étude C en trois zones plus petites pour éviter l'effet des segments de haies.

4.3.1 **Images NDVI 2019**

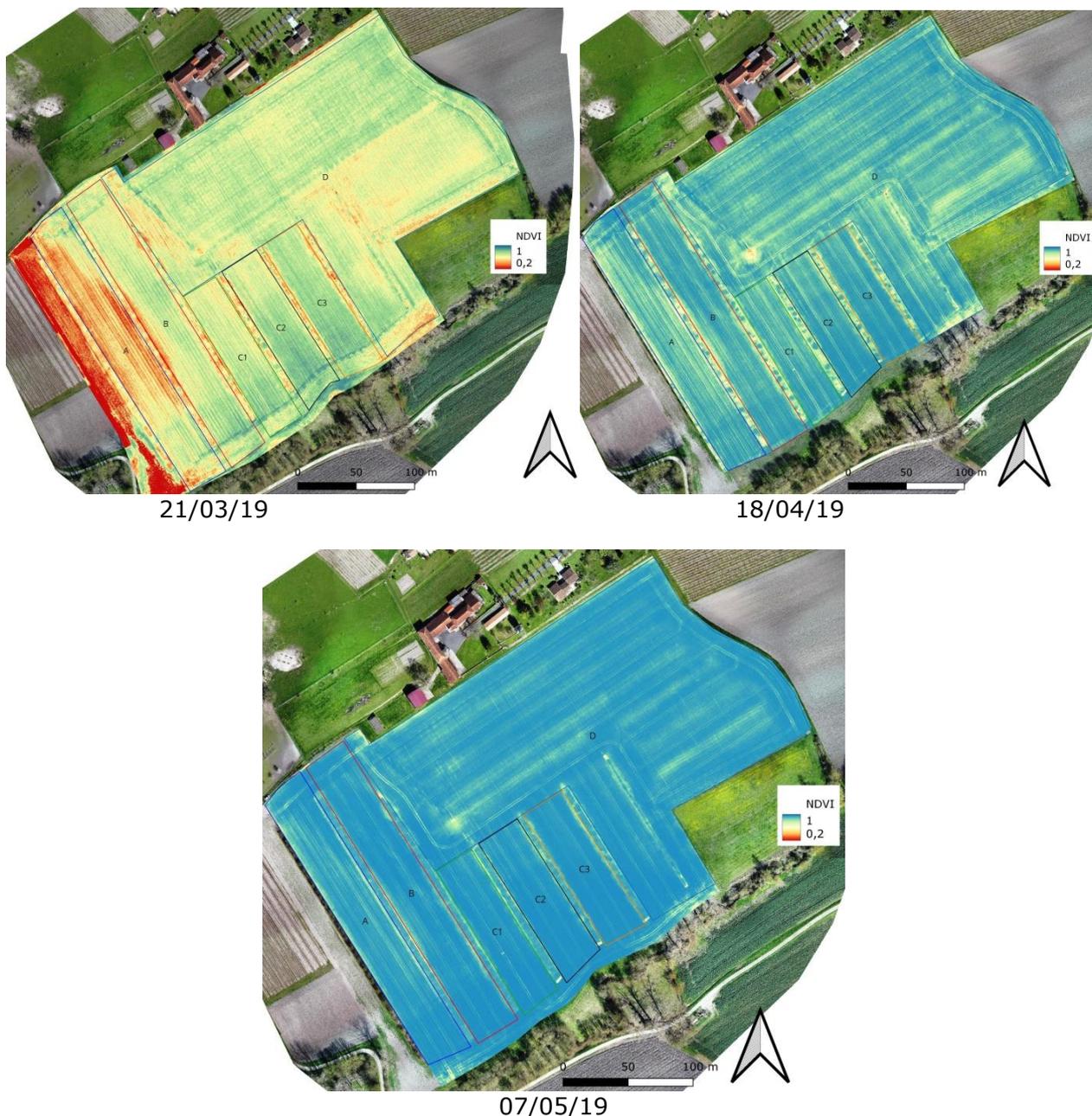


Figure 26 : Images NDVI de la culture de Blé tendre d'hiver 2019
(Source : Chambre d'agriculture 17, 2019)

A partir de l'analyse des images par SIG (logiciel QGIS), nous avons déterminés des statistiques d'indice NDVI par zone :

	21/03/2019			18/04/2019			07/05/2019		
	Moy ¹	ET ²	CV ³	Moy	ET	CV	Moy	ET	CV
A	0.5407	0.1269	23 %	0.8612	0.0688	8 %	0.9282	0.0423	5 %
B	0.6680	0.0959	14 %	0.8891	0.0515	6 %	0.9457	0.0252	3 %
C	0.7244	0.0894	12 %	0.9001	0.0453	5 %	0.9508	0.0236	2 %
D	0.6764	0.0791	12 %	0.8792	0.0498	6 %	0.9347	0.0268	3 %

¹ Moyennes. La valeur pour C a été calculée comme moyenne pondérée des valeurs de C1, C2 et C3.

²Ecart-types : idem pour C que précédemment. ³ Coefficient de variation : ET/Moy

L'examen des statistiques d'indice et des images montrent que :

- Au 21/3/19, après apport de lisier sur A et de deux fractions minérales pour l'ensemble du dispositif, la densité de biomasse végétale est plus faible sur la bande A et plus forte sur la zone C. Il n'y a pas vraiment d'effet supplémentaire de l'apport de lisier. Il y a une certaine hétérogénéité au sein des zones (coefficients de variation > 10%) ;
- Au 18/4/19, après apport de la troisième fraction minérale, et au 07/05/19, après apport de la quatrième, les densités de biomasse conservent le même ordre de classement C > B > D > A

4.3.2 Mesures NBI 2019

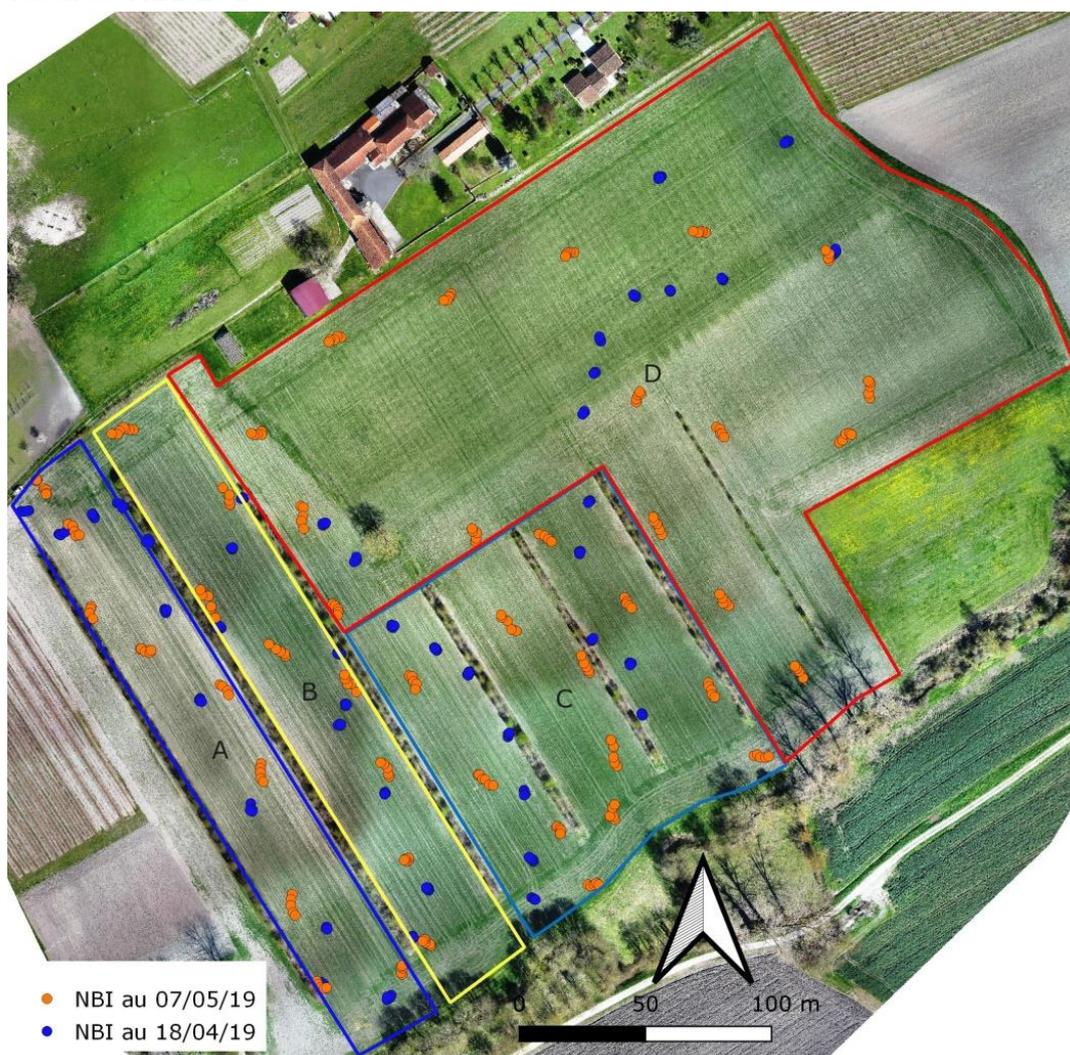


Figure 27 : Mesures d'indice NBI par capteur au sol en 2019

(Source : Chambre d'agriculture 17, 2019)

Statistiques des mesures d'indice NBI au sol :

	18/04/19			07/05/19		
	Moy ¹	ET ²	CV ³	Moy	ET	CV
A	31.4	8.31	26 %	23.7	5.59	24 %
B	30.0	5.09	17 %	24.6	8.06	33 %
C	30.9	6.39	21 %	25.9	6.74	26 %
D	29.2	8.06	28 %	22.6	4.62	20 %

¹ Moyennes. ² Ecart-types. ³ Coefficient de variation : ET/Moy.

Au 18/04 et au 07/05, le niveau de nutrition azoté de la culture dans chaque zone apparaît suffisant (NBI > 20). Il y a cependant de l'hétérogénéité au sein de chaque zone (CV > 15%).

Notons que les valeurs sont plus faibles en mai qu'en avril alors qu'un quatrième apport azoté a eu lieu : il y a donc l'intervention d'un autre facteur limitant dans l'alimentation azotée de la culture, à l'échelle de la parcelle.

L'examen des images de l'indice NBI modélisé à partir des mesures au sol et des indices de télédétection confirment les tendances statistiques des mesures.

Elles mettent en évidence :

- Une hétérogénéité assez nette au sein des zones ;
- Un niveau d'alimentation azoté plus faible dans zone D.

4.3.3 Prélèvements végétaux et estimation de récolte 2019.

Nous avons réalisé des prélèvements de végétaux pour estimation le 27/06/19, avant la récolte par les exploitants le 14/07/19.

Nous avons conduit trois répétitions de prélèvement, soit trois échantillons sur chacune des trois zones suivantes :

- Bande A = apport de lisier et fertilisation minérale en agroforesterie ;
- Bande B + zone C = fertilisation minérale en agroforesterie ;
- Zone D = fertilisation minérale en zone de plein champ.

Table 9 : évaluation des rendements pour les trois zones d'échantillonnage – culture de Blé tendre d'hiver 2019.

Zone	Echantillon	Rendements	
		q (MS)/ha	q (14% hum)/ha
A	1	40	47
A	2	36	42
A	3	42	48
BC	1	41	48
BC	2	42	49
BC	3	48	56
D	1	58	67
D	2	55	64
D	3	53	62

Les rendements moyens – calculés à 14% d'humidité – pour A, B/C et D sont respectivement de 45.5, 51 et 64 q/ha.

Le rendement déclaré par l'exploitant pour l'ensemble de la parcelle « La Terrière-Champ » est de 50 q (14%) /ha.

En termes de qualité de mesure :

- Les mesures de rendements que nous avons obtenues pour la zone D surévaluent le rendement d'ensemble de la zone. Trois échantillons sont donc insuffisants étant données la surface et l'hétérogénéité de cette zone.
- Les mesures de rendement pour A et BC sont plus cohérentes avec la valeur de rendement des exploitants et les observations par télédétection.



Au 18/04/19



Au 07/05/19

Figure 28 : Images de l'indice NBI modélisé - Blé tendre d'hiver 2019
 (Source : Chambre d'agriculture 17, 2019)

4.3.4 Mesures de reliquats azotés post récolte 2019

Nous avons procédé à des prélèvements de terre le 05/09/19 pour la mesure de reliquats azotés du sol en situation de post-récolte. Nous avons travaillé sur les trois zones de prélèvement de récolte A, B/C et D

Les valeurs de reliquats mesurées par le laboratoire sur deux ou trois horizons, selon le profil de sol, sont :

- 28 kg N/ha pour A
- Plus de 50 kg N/ha pour B/C et D

Ces valeurs incitent à penser qu'il y avait un stock d'azote minéral plus conséquent pour les zones B, C et D que pour A au départ de la saison culturale, ce qui pourrait expliquer le retard vu par télédétection pour A.

4.3.5 Bilan 2019

Nous n'avons pas observé en 2019 d'effet fertilisant complémentaire lié à l'apport de lisier sur la zone A, ni par le suivi en télédétection, ni par les résultats de récolte.

La modélisation de la fourniture d'azote par le sol avant épandage de lisier à partir des résultats de cinétique en tenant compte des données climatologiques locales (station de Cognac) donne des valeurs de

- 32 kg/ha pour la zone A,
- 42 kg/ha pour la zone B,
- 50 kg/ha pour la zone C,
- 42 kg/ha pour la zone D.

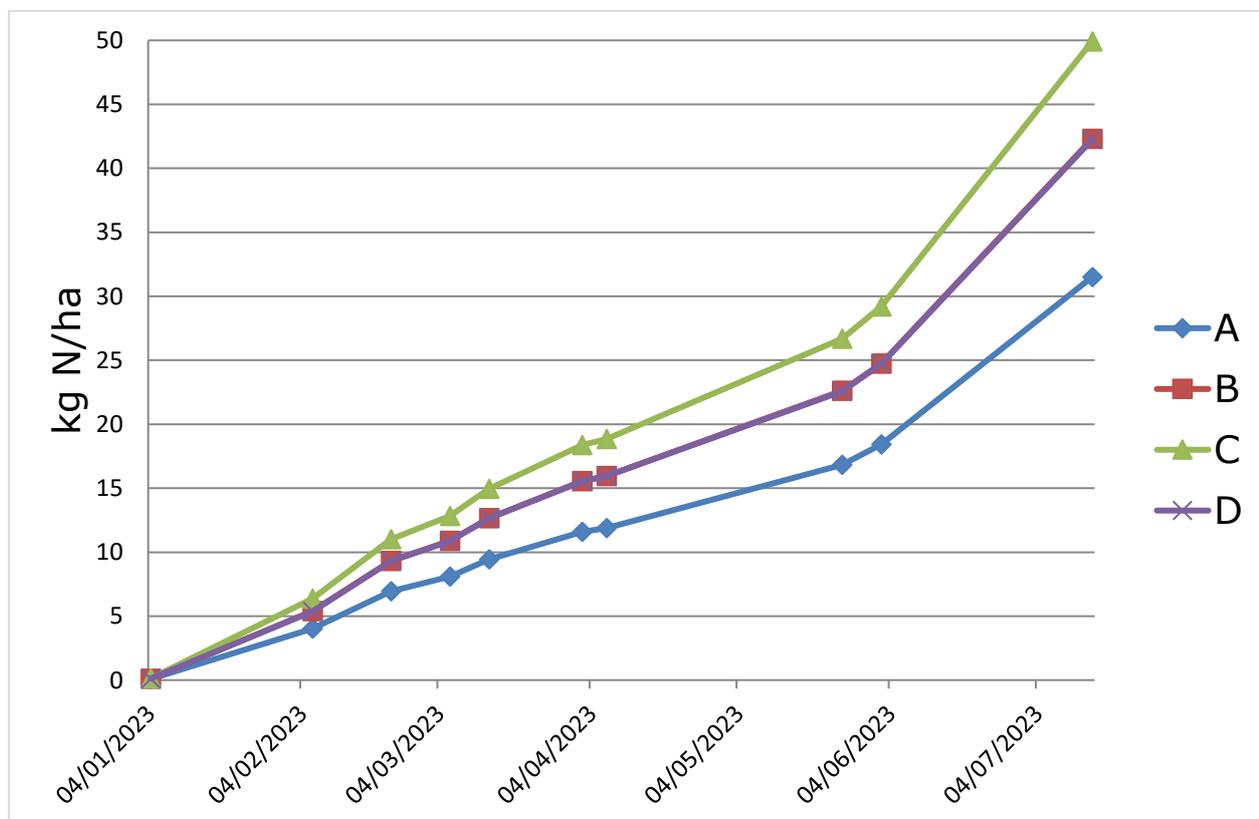


Figure 29 : Courbes de fourniture d'azote par le sol – saison culturale 2019, parcelle « Terrière-Champ »

La zone A a une fertilité initiale moins importante, qui n'a pas été compensée par l'apport de lisier.

La saison culturale 2019 a démontré que :

- **L'implantation agroforestière n'a pas d'impact négatif sur le développement cultural, les zones B et C étant au niveau moyen de rendement ;**
- **Un facteur limitant a empêché l'expression de l'apport de lisier au 05/03/2019 sur la zone A.**

A ce stade de l'examen nous pouvons envisager les facteurs limitants suivant :

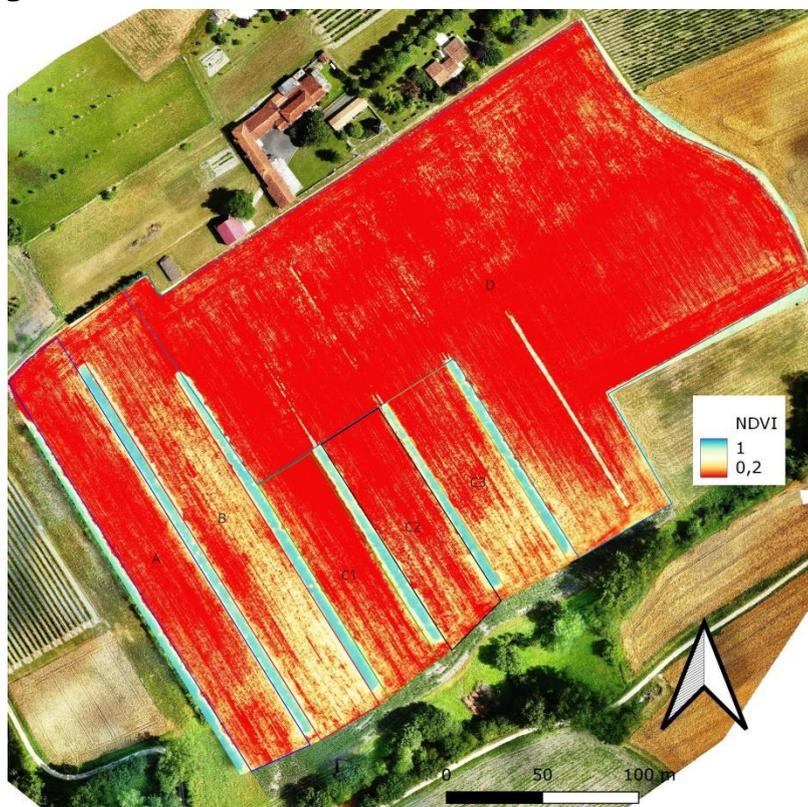
- des conditions hydriques limitantes ;
- un apport de lisier trop tardif ;

La capacité de minéralisation du sol en tant que telle n'est pas limitante au regard des résultats de minéralisation des autres zones.

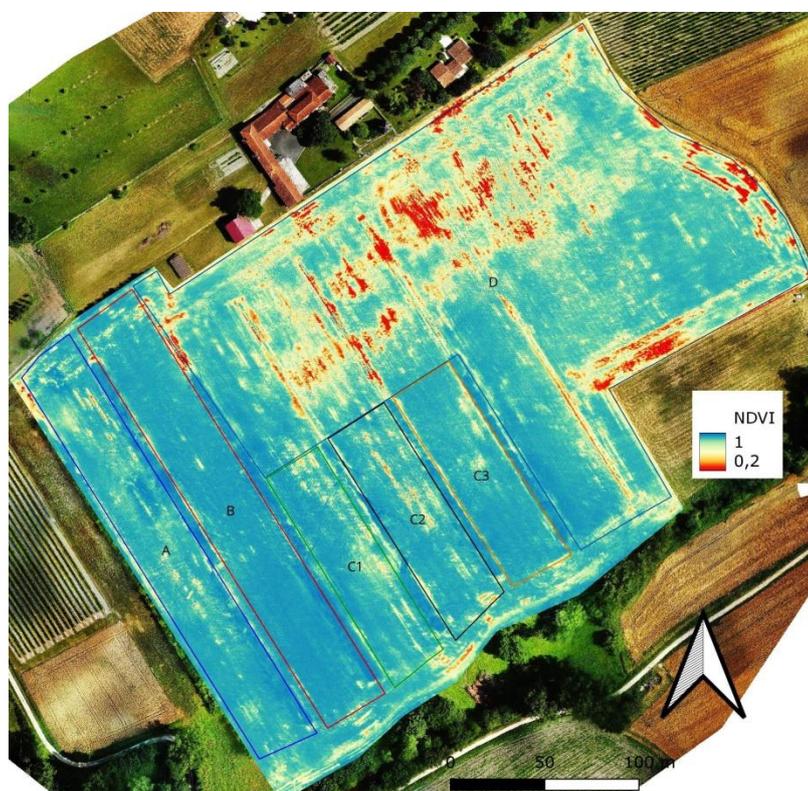
4.4 Suivi cultural 2020

La crise internationale COVID 19 a perturbé le départ du suivi de la culture de Maïs 2020 sur la parcelle « Terrière-Champ » et a limité le nombre d'investigations de terrain.

4.4.1 **Images NDVI 2020**



au 26/05/20



au 29/06/20

Figure 30 : Images NDVI de la culture de Maïs 2020
(Source : Chambre d'agriculture 17, 2020)

Statistiques d'indice NDVI par zone en 2020 :

	26/05/20			29/06/20		
	Moy ¹	ET ²	CV ³	Moy	ET	CV
A	0.2689	0.1070	40 %	0.8897	0.0634	7 %
B	0.3696	0.1372	37 %	0.9160	0.0434	5 %
C	0.2717	0.1322	49 %	0.8842	0.0728	8 %
D	0.2030	0.1053	52 %	0.7654	0.1706	22 %

¹ Moyennes. La valeur pour C a été calculée comme moyenne pondérée des valeurs de C1, C2 et C3.

²Ecart-types : idem pour C que précédemment. ³ Coefficient de variation : ET/Moy

On constate aussi bien par l'examen visuel des cartes d'indice que par les indicateurs statistiques que la bande B, qui a reçu un apport de fumier d'oie en septembre 2019, présente un développement de la biomasse plus important fin mai et fin juin 2020, tous les apports fertilisants ayant été réalisés au 06/05/20.

L'examen des statistiques d'indice et des images montrent que les densités de biomasse suivent l'ordre de classement B > A/C > D

4.4.2 Mesures NBI 2020

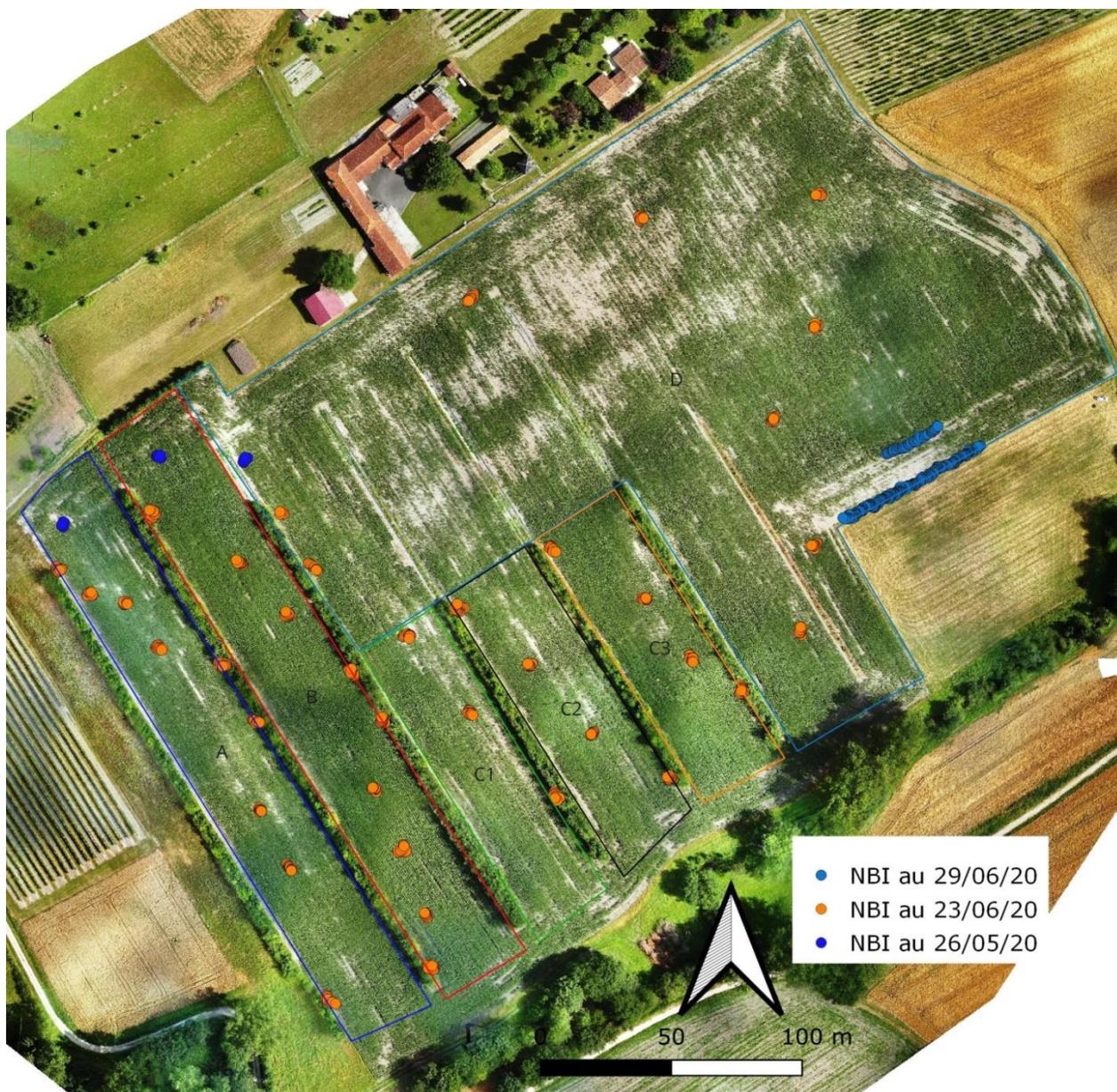


Figure 31 : Mesures d'indice NBI par capteur au sol en 2020

(Source : Chambre d'agriculture 17, 2020)

Les mesures prises au 26/05/20 et au 29/06/20 n'ont été faites que pour la modélisation de l'indice NBI avec les indices de télédétection.

Seules les mesures du 23/06/20 ont directement une valeur statistique :

23/06/20			
	Moy ¹	ET ²	CV ³
A	23.8	4.71	20 %
B	31.4	8.91	28 %
C	24.4	6.60	27 %
D	25.1	5.84	23 %

¹ Moyennes. ² Ecart-types. ³ Coefficient de variation : ET/Moy.

Le niveau de nutrition azotée apparaît correct pour l'ensemble des zones. Cependant les valeurs des coefficients de variation - $\geq 20\%$ - indiquent de l'hétérogénéité au sein des zones.

On retrouve un niveau de nutrition azotée supérieur sur la bande B.

4.4.3 Effet de bordure des taillis linéaire intra-parcellaire

Le protocole de mesure au sol appliqué le 23/06/20 nous a permis de vérifier un éventuel effet de bordure créé par la présence des haies en taillis :

Zones	Situation	Moy	ET	CV
A	Bord de haie	21.6	4.42440916	20 %
	Centre zone	25.5	4.24397868	17 %
B	Bord de haie	29.8	9.75112751	33 %
	Centre zone	32.7	7.99398224	24 %
C	Bord de haie	23.3	7.58472501	32 %
	Centre zone	25.5	5.23529521	20 %

Bien que les moyennes ne soient pas statistiquement véritablement distinctes, on peut constater que :

- ✓ Il n'y a pas d'effet dépressif significatif de la présence de la haie sur la culture à proximité puisque toutes les moyennes sont supérieures à 20.
- ✓ Les plantes en bord de haies ont néanmoins une valeur d'indice en moyenne un peu plus faible que sur le centre de la zone.

Les cartes de NBI modélisées, en particulier celle au 29/06/20, montrent l'hétérogénéité des niveaux de nutrition azotée au sein des différentes zones.

Quoique les valeurs absolues n'offrent pas une précision d'un niveau suffisant, car les calculs de modélisation ont un effet de "lissage par construction", nous avons réalisé les statistiques de zone – mêmes principes que les indices NDVI - pour un examen différentiel des valeurs :

	26/05/20			29/06/20		
	Moy ¹	ET ²	CV ³	Moy	ET	CV
A	13.8	6.45	47 %	25.4	26.15	103 %
B	16.3	6.86	42 %	37.8	22.06	58 %
C	10.1	6.23	62 %	33.7	20.18	60 %
D	8.3	5.57	67 %	33.0	15.60	47 %

¹ Moyennes. La valeur pour C a été calculée comme moyenne pondérée des valeurs de C1, C2 et C3.

²Ecart-types : idem pour C que précédemment. ³ Coefficient de variation : ET/Moy

On retrouve au 26/05/20 et au 29/06/20 la situation décrite au 23/06/20, c'est-à-dire un niveau de nutrition azotée supérieur pour la bande B.

Il apparait aussi que la situation de la zone D s'améliore de mai à juin. Cependant, étant donné la grande dispersion des valeurs - $CV > 40\%$, cette tendance est à considérer avec circonspection.

On notera l'hétérogénéité importante qui apparait au sein des zones sur la carte du 29/06/20.



Au 26/05/20



Au 29/06/20

Figure 32 : Images de l'indice NBI modélisé - Maïs 2020
(Source : Chambre d'agriculture 17, 2020)

4.4.4 Bilan 2020

Faute d'organisation avec les exploitants, nous n'avons pu procéder à des prélèvements de végétaux. Nous n'avons que l'information du rendement obtenu par l'exploitant à la récolte : 50 q/ha au 18/09/20.

Nous nous en tiendrons à ce que nous avons observé : un développement et un niveau de nutrition supérieur et plus homogène pour la zone B.

Nous proposons une modélisation *a posteriori* de la fourniture d'azote par le sol après épandage de fumier en conditions réelles, à partir des résultats de cinétique et des données climatologiques locales :

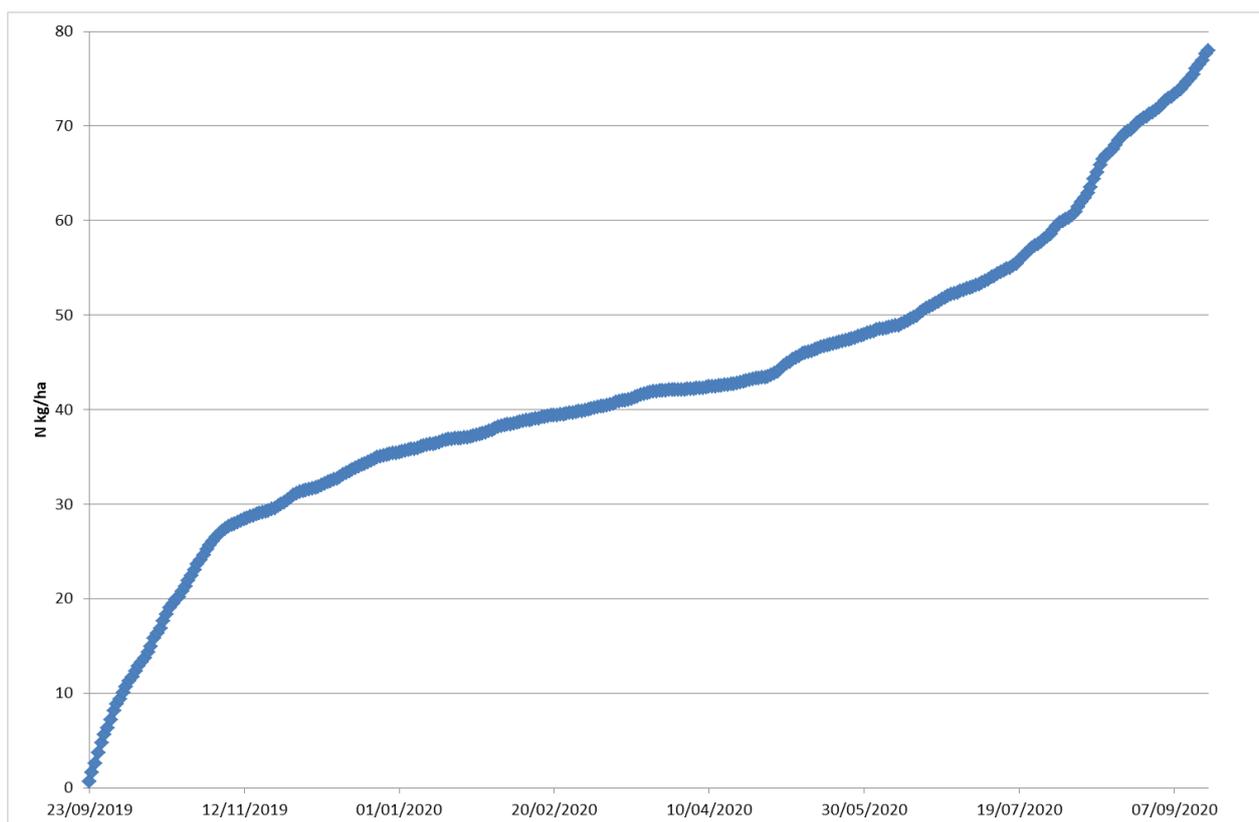


Figure 33 : Courbe de fourniture d'azote par le sol après épandage de fumier – saison culturale 2020, parcelle « Terrière-Champ »

De l'épandage (23/09/20) au semis (06/04/20), le sol de la bande B, enrichi par le fumier libère environ 40 kg d'azote/ha.

N.B. : cette estimation est un peu surévaluée car l'enfouissement, qui facilite la minéralisation n'intervient qu'au 20/10 soit un mois après l'apport de fumier. Or le protocole de mesure de minéralisation s'applique à un mélange de sol et de fumier.

Du semis jusqu'à la récolte (18/09/20), environ 35 kg d'azote/ha sont théoriquement libérés par le sol.

Donc après épandage et pendant le cycle de développement du Maïs, ce sont environ 75 kg d'azote/ha qui ont été libérés par le sol, ce qui représente 50 à 79% de plus que les fournitures apportées par les sols témoin (zones C et D) en 2019.

La bande B a bénéficié de l'apport de fumier, dont l'effet fertilisant s'est traduit par un développement de la biomasse et un niveau de nutrition azoté supérieur aux autres zones.

4.5 Suivi cultural 2021

Pour le suivi de la culture de Maïs 2021, avec l'expérience de la campagne 2020, nous avons organisé un suivi plus soutenu avec huit journées de prise de vue en télédétection et un prélèvement d'échantillons cultureux avant récolte.

4.5.1 **Images NDVI 2021**

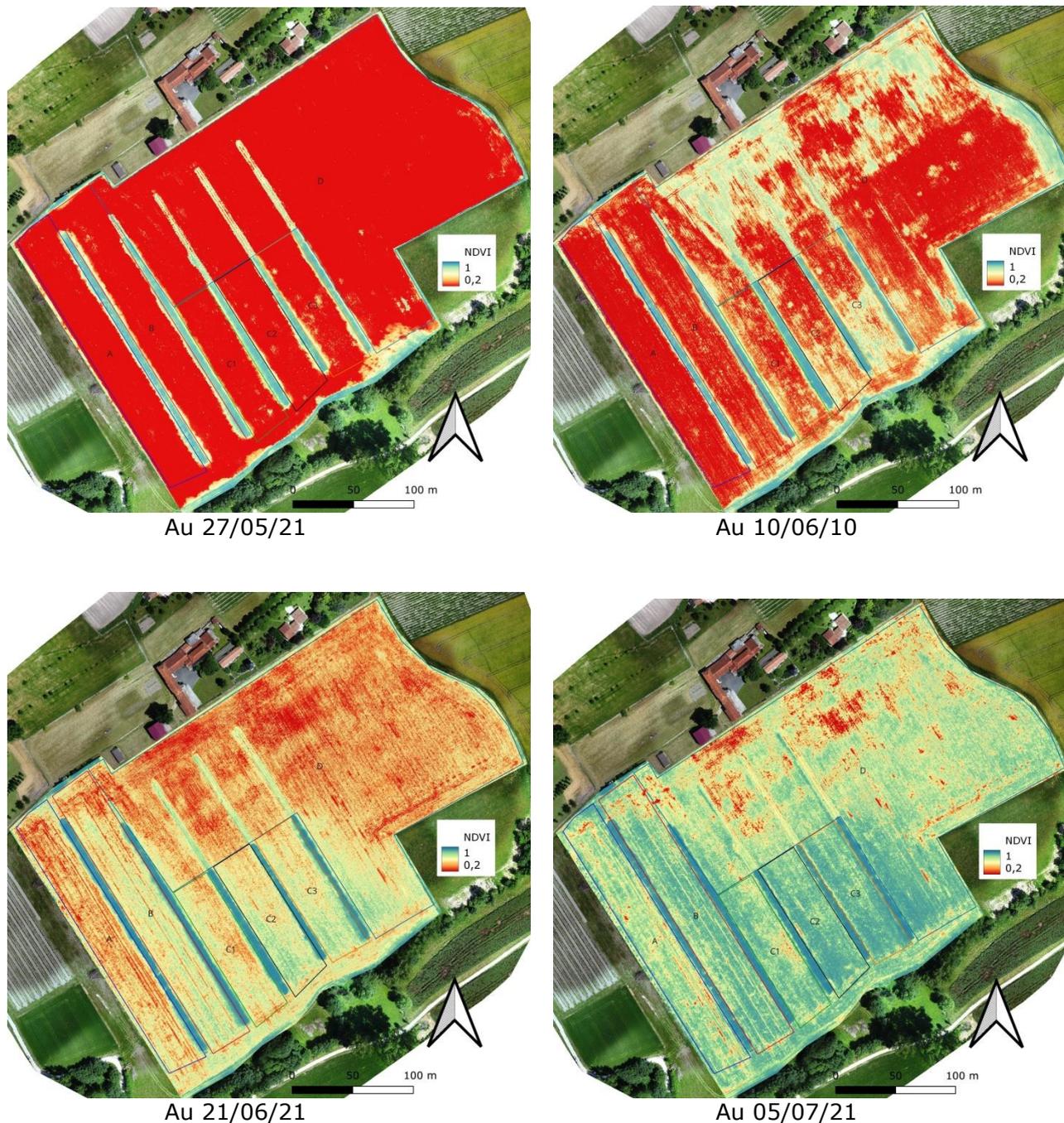
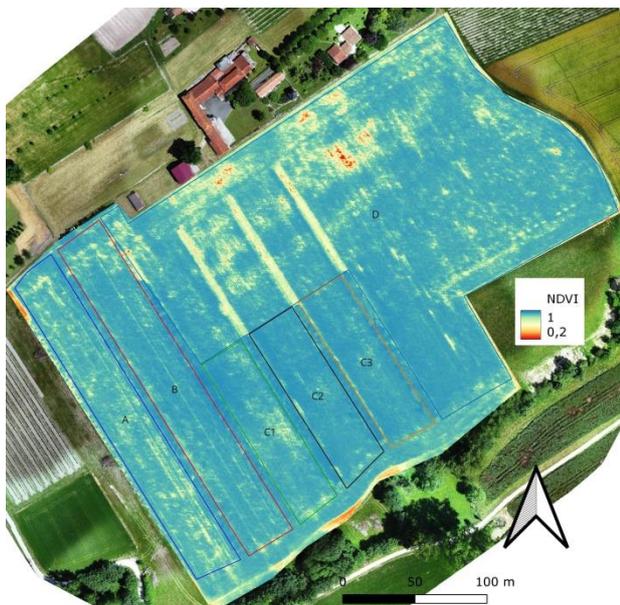
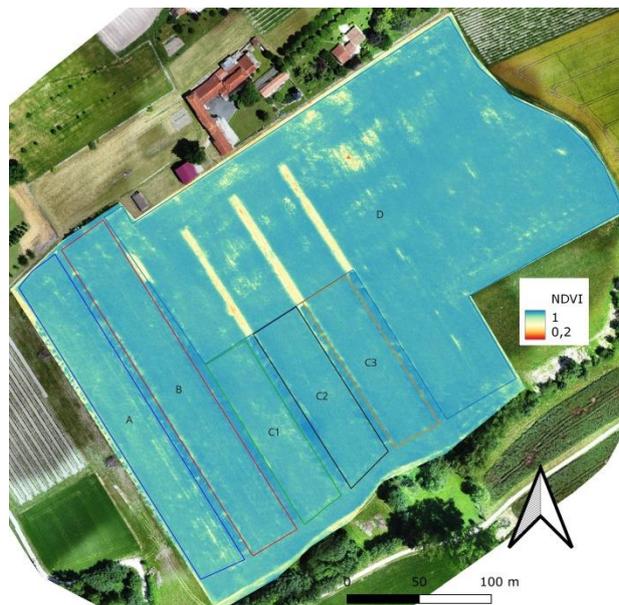


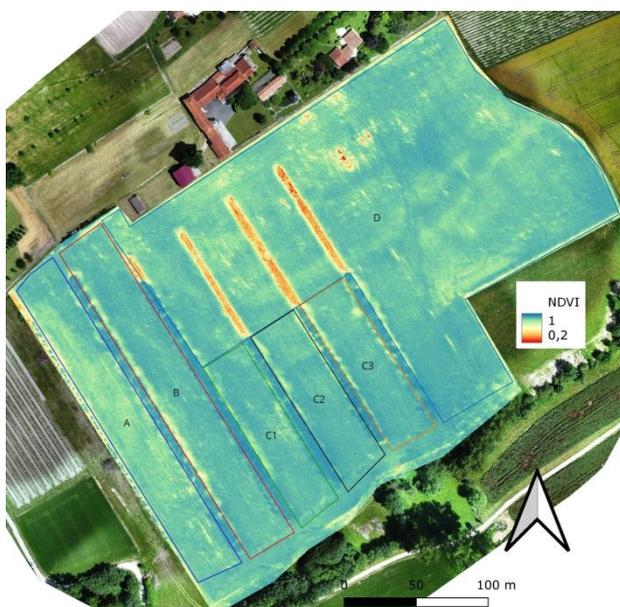
Figure 34 : Images NDVI de la culture de Maïs 2021 – du 27/05 au 05/07 2021
(Source : Chambre d'agriculture 17, 2021)



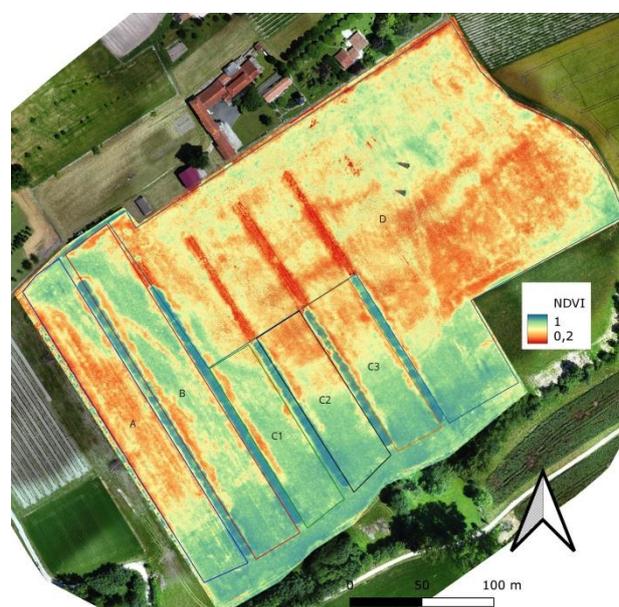
Au 19/07/21



Au 10/08/21



Au 25/08/21



Au 09/09/21

Figure 35 : Images NDVI de la culture de Maïs 2021 – du 19/07 au 09/09 2021
(Source : Chambre d'agriculture 17, 2021)

Statistiques d'indice NDVI par zone en 2021 :

	NDVI ¹				CV ²			
	A	B	C	D	A	B	C	D
27/05/2021	0.1471	0.1957	0.1981	0.1126	99 %	92 %	74 %	115 %
10/06/2021	0.2139	0.2987	0.4083	0.3954	68 %	57 %	40 %	52 %
21/06/2021	0.5067	0.6068	0.6259	0.4525	30 %	24 %	20 %	31 %
05/07/2021	0.7254	0.7851	0.8145	0.6809	17 %	14 %	10 %	23 %
19/07/2021	0.8843	0.9115	0.9194	0.8797	5 %	4 %	3 %	9 %
10/08/2021	0.8958	0.9119	0.9134	0.8969	3 %	2 %	2 %	7 %
25/08/2021	0.8435	0.8716	0.8763	0.8426	5 %	5 %	6 %	5 %
09/09/2021	0.5807	0.7016	0.6835	0.5501	27 %	19 %	22 %	25 %

¹ Valeur moyenne. La valeur pour C a été calculée comme moyenne pondérée des valeurs de C1, C2 et C3. ² Coefficient de variation : ET/Moy

Les statistiques de NDVI donnent une chronologie assez détaillée du développement cultural :

- ✓ Au 27/05, après l'apport de lisier et de la première fraction minérale, il y a encore très peu de densité de biomasse végétale (NDVI < 0.2), qui se présente principalement dans la bande B et la zone C.
- ✓ Au 10/06, après enfouissement du lisier et deuxième et dernier apport minéral, la biomasse apparaît nettement avec l'ordre d'importance des densités de biomasse suivant : C > D > B > A.
On remarquera que le développement cultural en est plus marqué sur le site de l'ancienne vigne.
- ✓ A partir du 21/06, le développement cultural se poursuit jusqu'au 25/08 avec l'ordre d'importance suivant : C > B > A > D
- ✓ Au 09/09, la phase de déhiscence est engagée et les niveaux d'indice NDVI décroissent
L'ordre des densités de biomasse est : B > C > A > D

4.5.2 Mesures NBI 2021

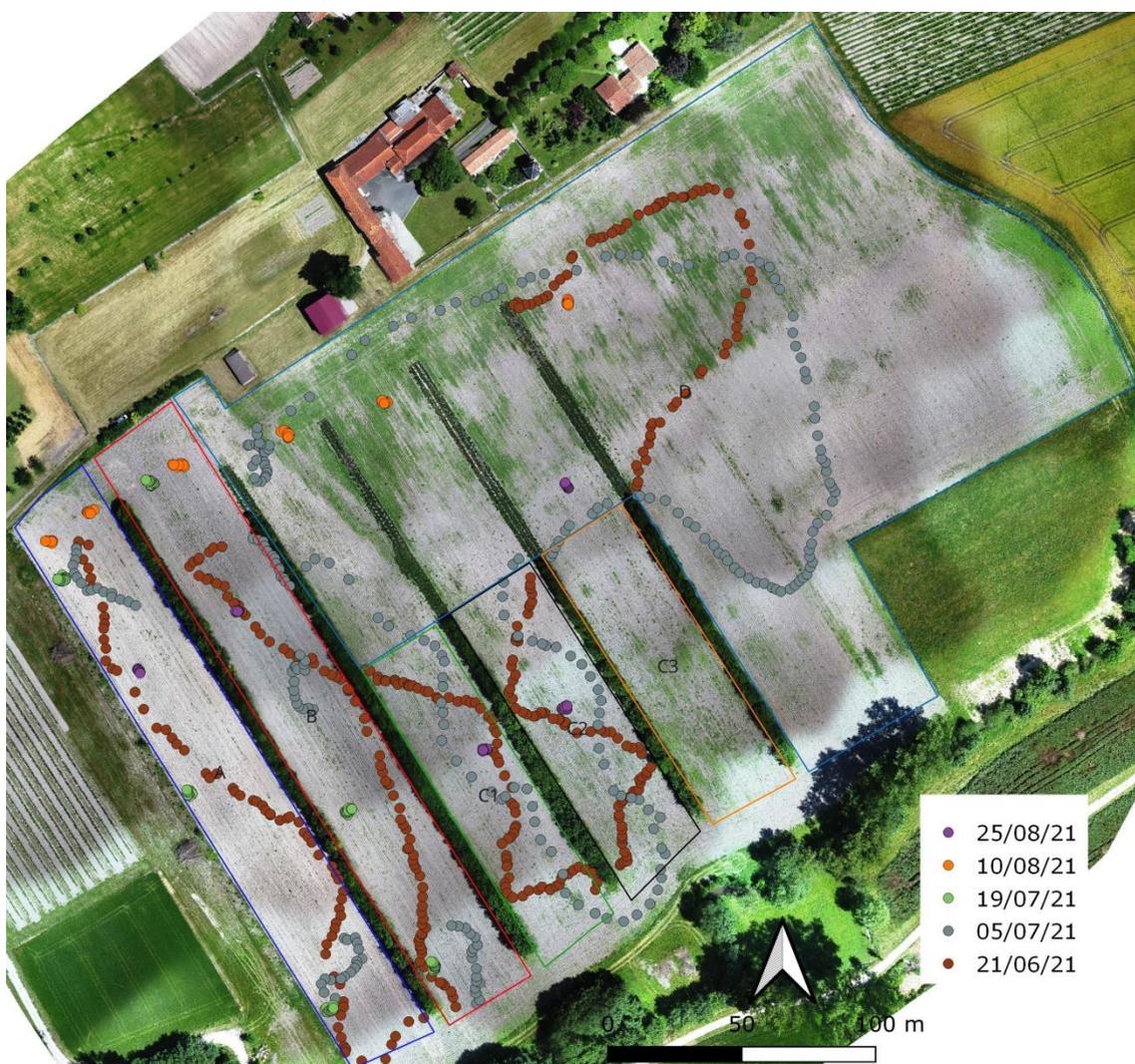


Figure 36 : Mesures d'indice NBI par capteur au sol en 2021
(Source : Chambre d'agriculture 17, 2021)

Seules les mesures au sol faites les 21/06/21 et 05/07/21 sont complètes pour l'ensemble des zones et peuvent être traitées directement en statistiques :

	21/06/2021			05/07/2021		
	Moy ¹	ET ²	CV ³	Moy	ET	CV
A	25.5	4.05	16 %	36.9	8.74	24 %
B	29.3	5.88	20 %	40.8	18.49	45 %
C	28.2	6.80	24 %	32.9	7.81	24 %
D	19.6	3.38	17 %	31.2	6.87	22 %

¹ Moyennes. ²Ecart-types. ³ Coefficient de variation : ET/Moy

Les niveaux de nutrition sont suffisants et plus aux trois dates de mesure.

L'ordre des niveaux de nutrition est B > A/C > D.

Nous avons également établi des statistiques de zone à partir des cartes de modélisation de l'indice NBI.

Comme pour le chapitre précédent, nous garderons la même prudence vis-à-vis des valeurs absolues et nous procédons par examen des différences :

		A	B	C	D
21/06/2021	Moy ¹	24.2	28.6	28.6	22.9
	CV ²	23 %	20 %	17 %	19 %
05/07/2021	Moy	36.6	36.9	39.0	32.5
	CV	20 %	23 %	24 %	19 %
19/07/2021	Moy	60.0	64.1	68.2	57.3
	CV	19 %	24 %	25 %	27 %
10/08/2021	Moy	37.0	40.1	38.5	40.0
	CV	21 %	23 %	23 %	26 %
25/08/2021	Moy	30.0	36.5	32.2	32.1
	CV	19 %	29 %	23 %	503 %

¹ Valeur moyenne. La valeur pour C a été calculée comme moyenne pondérée des valeurs de C1, C2 et C3. ² Coefficient de variation : ET/Moy

Nous retrouvons avec les statistiques de zone des résultats assez comparables :

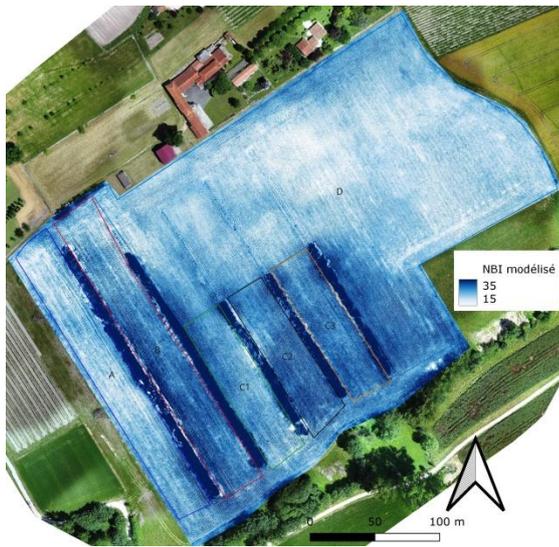
- Des valeurs moyennes d'indice NBI qui représentent un état de nutrition suffisant ;
- Une hiérarchie des niveaux avec B ou C devant A et D.

4.5.3 Influence des taillis linéaire intra-parcellaire sur l'absorption d'azote

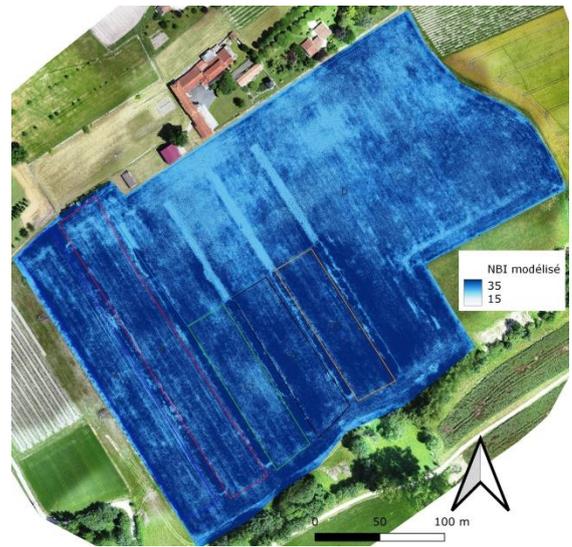
Nous nous sommes intéressés à un éventuel effet de récupération de l'azote par les taillis intra-parcellaire.

Nous avons installé le 10/06/21 un dispositif sommaire pour essayer de mettre en évidence cet effet : quatre bandes dans la parcelle et orientées perpendiculairement au taillis ont reçu un apport supplémentaire d'azote.

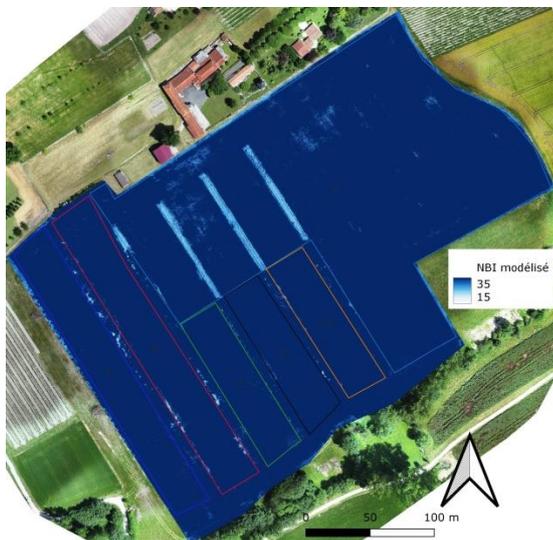
Sous l'hypothèse que le principe de l'indice NBI était applicable aux espèces arborescentes des taillis, nous avons réalisés des mesures le 25/08/21 avec le capteur manuel sur la culture de maïs au sein des bandes et sur les arbres limitrophes ainsi que sur une zone de taillis et une surface de maïs sans apport d'azote supplémentaire et servant de témoins.



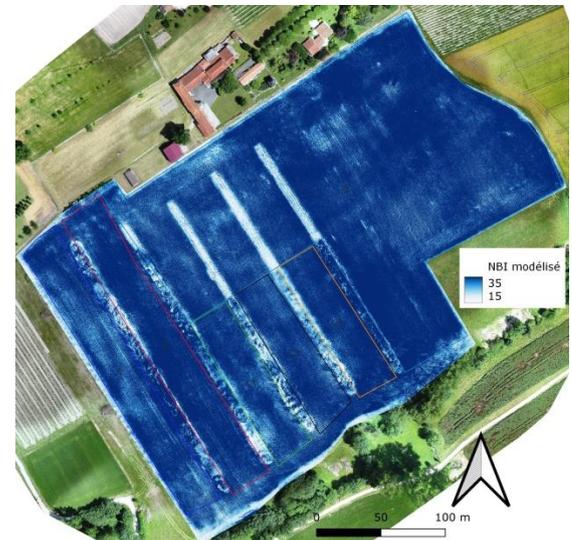
Au 21/06/21



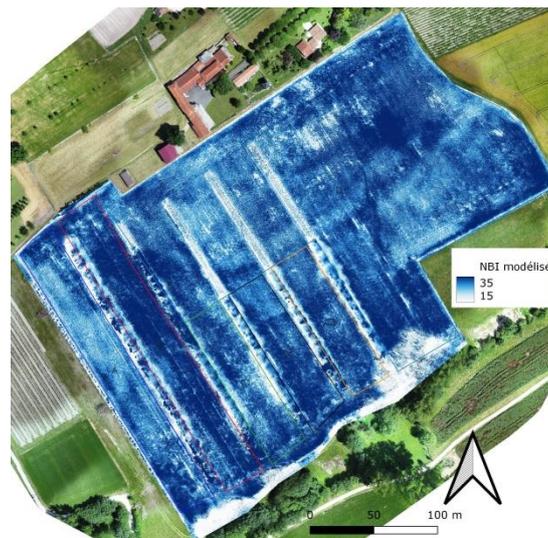
Au 05/07/21



Au 19/07/21



Au 10/08/21



Au 25/08/21

Figure 37 : Images de l'indice NBI modélisé - Maïs 2021
(Source : Chambre d'agriculture 17, 2021)

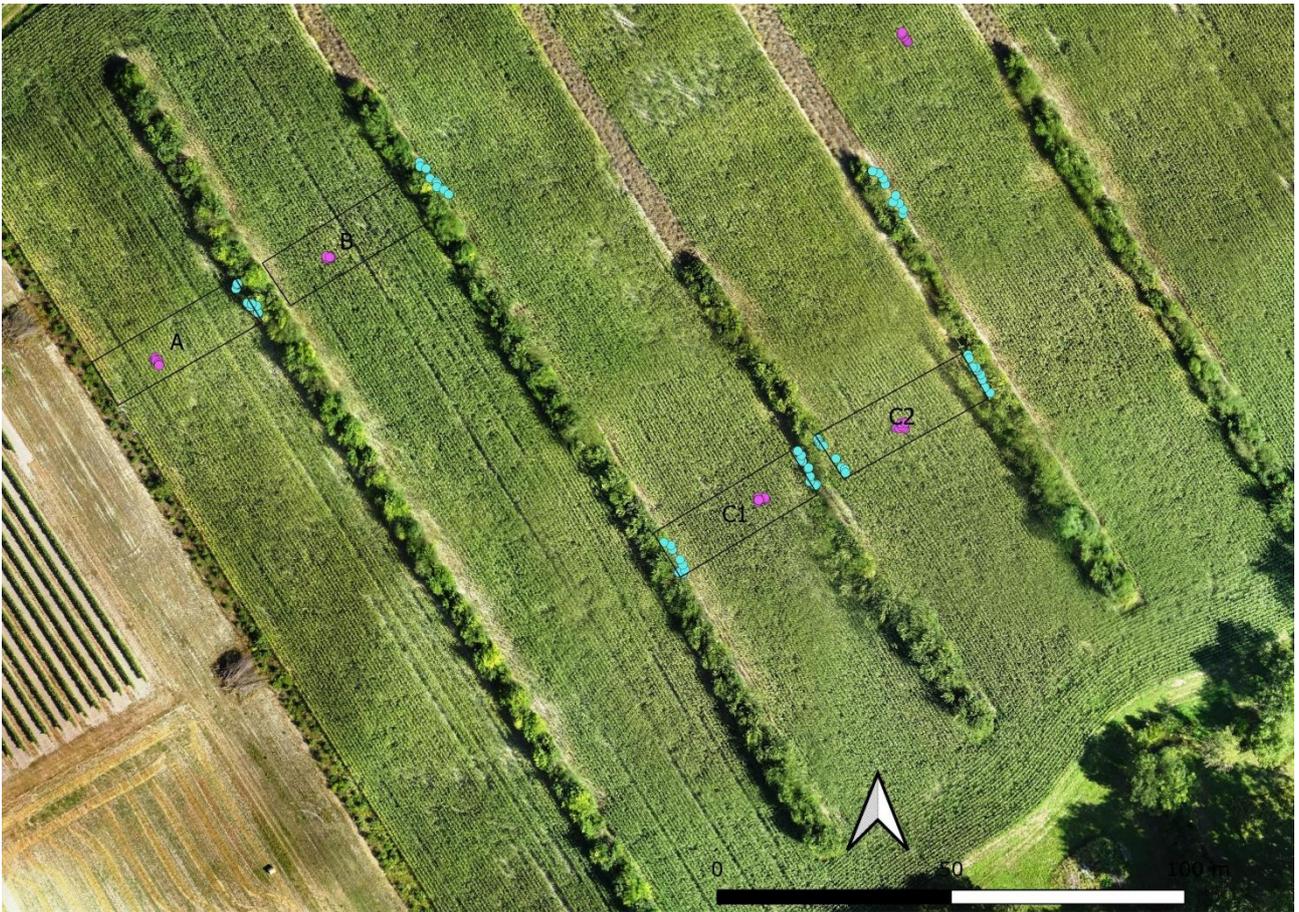


Figure 38 : Dispositif de test de l'effet de récupération de l'azote du taillis intraparcélaire - Maïs 2021

(Source : Chambre d'agriculture 17, 2021)

Les mesures au sol sur culture de maïs sont figurées en foncé et celles sur taillis en clair.

Protocole d'apport d'azote supplémentaire :

Bandes	Surface (m ²)	Dose Urée 46 apportée (en kg N/ha)
a	394	46.7
b	391	47.0
c1	381	48.3
c2	403	91.4

Répartition des mesures :

	Situation	Nombre
Sur taillis	ab : segment de taillis avec entouré par a et b	10
	b : segment en bord de b	10
	c1 : segment en bord de c1	10
	c1c2 : segment entouré par c1 et c2	20
	c2 : segment en bord de c2	10
	Témoin : segment hors bande avec supplément N	10
Maïs grain	a	10
	b	10
	c1	10
	c2	10
	témoin	9

Résultats obtenus :

	Situation	NBI moyen
Sur taillis	ab : segment de taillis avec entouré par a et b	24.1
	b : segment en bord de b	28.1
	c1 : segment en bord de c1	30.6
	c1c2 : segment entouré par c1 et c2	31.9
	c2 : segment en bord de c2	25.8
	Témoin : segment hors bande avec supplément N	25.3
Maïs grain	a	27.3
	b	37.0
	c1	33.7
	c2	33.4
	témoin	25.5

Des tests d'analyse de variance et de comparaison de moyennes ne montrent pas de différence entre le témoin et les autres modalités, ni sur les segments de taillis, ni sur le maïs.

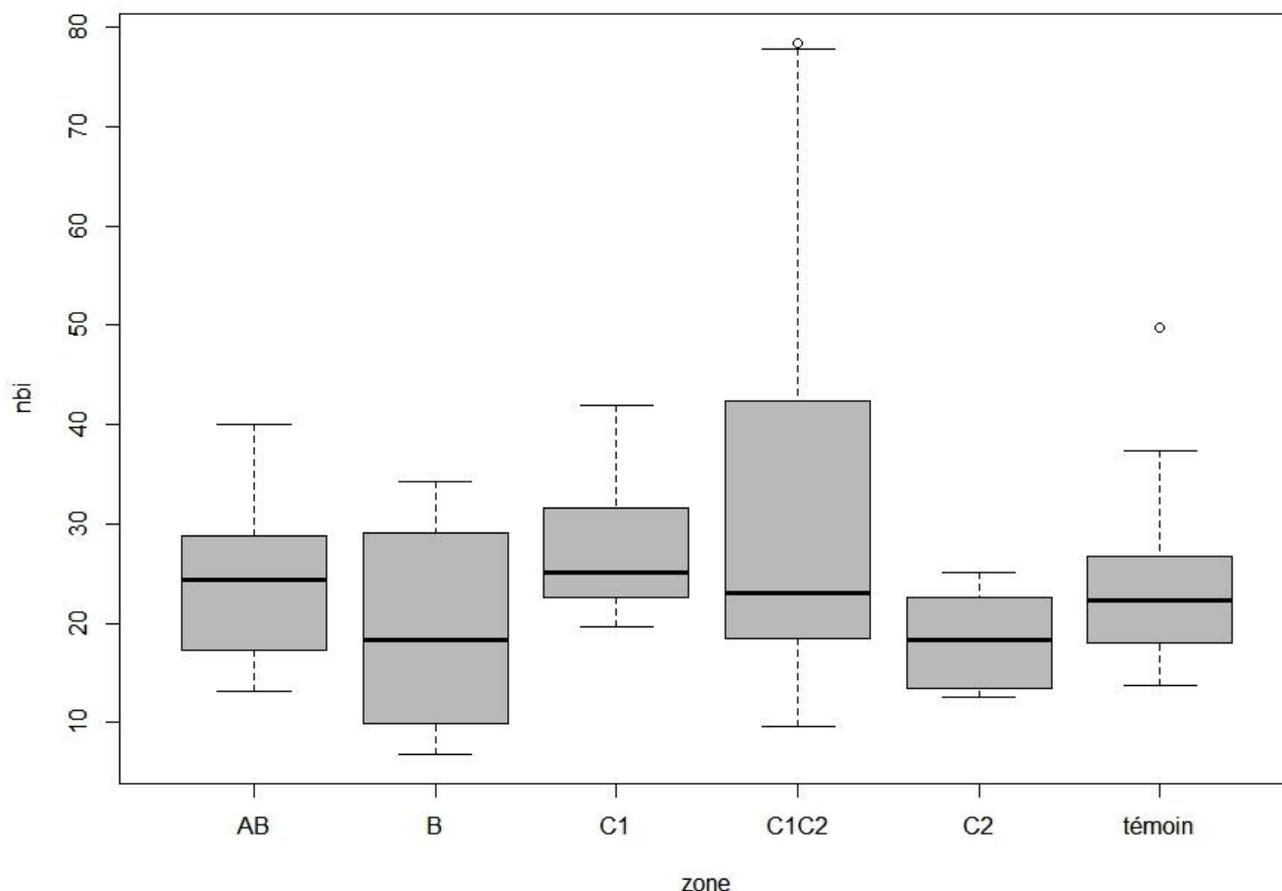


Figure 39 : Représentation en Boxplot des mesures de NBI sur les segments de taillis au 25/08/21

La représentation boxplot confirme visuellement ces résultats pour les mesures sur segments de taillis : il n'y a pas de différence significative entre les segments bordant les bandes avec apport supplémentaire d'azote et le segment témoin.

En ce qui concerne la culture de maïs au sein des bandes, il y a un peu plus de différence entre le témoin sans apport supplémentaire d'azote et les bandes B, C1 et C2 avec apport mais pas avec A.

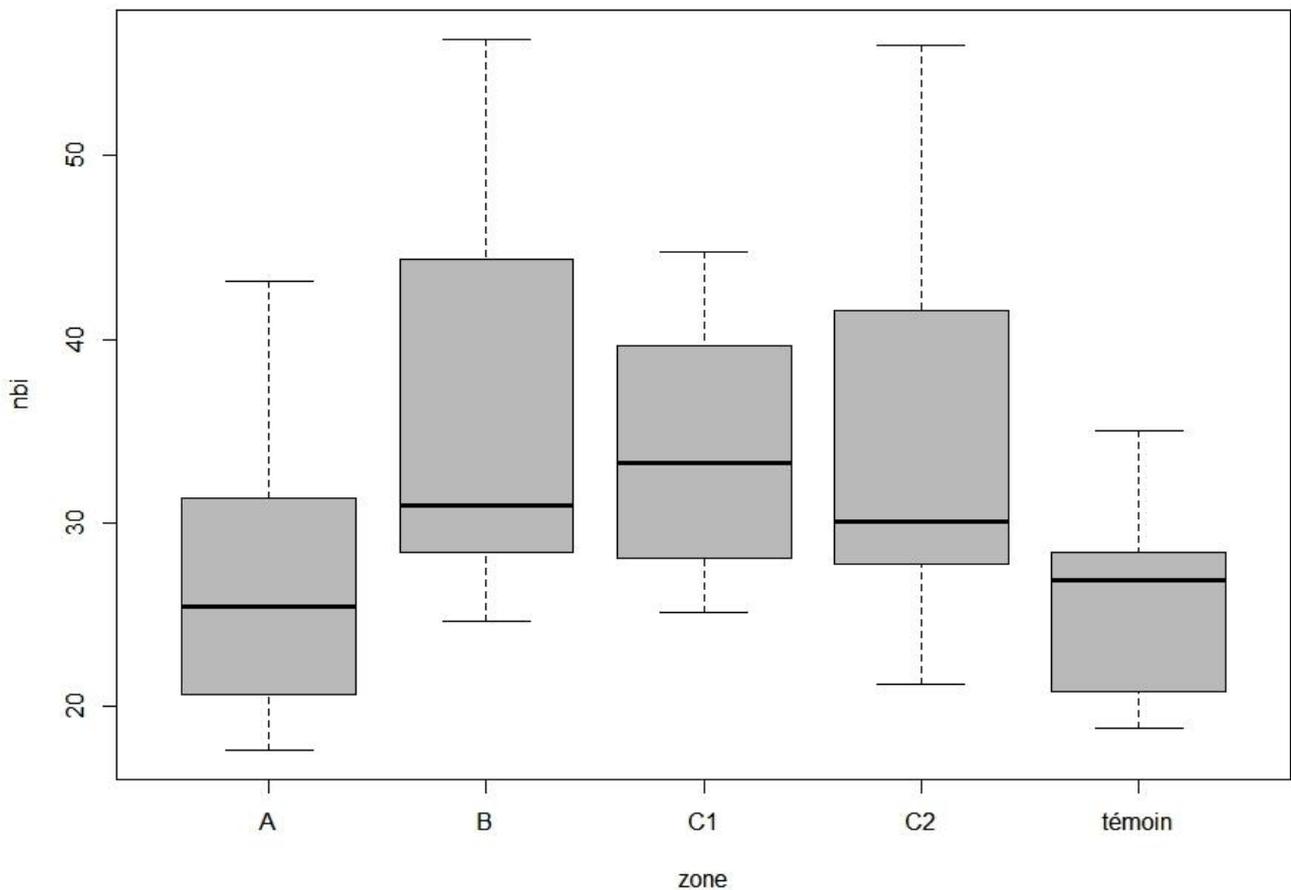


Figure 40 : Représentation en Boxplot des mesures de NBI sur les bandes de Maïs grain avec apport supplémentaire d'azote au 25/08/21

4.5.4 Prélèvements végétaux et estimation de récolte 2021.

Nous avons échantillonné des épis de maïs pour des mesures de rendement le 09/09/21, avant la récolte par les exploitants le 15/10/21.

Nous avons fait quatre prélèvements pour chacune des zones d'étude de notre dispositif :

- Bande A = deux apports de lisier en 2019 et 2021 et fertilisation minérale avec implantation agroforestière ;
- Bande B = un apport de fumier en 2020 et un apport de lisier en 2021 + fertilisation minérale en implantation agroforestière
- zone C = fertilisation minérale en implantation agroforestière ;
- Zone D = fertilisation minérale en zone de plein champ.

Les rendements moyens – calculés à 25% d'humidité – sont de :

- ✓ **78.2 q/ha pour A ;**
- ✓ **74.1 q/ha pour B ;**
- ✓ **74.6 q/ha pour C ;**
- ✓ **63.7 q/ha pour D ;**

ce qui donne une évaluation de **69.3 q/ha pour l'ensemble de la parcelle.**

Le **rendement déclaré** par l'exploitant pour l'ensemble de la parcelle « La Terrière-Champ » est de **69 q (25%) /ha.**

Table 10 : évaluation des rendements pour les quatre zones d'échantillonnage – culture de Maïs grain 2021.

Zone	Echantillon	Rendements	
		<i>q (MS)/ha</i>	<i>q (25% hum)/ha</i>
A	1	52.6	70.1
A	2	59.9	79.9
A	3	49.6	66.2
A	4	72.5	96.7
B	1	61.3	81.7
B	2	71.3	95.1
B	3	24.1	32.1
B	4	65.5	87.3
C	1	62.6	83.5
C	2	52.0	69.3
C	3	68.1	90.8
C	4	41.0	54.7
D	1	44.1	58.7
D	2	55.2	73.5
D	3	43.2	57.5
D	4	48.6	64.8

Nous pouvons constater que la différence constatée entre zones d'agroforesterie et la zone témoin en plein champ est conforme aux résultats donnés par les images du développement cultural.

4.5.5 Bilan 2021.

Les résultats de la saison 2021 confirment ce qui a été observé en 2019 et en 2020 :

- ✓ **Pas d'effet dépressif mais plutôt positif de la présence des taillis linéaires intra-parcellaires sur le développement cultural ;**
- ✓ **Peu d'effet évident des apports organiques en supplément de la fertilisation minérale.**

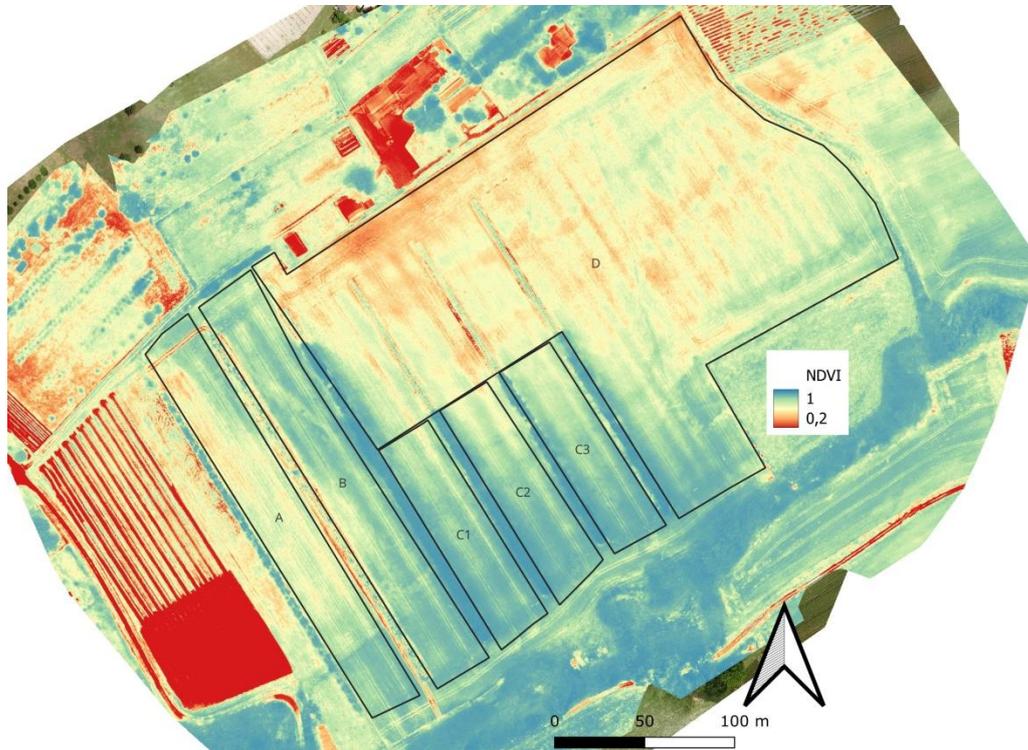
4.6 Suivi cultural 2022

Le suivi cultural 2022 a été très succinct avec deux vols de drone en mai et juin.

4.6.1 **Images NDVI 2022**



Au 10/05/2022



Au 07/06/2022

Figure 41 : Images NDVI de la culture de Blé tendre d'hiver 2022
(Source : Chambre d'agriculture 17, 2022)

Statistiques d'indice NDVI par zone en 2022 :

	NDVI ¹				CV ²			
	A	B	C	D	A	B	C	D
10/05/2022	0.9377	0.9521	0.9613	0.9496	3.6 %	2.3 %	0.9 %	2.3 %
07/06/2022	0.7075	0.8060	0.8241	0.6299	15.2 %	8.9 %	7.6 %	10.5 %

¹ Valeur moyenne. La valeur pour C a été calculée comme moyenne pondérée des valeurs de C1, C2 et C3. ² Coefficient de variation : ET/Moy

Les cartes et les statistiques de NDVI présentent l'état du développement cultural :

- ✓ Au 10/05, tous les apports minéraux et l'apport de lisier ayant été faits, il y a une très forte densité de biomasse végétale (NDVI > 0.9), avec le classement des densités moyennes de biomasse C>B>A>D.
- ✓ Au 07/06, probablement du fait de l'impact climatique, les valeurs d'indice ont chuté et sont plus contrastées. Mais le classement des densités de biomasse est resté le même : C > B > A > D.

Aux deux dates de suivi, le développement végétatif est plus marqué dans les trois zones agroforestières.

4.6.2 Bilan 2022.

Le **rendement déclaré** par l'exploitant pour l'ensemble de la parcelle « La Terrière-Champ » est de **43 qx/ha** au 8 juillet 2022.

La valeur de rendement est tout à fait cohérente avec les niveaux de NDVI observés en juin 2022.

On constate en 2022 un effet positif sur le développement des zones en agroforesterie mais pas d'effet marquant de l'apport d'effluent d'élevage, probablement trop tardif, sur la zone concernée.

5 EFFET FERTILISANT DU RECYCLAGE DES EFFLUENTS ORGANIQUES : CE QUE MONTRENT QUATRE ANS DE SUIVI.

5.1 Méthode : bilan de fertilisation et modélisation des cultures

La comparaison des différents apports fertilisants faits sur la parcelle pendant les 4 années de suivi a été réalisée à l'aide des bilans de fertilisation proposés par l'outil de raisonnement de la fertilisation Clé de Sol ® de la société I-cone (Isagri).

Les résultats de rendement sur chaque zone d'étude et pour chaque année de suivi ont été simulés à l'aide de l'outil de modélisation culturale [STICS](#) de l'INRAe (version 1.5.1) pour aider à comprendre le comportement de l'azote des apports d'effluent ou des engrais minéraux.

Le paramétrage de STICS s'est inspiré des mesures présentées précédemment, en conservant une cohérence d'ensemble avec mes observations faites chaque année.

Sans rentrer dans tous les détails de ce paramétrage et de sa construction, signalons certains choix importants.

5.1.1 Choix du type de sol.

L'analyse comparative de différents scénarios de simulation a démontré qu'il était préférable de ne retenir qu'un seul type de sol pour les quatre zones d'étude pour plus de cohérence entre observations obtenues par télédétection et résultats de simulation.

De plus, malgré la répartition de l'espace parcellaire en zones distinctes, les cartes de télédétection montre de l'hétérogénéité au sein de chaque zone, qui peut être interprétée en partie par les variations des caractéristiques du sol. L'utilisation de quatre profils distincts n'apportent pas d'avantage de cohérence ou de précision dans les simulations.

Il faut également prendre en compte le gradient topographique selon l'orientation nord -sud de la parcelle – voir chapitre 4.2 – qui est une autre cause importante de l'hétérogénéité.

Le profil retenu est celui d'un sol calcaire argilo-limoneux avec deux horizons de 20 et 35 cm soit 55 cm de profondeur totale, comme présenté au chapitre 4.2.

Les caractéristiques nécessaires à la simulation ont été évaluées à partir des mesures faites en 2019, 2021 et 2022, en particulier celles de la zone A.

Ce profil de sol contient entre 90 et 100 mm de réserve utile.

Les simulations sur chaque zone ont été enchaînées de façon que les bilans eau, carbone et azote soient reportées d'une saison culturale à l'autre.

Pour le paramétrage de Clé de sol, nous avons identifiés quatre types différents en fonction des analyses physico-chimiques, pour une évaluation précise de la fertilité PK des sols.

5.1.2 Situation climatologique

Les données climatologiques sont celles de la station Météo-France de la ville de Cognac (16).

Ces valeurs sont assez représentatives en ce qui concerne les températures et le rayonnement global mais peuvent présenter des écarts avec la situation de l'exploitation en ce qui concerne les données pluviométriques et d'évapotranspiration.

5.1.3 Les correspondances variétales

Les variétés de Blé tendre d'hiver et de Maïs grain semés lors des saisons culturales 2019 à 2022 n'existent pas dans la base variétale originale de STICS.

Elles ont été soit reconstituées soit remplacées par une variété plus ancienne avec des propriétés assez similaires.

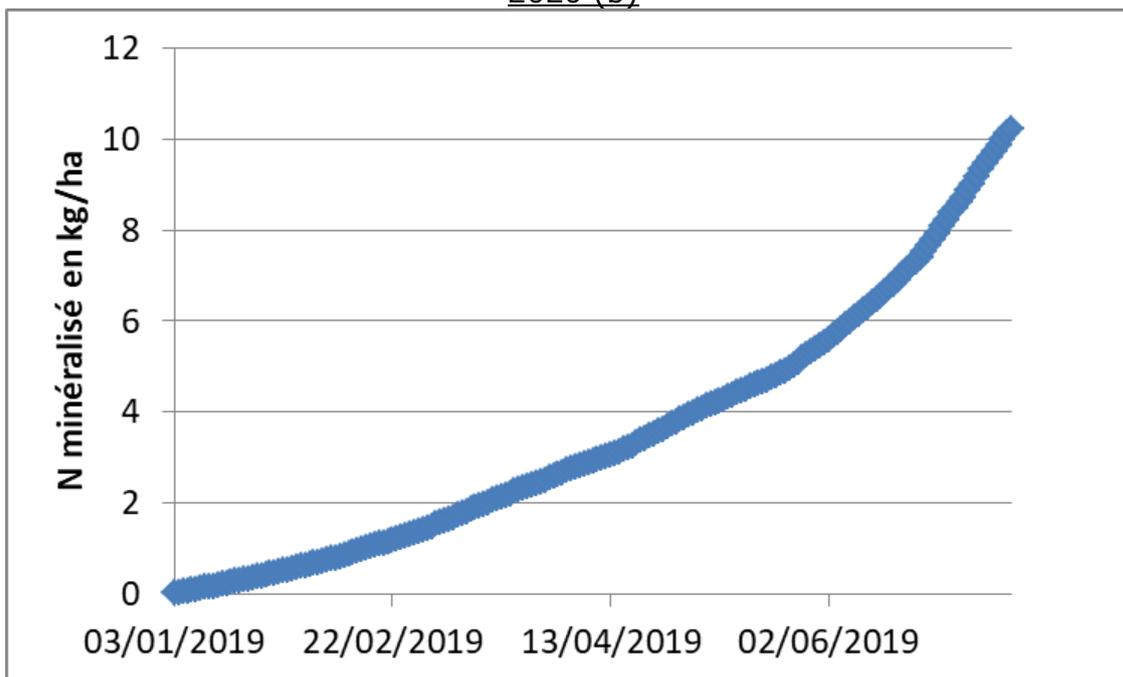
C'est une cause possible de distorsion entre les simulations et les observations de terrain.

5.2 Ce que nous montrent les simulations sur le système sol/culture de la parcelle la « Terrière-Champ ».

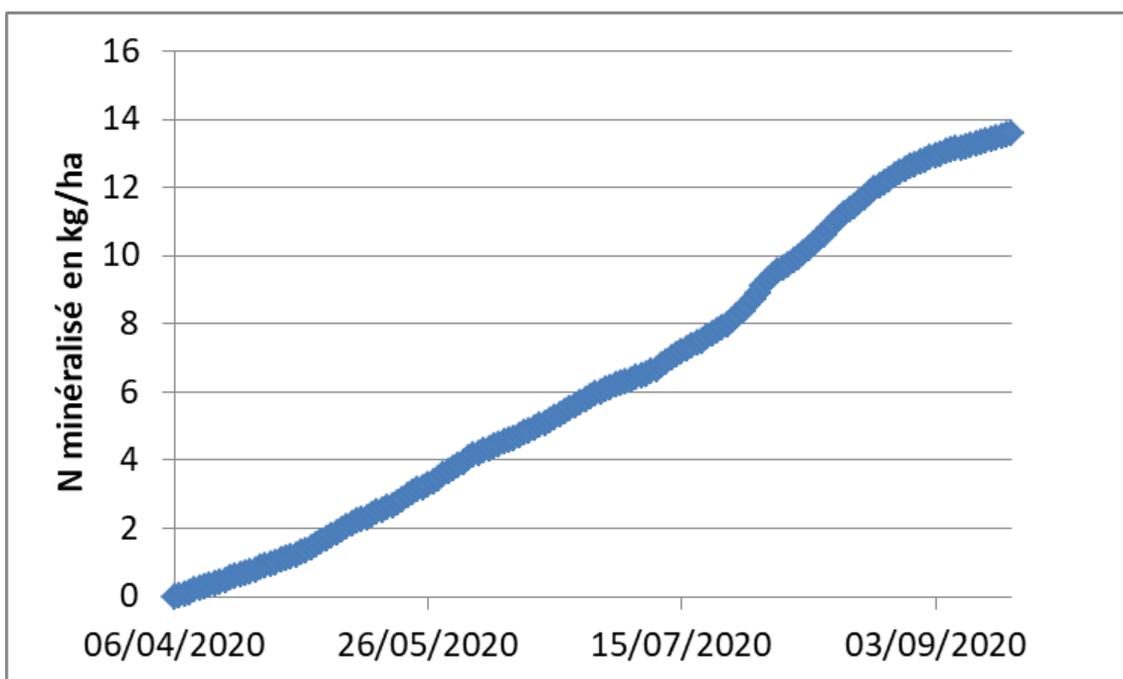
5.2.1 **Minéralisation de l'azote de la matière organique du sol**

Si l'on considère la quantité d'azote minéralisée de la matière organique du sol entre la date du semis et celle de la récolte comme celle disponible pour la culture, les courbes de minéralisation obtenues par simulation pour chacune des saisons culturales montrent que **la fourniture d'azote du sol est de l'ordre de 15 kg N/ha.**

Figure 42 : Courbes de minéralisation de l'azote de la matière organique du sol entre semis et récolte imulées pour les cultures de Blé tendre d'hiver 2019 (a) et Maïs grain 2020 (b)



a)



b)

C'est la valeur qui a été retenue pour le calcul des bilans de fertilisation.

Si l'on compare aux valeurs de la figure 24, il s'agit d'une valeur basse parmi celles qui ont été calculées à partir des mesures de cinétique.

Il est possible d'expliquer cet écart par un effet majorant du protocole de réalisation de la cinétique de minéralisation, qui décrit des conditions de minéralisation plus favorables que celles correspondant à la parcelle « Terrière – Champ », dans un contexte argileux et sec.

5.2.2 Situation du stock d'azote minéral du sol à l'entrée du bilan.

Les valeurs du stock d'azote minéral du sol, nécessaires pour le bilan de fertilisation ont été établies à :

1. **45 kg N/ha pour la culture de blé tendre d'hiver 2019** – le précédent « pois » et les mesures faites fin 2019 ont été prises en compte pour calculer cette valeur ;
2. **25 kg N/ha pour la culture de maïs grain 2020** – les valeurs de simulation et les mesures faites fin 2019 ont été utilisées pour calculer cette valeur ;
3. **10 kg N/ha pour la culture de maïs grain 2021** – à partir des valeurs des simulations enchainées ;
4. **21 kg N/ha pour la culture de blé tendre d'hiver 2022** – à partir des valeurs des simulations enchainées ;

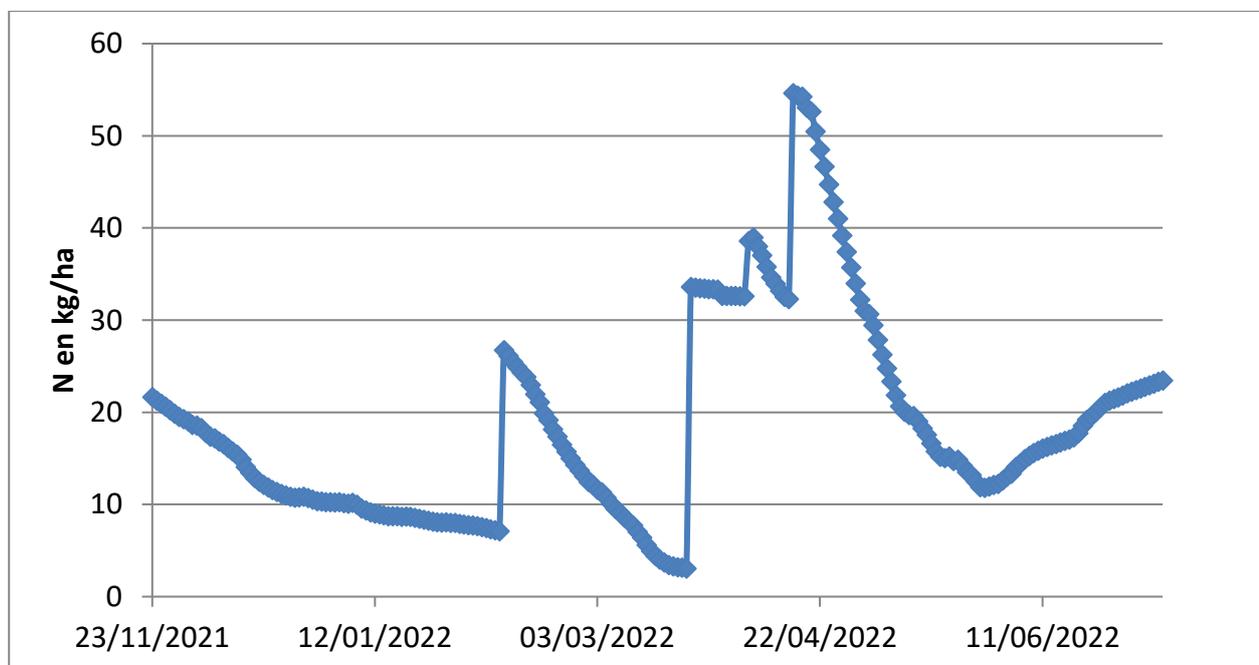


Figure 43 : Exemple de simulation du stock d'azote minéral du sol entre ouverture et fermeture du bilan pour la production de Blé tendre d'hiver 2022.

5.3 Etude des bilans de fertilisation

5.3.1 Blé tendre d'hiver 2019

Cf. figure n°44.

Les simulations de rendements obtenus par modélisation – cf. illustration n°44 – suivent l'ordre des parcelles suivant : C>B>D>A.

Ces résultats sont cohérents avec les observations faites par télédétection - cf. chapitre 4.3.1 - et dans une moindre mesure avec les mesures de rendements – cf. chap. 4.3.2.

Le tableau des bilans élémentaire montre que

- Le bilan N est légèrement bénéficiaire pour la zone d'étude A – qui a reçu un apport de lisier pour la culture 2019 – et faiblement déficitaire pour les autres zones.
- Le bilan P est plutôt déficitaire – pour les zones A, B et C – ou équilibré – pour la zone D.
- Le bilan K est légèrement bénéficiaire pour la zone A et équilibré pour les autres zones.

Le calcul des bilans avec l'outil « Clé de sol » montrent que la zone A, qui a reçu l'apport de lisier, aurait bénéficié de d'un apport supplémentaire de

- 24 kg N/ha
- 17 kg P₂O₅/ha
- 20 kg K₂O/ha

Le rendement de cette zone finalement moins important que pour les autres zones explique le bilan en N et K bénéficiaire.

Deux autres scénarios ont été simulés pour la zone A avec STICS afin d'évaluer l'efficacité de l'itinéraire de fertilisation azotée :

- un scénario avec une date d'apport plus précoce au 5 février pour tester l'effet d'une minéralisation plus avancée ;
- un scénario avec un apport de 40 mm d'irrigation au 15 mai 2019 pour améliorer l'alimentation de la plante.

Les résultats obtenus :

Scénario	A initial avec apport du lisier au 5 mars	A avec apport plus précoce au 5 février	A avec apport au 5 mars et 40 mm irrigation
Rendement simulé en q/ha	50.4	49.7	65.2
Apport d'azote contenu sous forme minérale dans le lisier en kg/ha	14	14	14
Apport d'azote issu de la minéralisation de l'azote organique du lisier en kg/ha	33	33	33
Lessivage cumulé simulé en kg N/ha	7	7	7

La meilleure simulation de rendement est obtenue de façon significative par l'introduction d'un apport d'eau par irrigation.

Il n'y a pas de modification de l'évaluation de l'apport complémentaire d'azote dans les deux autres scénarios, ni de de l'évaluation de la valeur du lessivage.

L'examen des courbes de simulation de l'azote absorbé par la culture en fonction des trois scénarios – figure n°45– montre **deux périodes de plus forte absorption pour le scénario avec irrigation**, ce qui explique le rendement plus important.

Réalisé - Balance de fertilisation

Libellé	Parcelle		Culture	Rdt	Eléments fertilisants	Besoins kg/ha	Fournitures kg/ha	Apports Org. kg/ha	Apports Min. kg/ha	Total Apports kg/ha	Solde kg/ha
	SAU	Analyse - Date									
A lilot , parcelle	0,96	05/02/19	Blé amélio d'hiver 3, grain + paille Dérobée :	50,0	N	210	65	24	157	181	36
					P2O5	60	12	17	0	17	-31
					K2O	90	90	20	0	20	20
					CaO	1 355	500	20	0	20	-835
					MgO	26	0	6	0	6	-20
B lilot , parcelle	0,97	01/02/19	Blé amélio d'hiver 3, grain + paille Dérobée :	55,0	N	230	65	0	157	157	-8
					P2O5	66	0	0	0	0	-66
					K2O	99	99	0	0	0	0
					CaO	1 323	500	0	0	0	-823
					MgO	27	0	0	0	0	-27
C lilot , parcelle	1,67	01/02/19	Blé amélio d'hiver 3, grain + paille Dérobée :	56,0	N	233	65	0	157	157	-12
					P2O5	67	13	0	0	0	-54
					K2O	101	101	0	0	0	0
					CaO	1 525	500	0	0	0	-1 025
					MgO	32	32	0	0	0	0
D lilot , parcelle	4,74	01/02/19	Blé amélio d'hiver 3, grain + paille Dérobée :	54,0	N	226	65	0	157	157	-4
					P2O5	65	65	0	0	0	0
					K2O	97	97	0	0	0	0
					CaO	1 390	500	0	0	0	-890
					MgO	37	37	0	0	0	0

* compte tenu de l'application du CAU

Figure 44 : Bilan de fertilisation pour les quatre zones d'étude de la parcelle « La Terrière-Champ » pour la culture de Blé tendre d'hiver 2019.

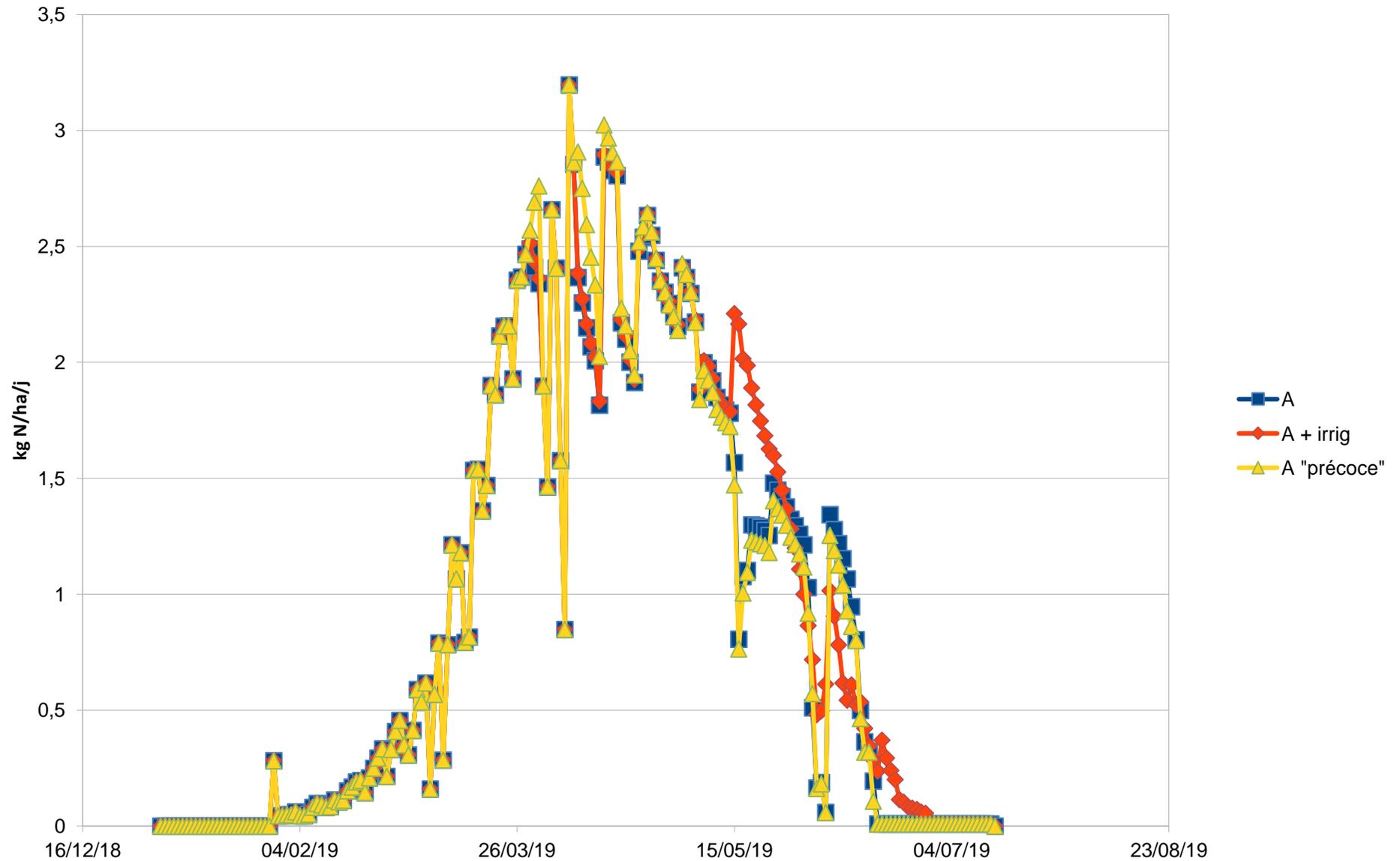


Figure 45 : Evaluation par STICS de l'azote absorbé par la culture de blé 2019 dans les trois cas de scénarios « A initial », « A avec un apport d'irrigation » et « A avec l'apport de lisier plus précoce ».

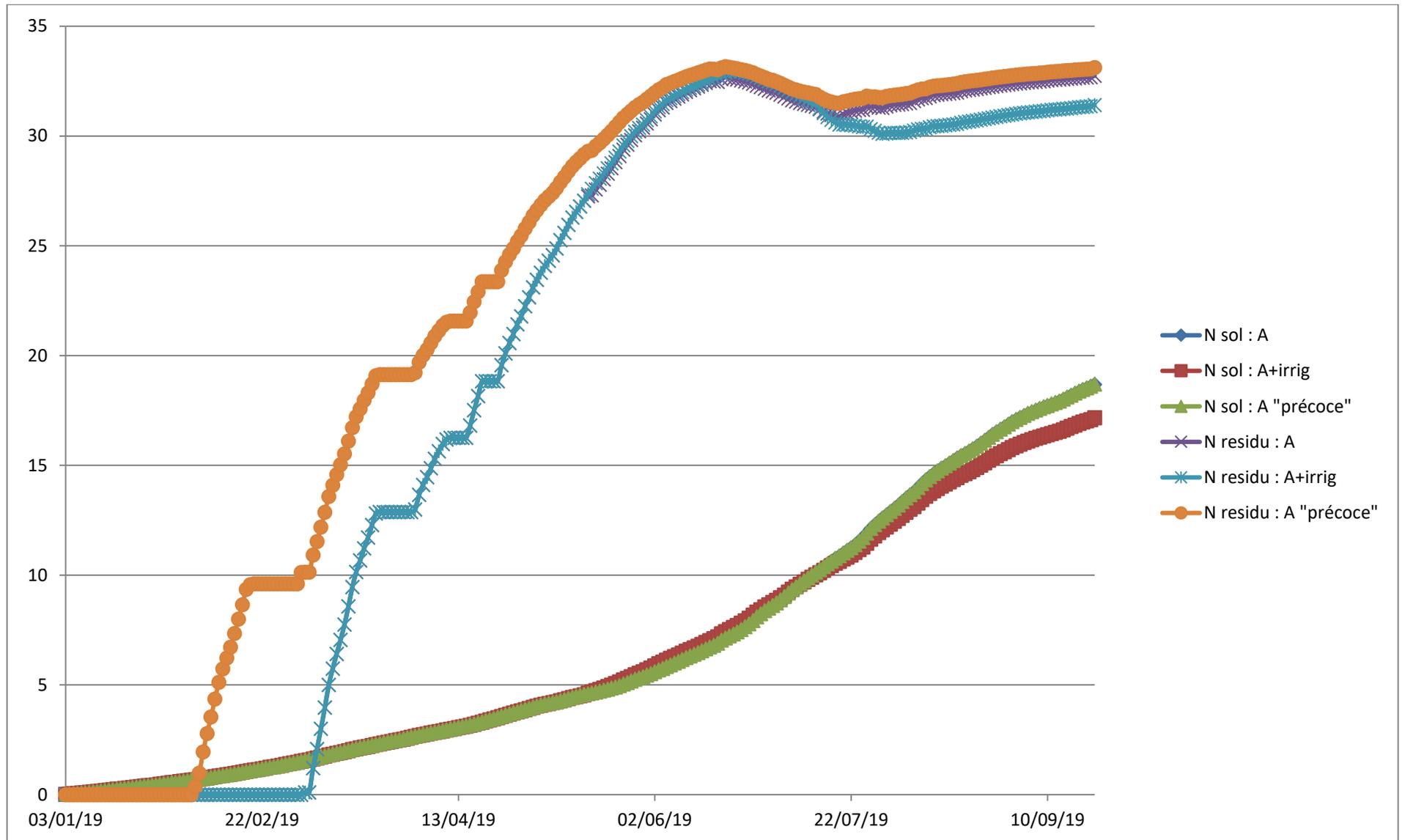


Figure 46 : Evaluation par STICS de la minéralisation de l'azote de la matière organique du sol (N sol) et de la fraction organique du lisier (N residu) pour la culture de blé 2019 dans les trois cas de scénarios « A initial », « A avec un apport d'irrigation » et « A avec l'apport de lisier plus précoce ».

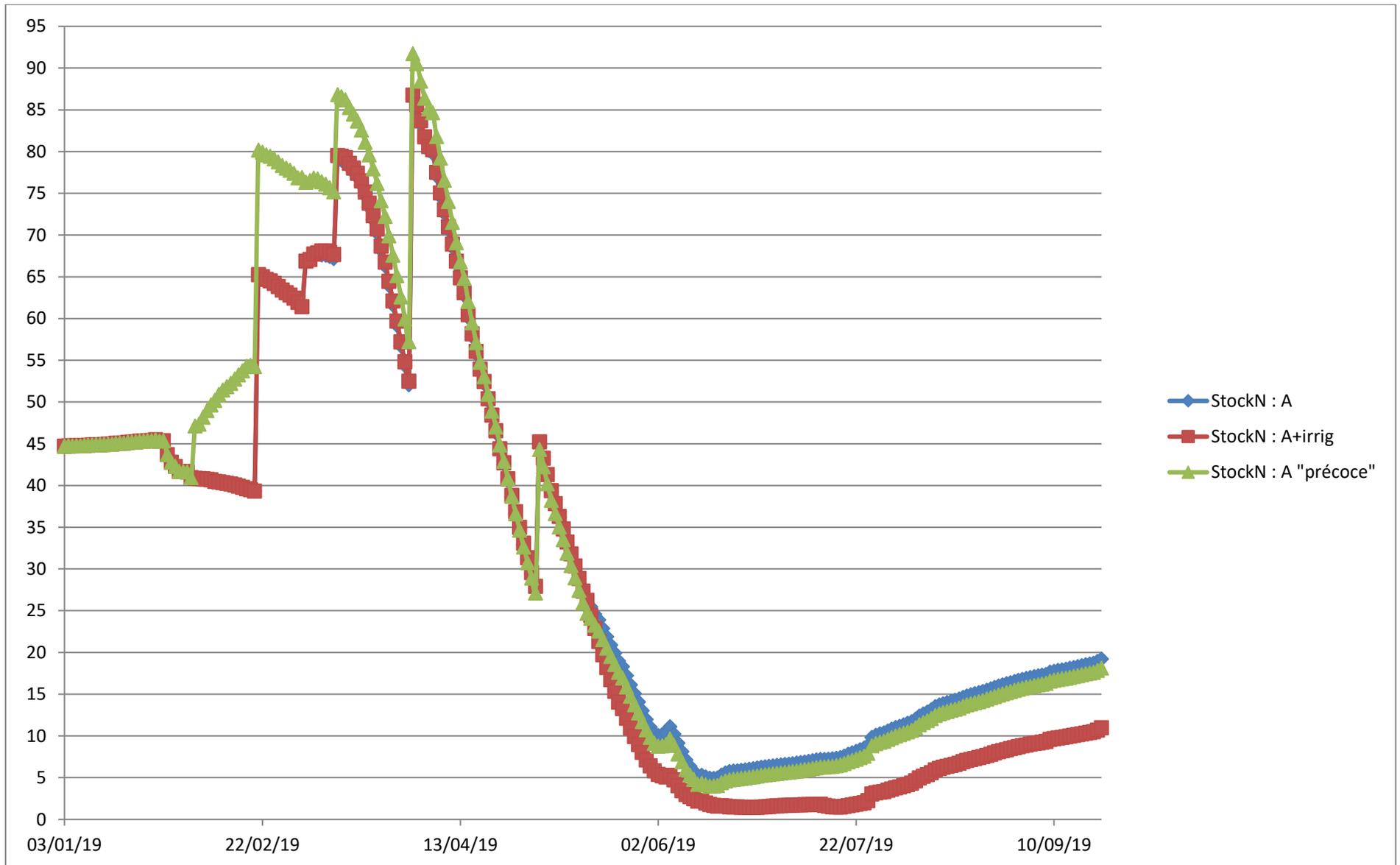


Figure 47 : Evaluation par STICS du stock d'azote minéral du sol (StockN) pour la culture de blé 2019 dans les trois cas de scénarios « A initial », « A avec un apport d'irrigation » et « A avec l'apport de lisier plus précoce ».

L'examen des courbes de simulation de la minéralisation de l'azote organique du sol ou du lisier en fonction des trois scénarios – *figure n°46* – montre que les résultats de minéralisation sont pratiquement identiques dans les trois scénarios.

L'examen des courbes de simulation du stock d'azote minéral du sol en fonction des trois scénarios – *figure n°47* – montre la meilleure utilisation du stock pour le scénario avec irrigation.

Les résultats de simulation montrent que ce sont les conditions hydriques du sol qui influent sur l'efficacité de l'apport complémentaire d'azote.

Notons d'ailleurs que les valeurs de rendement simulées plus importantes en zone B, C et D – pour correspondre aux observations par télédétection – ont été obtenues avec un apport d'eau correctif qui correspond

- ✓ **soit à une répartition plus favorable de l'humidité dans le sol du fait de la topographie ;**
- ✓ **soit à un effet protecteur des bandes de taillis pour les zones B et C.**

L'apport d'azote total du lisier est de **63 kg N/ha** . Sur la base des simulations, et en prenant en compte l'évaluation de 8 kg/ha issus du lisier et perdus en volatilisation, $14 + 33 - 8 = 39$ **kg/ha sont disponibles pour la culture** au cours de développement, soit presque **62%** de l'apport total.

Cependant les conditions hydriques limitantes n'ont pas permis de valoriser tout l'apport d'azote.

5.3.2 Maïs grain 2020

Cf. figure n°48.

Les simulations de rendements obtenus par modélisation suivent l'ordre des parcelles suivant : $B > A > C > D$.

Ces résultats sont cohérents avec les observations faites par télédétection - cf. chap. 4.4.1.

Le tableau des bilans élémentaire montre que

- Le bilan N est bénéficiaire pour l'ensemble des zones d'étude, en particulier pour les deux zones en fertilisation minérale seule, C et D.
- Le bilan P est largement bénéficiaire pour l'ensemble des zones.
- Le bilan K est légèrement bénéficiaire pour les zones A et B, déficitaire pour C et équilibré pour D.

Le calcul des bilans avec l'outil « Clé de sol » montrent que la zone B, qui a reçu l'apport de fumier, aurait bénéficié d'un apport supplémentaire de

- 12 kg N/ha
- 16 kg P₂O₅/ha
- 47 kg K₂O/ha

Les simulations STICS réalisées pour les quatre zones A, B, C et D montrent que

- L'apport d'azote supplémentaire en zone B provenant du fumier est évalué à 8 kg/ha sous forme minérale immédiate plus 5 kg/ha issus de la minéralisation du fumier (avec résidus), soit 13 kg N/ha – *cf figure n°50* - ce qui est cohérent avec le bilan « Clé de sol » ;
- La fourniture du sol simulée par STICS est estimée à 23 kg N/ha ;
- Les simulations de l'absorption de l'azote dans chaque zone – *figure n°49* – montrent une absorption un peu plus forte pour la zone B dans la deuxième moitié du développement cultural, ce qui est confirmé par les évaluations du stock d'azote du sol – *figure n°51* - qui baisse plus fortement en B à partir de mi-juillet.

Réalisé - Balance de fertilisation

Libellé	Parcellaire			Rdt	Éléments fertilisants	Besoins kg/ha	Fournitures kg/ha	Apports Org. kg/ha	Apports Min. kg/ha	Total Apports kg/ha	Solde kg/ha
	SAU	Analyse - Date	Culture								
A llot , parcelle	0,96	05/02/19	Maïs	60,0	N	153	25	0	141	141	13
			grains <100 q/ha		P2O5	42	54	0	124	124	136
			Dérobée :		K2O	30	43	0	0	0	13
					CaO	1 302	513	0	0	0	-789
					MgO	25	4	0	0	0	-21
B llot , parcelle	0,97	01/02/19	Maïs	64,0	N	162	25	12	141	153	16
			grains <100 q/ha		P2O5	45	0	16	124	140	95
			Dérobée :		K2O	32	0	47	0	47	15
					CaO	1 269	500	62	0	62	-707
					MgO	26	0	14	0	14	-11
C llot , parcelle	1,67	01/02/19	Maïs	55,0	N	142	25	0	140	140	24
			grains <100 q/ha		P2O5	39	8	0	123	123	93
			Dérobée :		K2O	28	5	0	0	0	-23
					CaO	1 463	500	0	0	0	-963
					MgO	28	28	0	0	0	0
D llot , parcelle	4,74	01/02/19	Maïs	50,0	N	130	25	0	140	140	35
			grains <100 q/ha		P2O5	35	35	0	123	123	123
			Dérobée :		K2O	25	25	0	0	0	0
					CaO	1 333	500	0	0	0	-833
					MgO	33	33	0	0	0	0

* compte tenu de l'application du CAU

Figure 48 : Bilan de fertilisation pour les quatre zones d'étude de la parcelle « La Terrière-Champ » pour la culture de Maïs grain 2020.

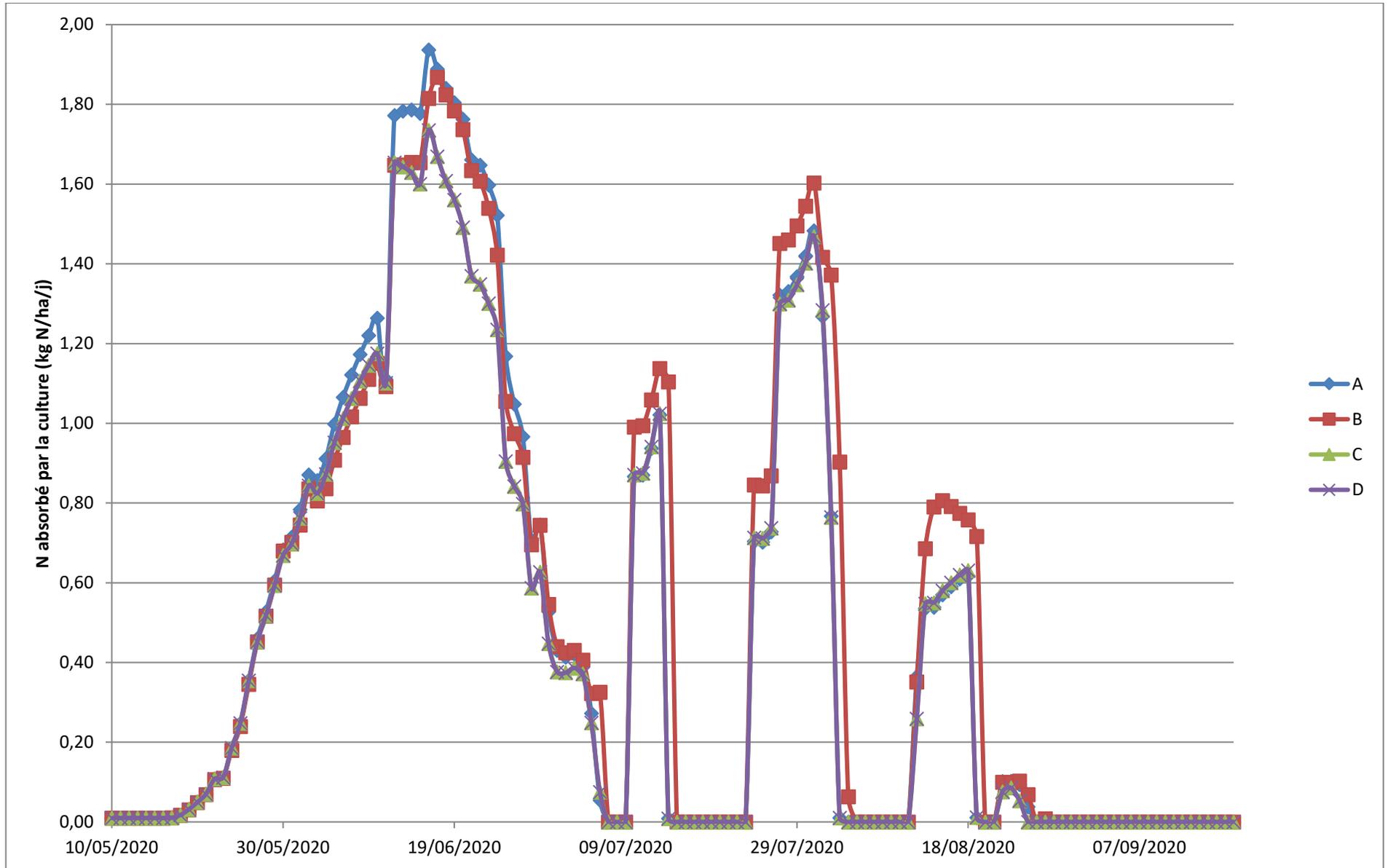


Figure 49 : Evaluation par STICS de l'azote absorbé par la culture de maïs grain 2020 pour les zones A, B, C et D.

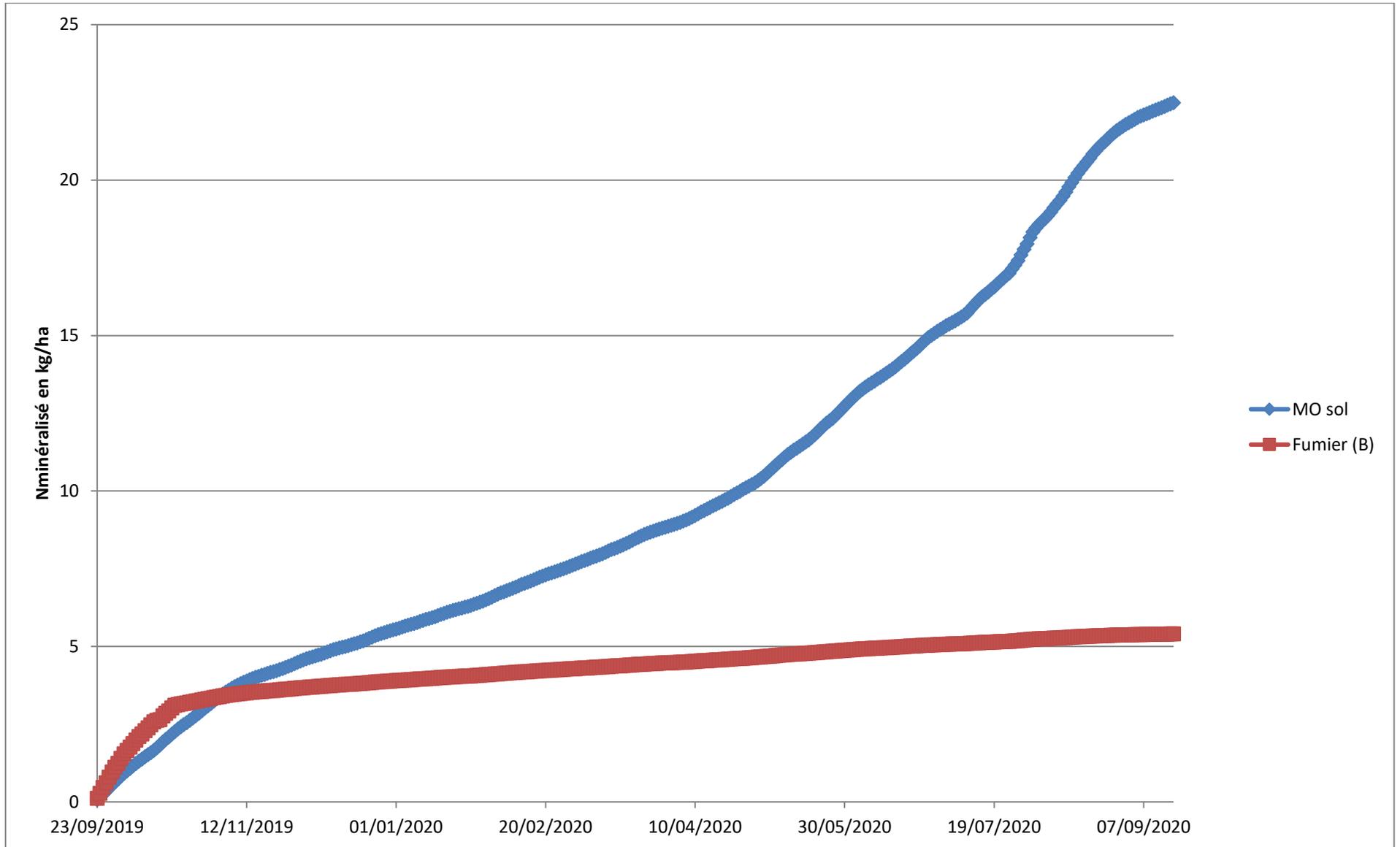


Figure 50 : Evaluation par STICS de la minéralisation de l'azote de la matière organique du sol (MO sol) et du fumier (B) pour la culture de maïs grain 2020.



Figure 51 : Evaluation par STICS du stock d'azote minéral du sol sous la culture de maïs grain 2020 pour les quatre zones d'étude A, B,C et D.

En 2020, l'apport de fumier n'a pas véritablement d'effet fertilisant azoté, comparé à la fourniture du sol ni au reste de l'itinéraire de fertilisation. L'apport le plus marquant est celui du potassium.

L'apport d'azote total du fumier est de **77 kg N/ha**. Sur la base des simulations, **13 kg /ha sont fournies par le fumier pour la culture**, mais 8 kg/ha sont perdus en volatilisation ce qui ne laisse que **5 kg/ha pour le développement cultural** soit environ **6%** de l'apport total.

Il est également probable que l'apport du fumier ait eu un effet d'amendement, améliorant l'état du sol de la zone B, ce qui pourrait expliquer l'homogénéité du développement végétal mesuré par télédétection.

Notons que les valeurs de rendement simulées pour les quatre zones A, B, C et D ont été obtenues avec le même apport d'eau correctif qui correspond probablement à des événements pluviométriques locaux non pris en compte par la station météorologique de référence.

5.3.3 Maïs grain 2021

Cf. figure n°52.

Les simulations de rendements obtenus par modélisation suivent l'ordre des parcelles suivant : B>A>C/D.

Ces résultats sont assez cohérents avec les observations faites par télédétection - cf. chap. 4.5.2. - et avec l'estimation de récolte 2021 - cf. chap. 4.5.4.

Le tableau des bilans élémentaire montre que

- Le bilan N est bénéficiaire pour l'ensemble des zones d'étude.
- Le bilan P est largement bénéficiaire pour l'ensemble des zones.
- Le bilan K est légèrement bénéficiaire pour les zones A et B grâce à l'apport de lisier, déficitaire pour C et équilibré pour D.

Le calcul des bilans avec l'outil « Clé de sol » montrent que les zones A et B, qui ont reçu un apport de lisier, auraient bénéficié d'un apport supplémentaire de

- 20 kg N/ha
- 14 kg P₂O₅/ha
- 18 kg K₂O/ha

Les simulations STICS réalisées pour les quatre zones A, B, C et D montrent que

- L'apport d'azote supplémentaire en zones A et B provenant du lisier est évalué à 18 kg/ha sous forme minérale immédiate plus 18 kg/ha issus de la minéralisation du fumier et des résidus, soit 36 kg N/ha – *cf figure n°54* - ce qui est plus important que ce que propose le bilan « Clé de sol » ;
- La fourniture du sol simulée par STICS est estimée à 12 kg N/ha ;
- Les simulations de l'absorption de l'azote dans chaque zone – *figure n°53* – montrent une absorption un peu plus forte
 - pour la zone B sur la période de juillet,
 - pour la zone A sur le début de la période d'août
- Les évaluations du stock d'azote du sol – *figure n°55* – montre que l'apport de lisier sur A et B entraîne une augmentation du stock d'azote du sol supérieure de 10 unités à celle de C et D. Cette différence se maintient jusqu'en fin de cycle. L'enrichissement relatif du stock d'azote par suite de la culture 2021 est de l'ordre de 20 kg/ha.

L'apport d'azote total du lisier est de **38 kg N/ha**. Sur la base des simulations, **36 kg /ha sont disponibles pour la culture** au cours de développement. La **volatilisation** de l'azote du lisier a été évaluée dans les simulations à **10 kg/ha**. **La dose d'azote apportée par le lisier réellement utile est de 26 kg/ha** soit environ **68%** de l'apport total.

Réalisé - Balance de fertilisation

Libellé	Parcelle		Culture	Rdt	Éléments fertilisants	Besoins kg/ha	Fournitures kg/ha	Apports Org. kg/ha	Apports Min. kg/ha	Total Apports kg/ha	Solde kg/ha
	SAU	Analyse - Date									
A Ilot , parcelle	0,96	05/02/19	Maïs grains 100-120 q/ha Dérobée :	55,0	N	136	15	20	139	158	37
					P2O5	39	39	14	113	127	128
					K2O	28	28	18	0	18	19
					CaO	1 263	500	13	0	13	-750
					MgO	24	0	7	0	7	-16
B Ilot , parcelle	0,97	01/02/19	Maïs grains 100-120 q/ha Dérobée :	56,5	N	139	15	20	138	158	34
					P2O5	40	40	14	111	126	126
					K2O	28	28	18	0	18	18
					CaO	1 232	500	13	0	13	-720
					MgO	24	0	7	0	7	-17
C Ilot , parcelle	1,67	01/02/19	Maïs grains <100 q/ha Dérobée :	51,0	N	132	15	0	138	138	21
					P2O5	36	36	0	111	111	112
					K2O	26	5	0	0	0	-21
					CaO	1 419	500	0	0	0	-919
					MgO	27	21	0	0	0	-6
D Ilot , parcelle	4,74	01/02/19	Maïs grains <100 q/ha Dérobée :	51,0	N	132	15	0	138	138	21
					P2O5	36	36	0	111	111	112
					K2O	26	26	0	0	0	1
					CaO	1 293	500	0	0	0	-793
					MgO	33	33	0	0	0	0

* compte tenu de l'application du CAU

Figure 52 : Bilan de fertilisation pour les quatre zones d'étude de la parcelle « La Terrière-Champ » pour la culture de Maïs grain 2021.

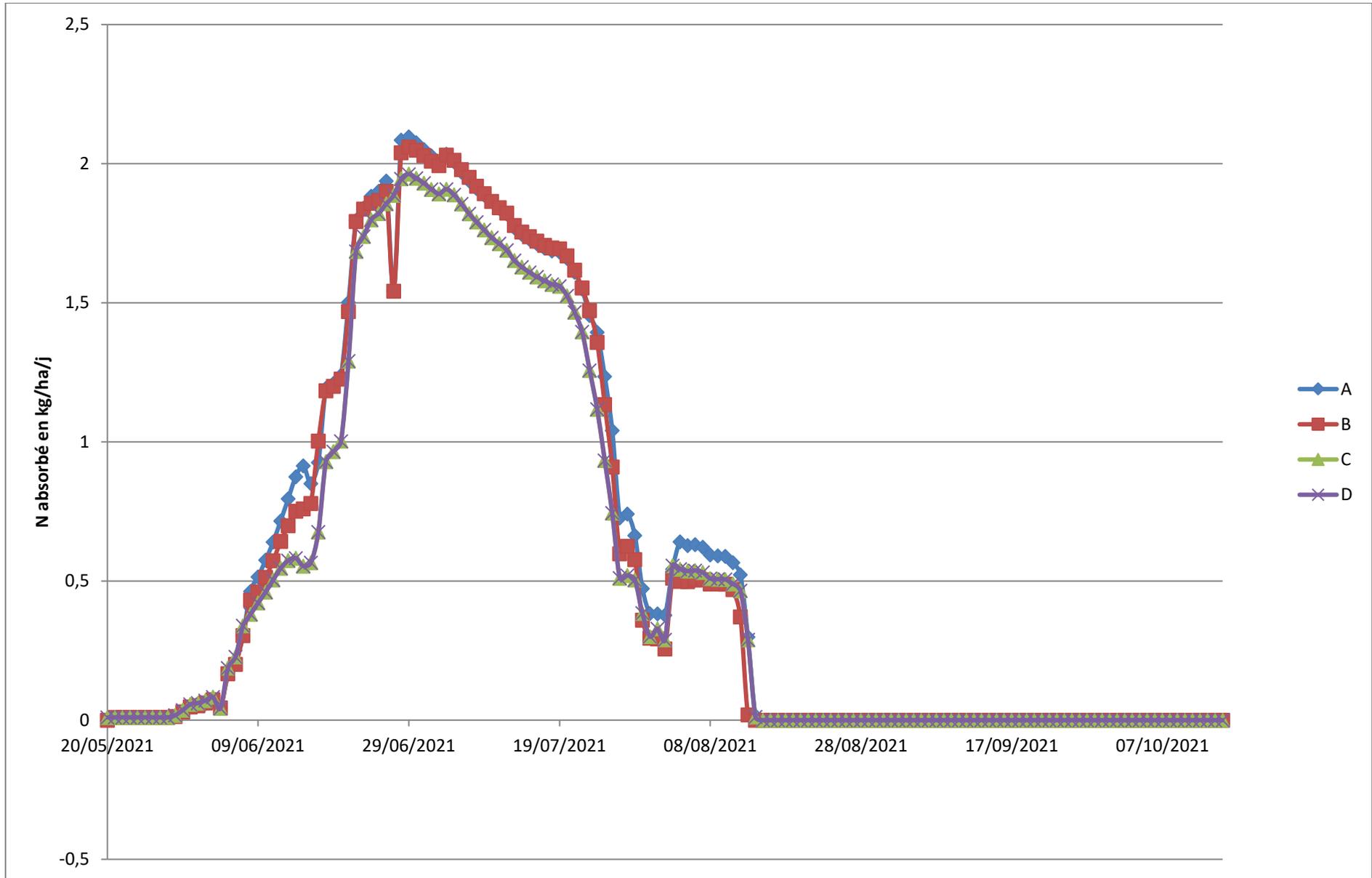


Figure 53 : Evaluation par STICS de l'azote absorbé par la culture de maïs grain 2021 pour les zones A, B, C et D.

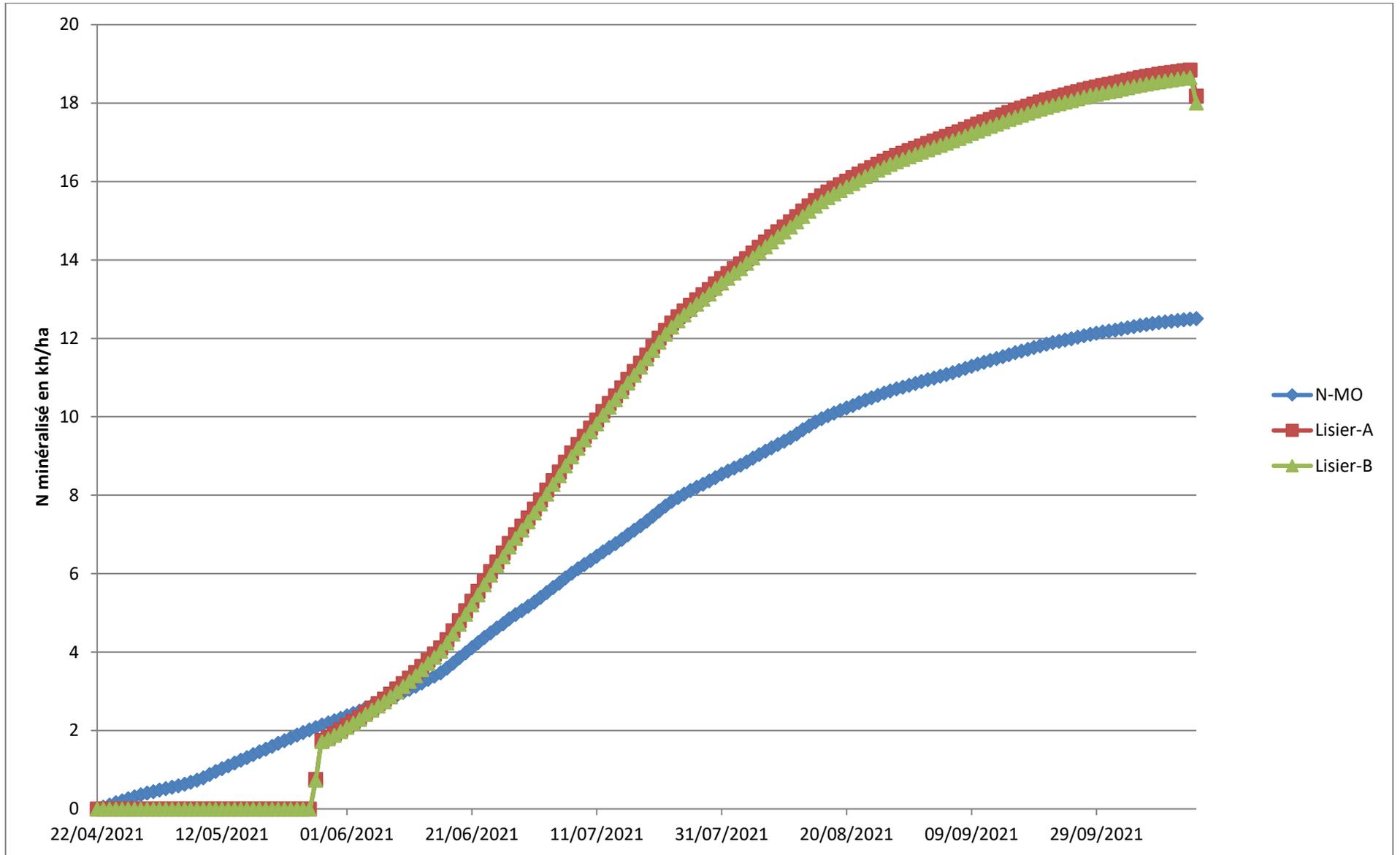


Figure 54 : Evaluation par STICS de la minéralisation de l'azote de la matière organique du sol (N-MO) et du lisier (zones A et B) pour la culture de maïs grain 2021.

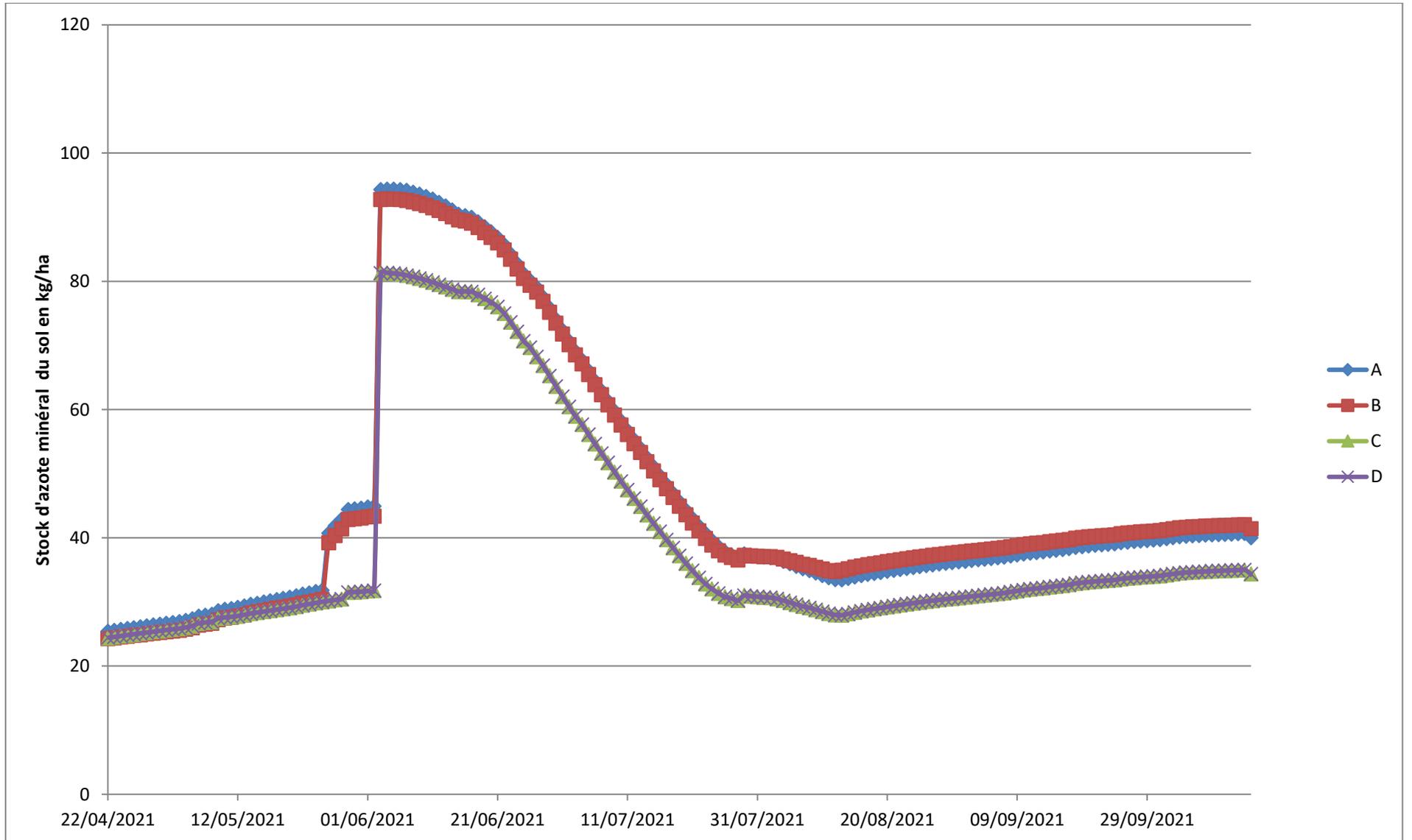


Figure 55 : Evaluation par STICS du stock d'azote minéral du sol sous la culture de maïs grain 2021 pour les quatre zones d'étude A, B, C et D.

Comme pour la saison culturale précédente, les valeurs de rendement simulées pour les quatre zones A, B, C et D ont été obtenues avec un même apport d'eau correctif.

5.3.4 Blé tendre d'hiver 2022

Cf. figure n°56.

Les simulations de rendements obtenus par modélisation suivent l'ordre des parcelles suivant : C>B>A>D.

Ces résultats sont cohérents avec les observations faites par télédétection - cf. chap. 4.6.1.

Le tableau des bilans élémentaire montre que

- Le bilan N est légèrement bénéficiaire pour la zone A et déficitaire pour les autres zones d'étude.
- Le bilan P et K sont largement bénéficiaires pour l'ensemble des zones.

Le calcul des bilans avec l'outil « Clé de sol » montrent que la zone A, avec un apport de lisier, aurait bénéficié d'un apport supplémentaire de

- 17 kg N/ha
- 16 kg P₂O₅/ha
- 20 kg K₂O/ha

Les simulations STICS réalisées pour les quatre zones A, B, C et D montrent que

- L'apport d'azote supplémentaire en zone A provenant du lisier est évalué à 15 kg/ha sous forme minérale immédiate plus 30 kg/ha issus de la minéralisation du fumier et des résidus, soit 45 kg N/ha – *cf figure n°58* - ce qui est plus important que ce que propose le bilan « Clé de sol » ;
- La fourniture du sol simulée par STICS est estimée à 13 kg N/ha ;
- Les simulations de l'absorption de l'azote dans chaque zone – *figure n°57* – montrent une absorption plus forte en zone A pour la période d'avril à mai.
- Les évaluations du stock d'azote du sol – *figure n°59* – montre que l'apport de lisier sur A au 06/04/22 entraîne une augmentation du stock d'azote du sol supérieure jusqu'à 12 unités à celle de B, C et D. En post récolte, cette différence est de 7 kg/ha.

L'apport d'azote total du lisier est de **47 kg N/ha**. Sur la base des simulations, **45 kg /ha sont disponibles pour la culture** au cours de développement. **La volatilisation** de l'azote du lisier a été évaluée dans les simulations à **9 kg/ha**. **La dose d'azote apportée par le lisier réellement utile est de 36 kg/ha** soit environ **76% de l'apport total**.

Comme pour la culture de Blé tendre d'hiver de 2019, les valeurs de rendement simulées ont été ajustées d'après les observations par télédétection à l'aide d'apports d'eau correctifs traduisant l'hétérogénéité de comportement hydrique au sein de la parcelle.

Comme pour 2019, ce sont les conditions hydriques du sol qui influent sur l'efficacité de l'apport complémentaire d'azote.

On peut noter que comme pour 2019, **les zones avec implantation agroforestière ont en général une évaluation de rendement légèrement supérieure.**

Réalisé - Balance de fertilisation

Libellé	Parcelaire			Rdt	Eléments fertilisants	Besoins kg/ha	Fournitures kg/ha	Apports Org. kg/ha	Apports Min. kg/ha	Total Apports kg/ha	Solde kg/ha
	SAU	Analyse - Date	Culture								
A Ilot , parcelle	0,96	01/05/21	Blé amélio d'hiver 3, grain + paille Dérobée :	44,0	N	169	26	17	133	150	7
					P2O5	53	63	16	52	67	77
					K2O	79	91	20	51	71	83
					CaO	1 425	508	14	0	14	-903
					MgO	25	5	8	0	8	-12
B Ilot , parcelle	0,97	01/05/21	Blé amélio d'hiver 3, grain + paille Dérobée :	44,5	N	171	26	0	133	133	-12
					P2O5	53	63	0	52	52	61
					K2O	80	92	0	51	51	63
					CaO	1 538	508	0	0	0	-1 030
					MgO	29	29	0	0	0	0
C Ilot , parcelle	1,67	01/05/21	Blé amélio d'hiver 3, grain + paille Dérobée :	45,5	N	174	26	0	133	133	-15
					P2O5	55	55	0	52	52	52
					K2O	82	82	0	51	51	51
					CaO	1 538	500	0	0	0	-1 038
					MgO	29	29	0	0	0	0
D Ilot , parcelle	4,74	01/05/21	Blé amélio d'hiver 3, grain + paille Dérobée :	42,0	N	162	26	0	133	133	-3
					P2O5	50	50	0	52	52	51
					K2O	76	76	0	51	51	51
					CaO	1 489	500	0	0	0	-989
					MgO	29	29	0	0	0	0

* compte tenu de l'application du CAU

Figure 56 : Bilan de fertilisation pour les quatre zones d'étude de la parcelle « La Terrière-Champ » pour la culture de Blé tendre d'hiver 2022.

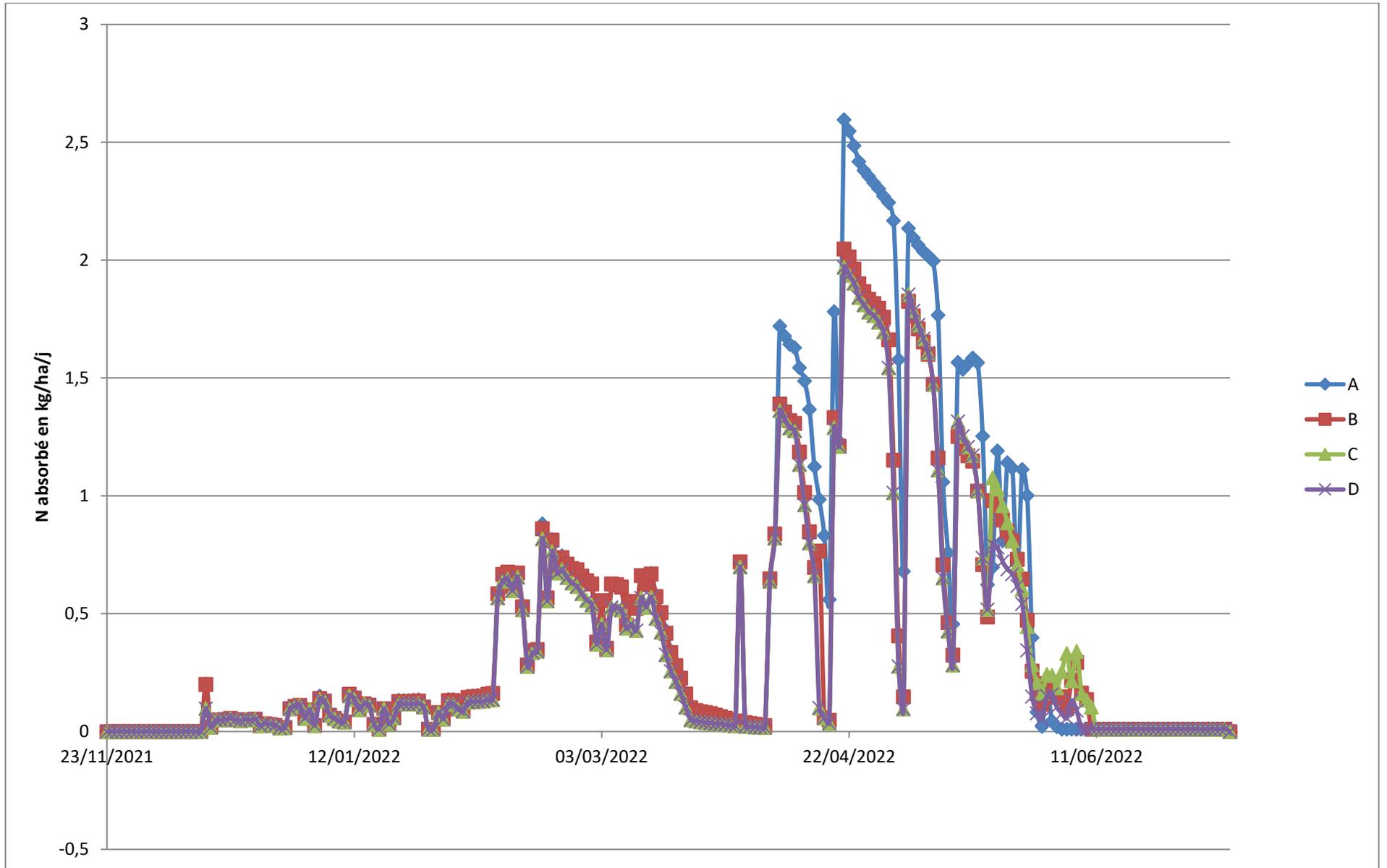


Figure 57 : Evaluation par STICS de l'azote absorbé par la culture de blé tendre 2022 pour les zones A, B, C et D.

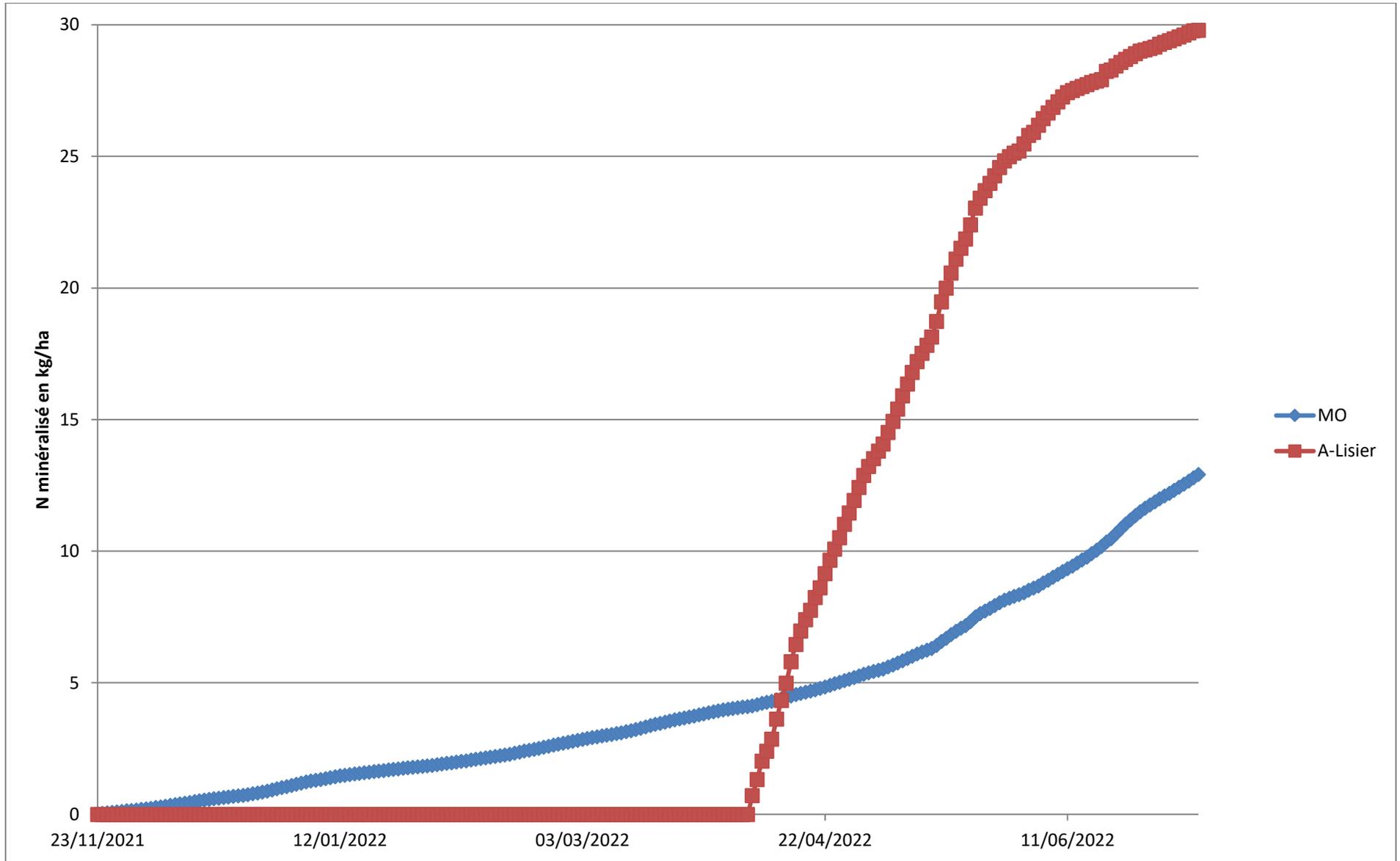


Figure 58 : Evaluation par STICS de la minéralisation de l'azote de la matière organique du sol (N-MO) et du lisier (zone A) pour la culture de blé tendre 2022.

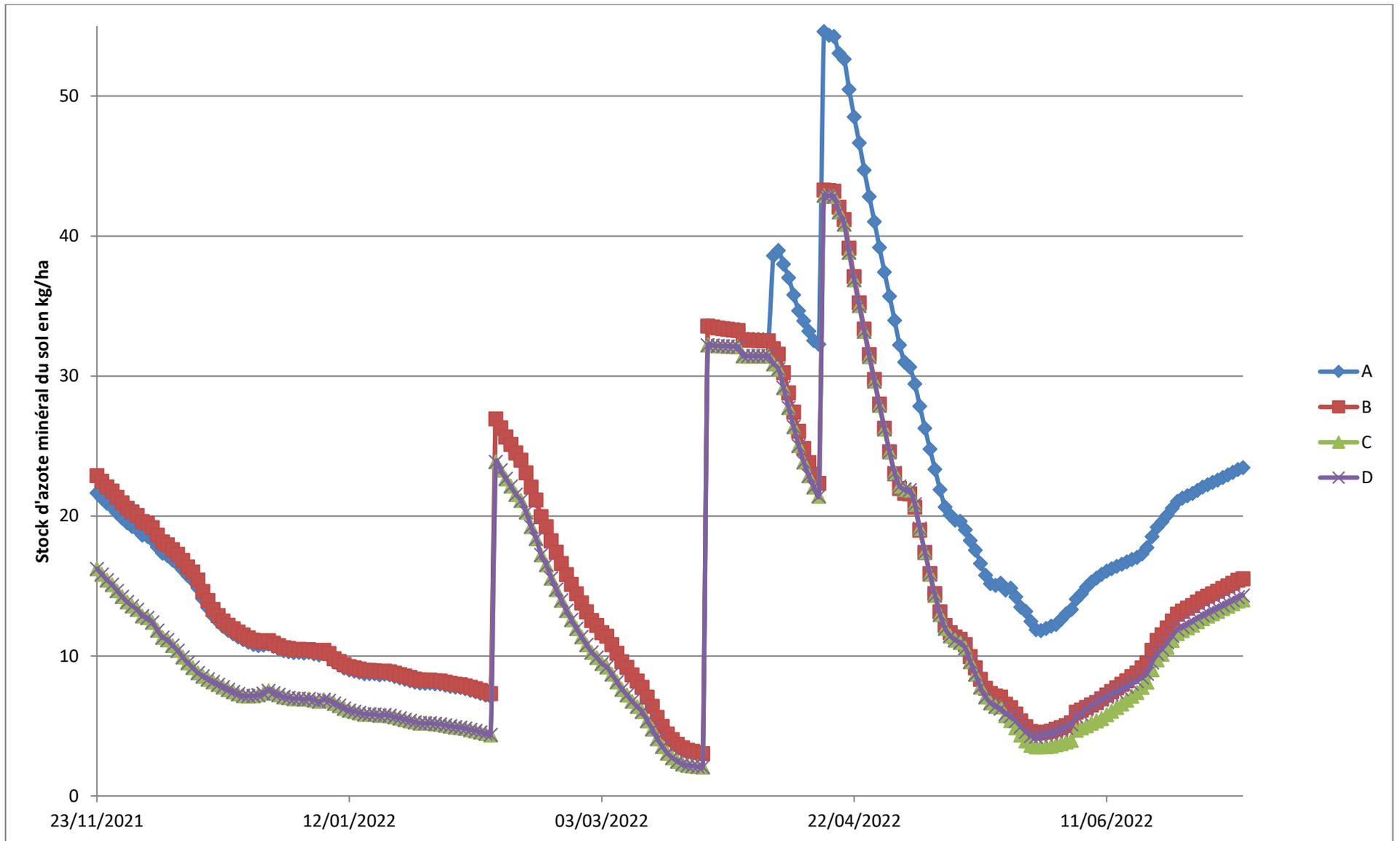


Figure 59 : Evaluation par STICS du stock d'azote minéral du sol sous la culture de blé tendre 2022 pour les quatre zones d'étude A, B,C et D.

6 CONCLUSION : DES AMELIORATIONS POSSIBLES POUR LE RECYCLAGE DES EFFLUENTS SUR PARCELLE AGROFORESTIERE ?

Après un suivi de quatre saisons culturales, avec l'ensemble des mesures et observations présentées précédemment, synthétisons les constats faits sur les itinéraires de recyclage des effluents et les recommandations de valorisation agronomique.

6.1 Intérêt agronomique des effluents

6.1.1 **Le potentiel de recyclage au sein de l'exploitation**

Quoique les deux cas d'effluent ne contiennent aucun des trois fertilisants majeurs au même niveau qu'un produit commercial -les teneurs NPK sont bien inférieures à 2% sur masse brute -

Pour les quatre saisons culturales suivies, les doses à fournir, calculées à partir des éléments du bilan comme besoins en P et K et besoins moins les apports du sol en N, sont de

- 136 kg/ha pour N,
- 50 kg/ha pour P₂O₅,
- 60 kg/ha pour K₂O.

Etant donné le gisement d'effluents - évalué au chapitre 4.1. - **des apports sur 4 ha de la parcelle de 6 t/ha de fumier et de 36 m³/ha de lisier** permettraient de **couvrir théoriquement 100% des besoins en P et K et 62% des besoins en N.**

Le gisement d'effluents de l'exploitation participe à la fertilisation de 4 ha sur 86ha de SAU cultivés soit 5%.

L'exploitation reste donc dépendante d'un approvisionnement extérieur important.

6.1.2 **Expression de la valeur fertilisante azotée des effluents**

Le suivi du développement végétatif et des bilans de fertilisation au cours des quatre saisons culturales a mis en évidence que l'effet potentiellement fertilisant des effluents organiques était souvent peu marqué, du fait de sa sensibilité aux conditions hydriques dans ce type de sol argilo-calcaire.

L'apport d'azote potentiellement disponible du fumier a été estimé, par recoupement des résultats de test et des simulations sur une année culturale, à **17% de l'apport total** mais les pertes par volatilisation, si l'enfouissement tarde trop, peuvent diviser cette efficacité par deux.

L'apport d'azote potentiellement disponible du lisier, estimé avec trois années de suivi, est évalué à **88% de l'apport total**. Les pertes par volatilisation peuvent atteindre 19%.

6.1.3 **Evaluation des risques de lessivage de l'azote dans les pratiques de fertilisation.**

Les simulations conduites à l'aide de STICS ont proposé une évaluation des pertes azotées par lessivage (en kg/ha) pour chaque saison culturale (en kg/ha) :

	Zone A	Zone B	Zone C	Zone D
2019	7	6	6	6
2020	6	4	3	3
2021	7	5	6	6
2022	2	2	1	1

Ces résultats traduisent un risque de lessivage assez faible en général et sans véritable impact de l'apport des effluents organiques.

Les risques de perte par volatilisation sont du même niveau d'intensité.

6.2 La gestion de la matière organique du sol de la parcelle.

Au cours des quatre ans de suivi nous nous sommes intéressés aux deux effets concurrents de la gestion des effluents sur la matière organique du sol : **l'amélioration de la fertilité organique du sol** et **la séquestration du carbone**.

6.2.1 **Fertilité organique du sol.**

La situation de la fertilité organique du sol a été évaluée particulièrement en pratiquant des cinétiques de minéralisation de l'azote sur des échantillons de terre des différentes zones d'étude de la parcelle – cf. pages 29 à 31.

Nous avons constaté des résultats assez variables en fonction des itinéraires de fertilisation et en fonction des saisons culturales : une analyse de variance croisant les effets « zone » et « année » montre qu'il y a plus de différence entre années qu'entre zone.

En fonction de l'itinéraire technique et de la saison climatique, nous avons observé pour la parcelle des **valeurs de minéralisation allant de 15 à plus de 100 kg N/ha**.

L'interprétation des analyses de biomasse microbienne n'a pas apporté d'indication significative sur l'évolution de la fertilité de la parcelle, en dehors du constat que les indices de biomasse sont majoritairement plus élevés dans les zones d'agroforesterie que dans la zone d'open fields.

6.2.2 **Stockage du carbone dans les sols**

Les analyses de fractionnement de la matière organique du sol ont confirmé la part importante de carbone stable dans le sol de la parcelle, dont la nature argilo-calcaire est assez favorable à une forme de fossilisation de la matière organique.

Le stock de carbone a été évalué à une moyenne de 300 t pour l'ensemble de la parcelle, soit une densité de 36 t/ha.

6.3 L'effet de la présence agroforestière ?

6.3.1 **Un effet agro-forestier ?**

Les résultats de suivi sur les quatre saisons culturales, ainsi que les examens plus spécifiques des effets de bordures de 2020 et 2021 – cf chapitres 4.4.3 et 4.5.3 – montrent **qu'il n'y a pas d'effet agronomique négatif de la part des taillis intra-parcellaires mais au contraire plutôt un effet positif** – effet protecteur contre le rayonnement solaire excessif, amélioration de la circulation hydrique... – sur les cultures avoisinantes.

Il faut rester prudent sur l'importance donnée à cet effet car il peut y avoir une confusion avec d'autres facteurs d'influence, en particulier le facteur topographique qui est assez apparent sur cette parcelle.

Cependant, si l'on compare les résultats obtenus sur les zones agroforestière A et B, qui s'étendent sur l'ensemble du transect topographique de la parcelle, aux résultats de la zone agroforestière C ainsi qu'aux résultats de la zone D en open fields qui s'étend également sur l'ensemble du transect topographique, les différences de densité de biomasse végétale et de rendement semblent liées à l'implantation des haies.

6.3.2 **Pour une extension de l'implantation agro-forestière**

Par différents témoignages - journées porte-ouverte INNOV'ACTION en 2019 et 2022, [vidéo de présentation](#) – la ferme Manicot a exprimé sa satisfaction des résultats de production en bois énergie des haies intra-parcellaires installées sur la parcelle « La Terrière-Champ ».

Les exploitants ont déclaré leur intention de **poursuivre leur programme d'implantation de haies intra-parcellaire jusqu'à 40 ha** de leur SAU, pour atteindre l'autonomie énergétique en chauffage.

6.4 Recommandations d'épandage en parcelle agro-forestière.

Les effluents de l'exploitation sont usuellement utilisés sur les parcelles de la SAU implantée en Triticale.

Néanmoins les quatre années de démonstration du projet Nutri2Cycle ont démontré que la valorisation des effluents sur d'autres cultures de l'exploitation étaient envisageables.

Une valorisation sur Tournesol, voire sur Chanvre oléique pourrait être également envisagée.

Pour une valorisation sur parcelle agro-forestière, si nous nous basons sur les observations faites au cours des quatre saisons culturales couvertes par le projet, nous pouvons faire les propositions suivantes.

1. Les effluents peuvent être valorisés sur la même parcelle **aux doses de 35 m3/ha de lisier et de 6 tonnes/ha de fumier**. Il pourrait être intéressant d'étudier la faisabilité du **mélange par épandage du lisier sur le fumier** avant apport au sol.
2. Dans le cas de la parcelle suivie pendant le projet, les apports pourraient être **alternés une année sur deux entre la zone d'open fields et la zone agro-forestière**, avec le bénéfice
 - a. du maintien des stocks phospho-potassiques ;
 - b. des effets d'amélioration sur la structure du sol, conditionnée par la forte teneur en argile.
3. Avant culture de printemps, sous réserve de l'accessibilité des parcelles les plus argileuses, les effluents pourraient être épandus **avant couvert végétal en automne**.
4. **Sur sol argileux**, les **épandages** doivent être assez **précoces** – dans le respect du programme d'actions en zones vulnérables – et avec un **enfouissement rapide** par travail superficiel du sol. Sur des **sols plus limoneux**, les **épandages** doivent être **plus tardifs** – au cours de la saison de plein développement végétatif sur mars-avril.

7 BIBLIOGRAPHIE

BERNARD JPh., 2000. *Eléments traces et fertilisation*. Ed. APCA, collection « Etudes et activités » n°114, septembre 2000.

BERNARD JPh, 2008. *Analyse de groupe (Antidote) : bilan 2006*. Etude de la Chambre d'agriculture de Charente-Maritime. Financement CasDAR.

BERNARD JPh. et GUILLOTIN ML., 2013. *Minéralisation de la matière organique : approche du comportement du sol*. Communication (poster) pour les 11èmes rencontres COMIFER - GEMAS de la fertilization raisonnée, Novembre 2013, Poitiers.

BERNARD JPh., 2014. *Typologie pédologique des sols de Charente-Maritime : proposition de profils de référence*. [Etude Chambre d'agriculture de la Charente-Maritime, CasDAR. Octobre 2014.](#)

BERNARD JPh. et GUILLOTIN ML., 2015. *Minéralisation de la matière organique : activités biologiques et fourniture en azote des sols en Saintonge*. [Communication \(poster\) pour les 12èmes rencontres COMIFER-GEMAS de la fertilisation raisonnée et de l'analyse, 18-19/11/2015, Lyon.](#)

BERNARD JPh. et LOMBARD C., 2019. *CULTIPREC : Suivi cultural de précision – Campagne 2018*. [Etude Chambre d'agriculture de Charente-Maritime , CasDAR et Conseil régional de Nouvelle-Aquitaine, juin 2019.](#)

BONNEAU M. et SOUCHIER B., 1979. *Pédologie : 2. Constituants et propriétés du sol*. Ed. Masson, 459 p.

DE PIERREPONT A. et BERNARD JPh, 2016. *Indices de télédétection et agronomie : application de la télédétection pour la réalisation de diagnostics agronomiques sur peuplement végétal*. [Etude de la Chambre d'agriculture de Charente-Maritime, CasDAR et Conseil départemental de la Charente-Maritime, décembre 2016.](#)

IDELE (2008). *L'évaluation du PMPOA : les éleveurs à la reconquête de la qualité de l'eau*. IDELE, Ministère chargé de l'Agriculture et Ministère chargé de l'Environnement. Septembre 2008.

Légifrance, 1998. *Arrêté modifié du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret no 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées*. NOR : ATEE9760538A. JORF n° 26 du 31/01/1998, 79 p.

Légifrance, 2020. *Arrêté du 01/04/20 fixant la composition des dossiers de demandes relatives à des autorisations de mise sur le marché et permis de matières fertilisantes, d'adjuvants pour matières fertilisantes et de supports de culture et les critères à prendre en compte dans la préparation des éléments requis pour l'évaluation*. NOR : AGRG2008998A. JORF n° 85 du 07/04/20, 41p.

MAROIS A (2019). *Feuille de route "économie circulaire" mesure 24 : rapport d'Alain Marois*. Avril 2019.

MTES, (2018). *50 mesures pour une économie 100% circulaire*. MTES / DICOM-DGPR. Avril 2018.



Nutri2Cycle

Nurturing the Circular Economy



Ce projet a bénéficié d'un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon H2020 de l'Union Européenne au titre de la convention de subvention n° 773682

<https://www.nutri2cycle.eu>

Financé
par



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



**AGRICULTURES
& TERRITOIRES**
CHAMBRE D'AGRICULTURE
CHARENTE-MARITIME

Contact :
Jean-Philippe BERNARD
Chambre d'agriculture de la Charente-Maritime
2 avenue de Fétilly - CS 85074 - 17074 LA ROCHELLE Cx 9
05 46 50 45 00
www.charente-maritime.chambagri.chambre-agriculture.fr