

GESTION DES SOLS : ENGRAIS VERTS**Synthèse 2016-2022**

RESUME : L'implantation d'un couvert végétal en association avec la vigne s'inscrit dans la constitution d'un système de culture multi-espèces et est, à ce titre, une pratique agroécologique susceptible de rendre de nombreux services écosystémiques. L'objectif de l'étude présentée ici est d'entretenir le sol de façon durable sur le plan environnemental et économique, tout en restaurant la fertilité des sols par l'utilisation des engrais verts sur l'inter-rang.

Ces années d'expérimentation permettent de tirer de nombreux enseignements ou de confirmer certains points concernant l'utilisation des engrais verts. Elles mettent en évidence la variabilité de la biomasse fournie d'une année sur l'autre, ce paramètre variant en fonction des dates de semis, de destruction et des conditions météorologiques : au mieux 3 t/ha de MS avec un semis un inter-rang sur deux mais avec une moyenne autour de 400 kg/ha de MS. Le semis ne doit pas être trop tardif (pas plus tard que mi-octobre/fin octobre) pour bien s'implanter. La date de destruction ne doit pas être ni trop précoce ni trop tardive (quelques semaines avant la floraison semblent un bon compromis) pour un objectif apport d'azote. Les conditions météorologiques (essentiellement les pluies) sont importantes au printemps de façon que le couvert puisse se développer et qu'après destruction, la minéralisation se fasse correctement. Les quantités de carbone fournies par le couvert sont essentiellement dépendantes de la biomasse, les teneurs en carbone étant assez stables entre millésimes, espèces et types de sol. Concernant l'azote, la teneur peut varier, en particulier en fonction des espèces : augmentation de la teneur avec la proportion de légumineuses. Ces quantités restent toutefois modestes dans tous les essais : en général une dizaine de kg/ha pour l'azote et une centaine pour le carbone. Même si l'azote minéral retrouvé dans le sol ne concorde pas forcément avec les estimations réalisées à partir de l'analyse des couverts, l'ordre de grandeur est tout de même respecté (5-7 kg/ha sur les essais de Liergues et 9-12 à Odenas). Les effets sur la vigne sont par conséquent faibles. Il faut donc voir l'utilisation de cette technique des engrais verts sur le long terme. D'autres paramètres ont commencé à être suivis (structure du sol, biologie du sol par exemple) et d'autres mériteraient de l'être (stockage carbone par exemple) sur une longue durée. Le coût économique, relativement modique, devrait être mis en confrontation avec tous les avantages que peut procurer cette technique mais qui restent à chiffrer.

MOTS CLES : agroécologie, azote, engrais vert, environnement, fertilité, entretien du sol.

1 – IDENTIFICATION DE L'ACTION**1.1 – Responsables techniques de l'action :**

Jean-Yves CAHUREL, IFV ; Thierry DECOUCHANT, SICAREX Beaujolais

1.2 – Situation de l'action : AOC Beaujolais, Beaujolais-Villages et Cru du Beaujolais**1.3 – Etat de l'action :** synthèse sur 7 ans 2016-2022**2 – DESCRIPTION DE L'ACTION****2.1 – Motivations et objectifs**

L'implantation d'un couvert végétal en association avec la vigne s'inscrit dans la constitution d'un système de culture multi-espèces, et est, à ce titre, une pratique agroécologique susceptible de rendre de nombreux services écosystémiques, avec en particulier une protection et amélioration des propriétés physiques et chimiques des sols, des effets positifs sur la vie des sols et sur la diversification des paysages et des systèmes de culture.

Les expérimentations menées conjointement par la Chambre d'Agriculture du Rhône et la Sicarex Beaujolais, ces dernières années, ont montré l'intérêt de l'enherbement au niveau environnemental et sa faisabilité technique mais également la difficulté de le gérer sur toute la surface. La concurrence vis-à-vis de la vigne est alors trop forte : baisse importante de la vigueur, du rendement, problème de fermentescibilité des moûts.

Elles ont également montré, par ailleurs, le besoin d'une meilleure connaissance technique concernant les engrais verts. Les dates de semis trop tardives (octobre) ne permettent pas un bon développement des plantes semées. Ce qui rend l'utilisation des engrais verts non efficace pour l'année suivante.

L'objectif de l'étude présentée ici est d'entretenir le sol de façon durable sur le plan environnemental et économique. L'enherbement est une technique dont les bienfaits sur le sol et l'environnement ont été démontrés (lutte contre l'érosion, réduction de l'utilisation des herbicides, biodiversité...). Cependant l'enherbement pose le problème de la concurrence avec la vigne. Une façon de résoudre ce problème serait d'alterner enherbement et engrais vert sur les inter-rangs. L'engrais vert d'un inter-rang permettrait de compenser la perte d'azote disponible pour la vigne, due à l'enherbement de l'autre inter-rang.

De façon plus générale, l'utilisation des engrais verts peut permettre de restaurer la fertilité des sols. En effet la fertilité des sols du Beaujolais a tendance à diminuer, du fait de leur nature (cas des sols sableux) mais aussi d'une certaine négligence de la part des viticulteurs, en lien avec les difficultés économiques. L'emploi des engrais verts est un bon moyen d'y remédier, de façon écologique. Il reste à bien maîtriser cette technique et à vérifier son intérêt en fonction du type de sol.

2.2 – Protocole expérimental

2.2.1 – Caractéristiques des parcelles

Les expérimentations ont été implantées en 2015 et en 2017 sur quatre parcelles aux caractéristiques différentes :

Essais mis en place en 2015 et enherbement sous le rang

Parcelle :	Liergues	St Etienne La Varenne
Sol :	argilo-calcaire (42 % argile)	granitique (77% sable, 6,5% argile)
Année de plantation :	2008	1985 et 1992
Cépage / porte-greffe :	Chardonnay / SO4	Gamay / SO4
Densité de plantation :	2 m x 1 m	2,2 m x 1 m
Taille	Guyot	Cordon

Essais mis en place en 2017

Parcelle :	Odenas	Liergues
Sol :	granitique (75 % sable)	argilo-calcaire (43 % argile)
Année de plantation :	2010	2008
Cépage / porte-greffe :	Gamay / Violla	Chardonnay / SO4
Densité de plantation :	2,05 m x 0,8 m	2 m x 0,85 m
Taille	Cordon	Guyot

2.2.2 – Dispositif expérimental

Cette synthèse ne concerne que les essais engrais verts. L'essai d'enherbement sous le rang n'étant pas terminé, sa synthèse fera l'objet d'un autre compte rendu.

Essais engrais verts mis en place en 2015

Les modalités sont les suivantes sur la parcelle de Liergues (essai conduit de 2015 à 2019) :

. T : témoin désherbé mécaniquement sur l'inter-rang et sous le rang

. EV : désherbage mécanique 1 inter-rang sur 2 et engrais vert (féverole d'hiver *Vicia faba*) 1 inter-rang sur 2, désherbage mécanique sous le rang

Sur la parcelle de St Etienne (essai conduit de 2015 à 2022), le témoin (T) est enherbé sur l'inter-rang (pâturin) et désherbé chimiquement jusqu'en 2018 puis mécaniquement sous le rang. La modalité engrais vert (EV) est enherbée 1 inter-rang sur 2 et différents types d'engrais verts ont été semés 1 inter-rang sur 2 : féverole d'hiver en 2015 et 2016, Chlorofiltre® Biomix (voir ci-dessous) de 2017 à 2020, Green Spirit Proteo (voir ci-dessous) en 2021 et 2022. Le rang a été désherbé chimiquement jusqu'en 2018 puis mécaniquement.

4 répétitions (blocs de Fisher) pour chaque parcelle.

1 rang de garde de part et d'autre du rang contrôlé.

Essais engrais verts mis en place en 2017

Les modalités sont identiques sur les deux parcelles Odenas et Liergues :

- . T : témoin désherbé sous le rang et l'inter-rang
- . A : désherbé mécaniquement 1 inter-rang sur 2 et mélange Chlorofiltre® Mix 1 inter-rang sur 2
- . B : désherbé mécaniquement 1 inter-rang sur 2 et mélange Chlorofiltre® Biomix 1 inter-rang sur 2

Les deux parcelles diffèrent par l'entretien du sol sous le rang : désherbage chimique jusqu'en 2018 puis désherbage mécanique pour la parcelle d'Odenas, et désherbage mécanique pendant toute la période d'expérimentation sur la parcelle de Liergues. Les mélanges ont, entre autres objectifs, d'étudier les espèces les mieux adaptées en fonction du type de sol.

4 répétitions en bandes alternées à Odenas, 2 répétitions en bandes alternées, avec 2 pseudo-répétitions chacune, à Liergues

1 rang de garde de part et d'autre du rang contrôlé.

Composition des mélanges :

- Chlorofiltre® Mix (Jouffray-Drillaud) : avoine rude CADENCE (48 %), vesce commune de printemps NACRE (32 %), trèfle d'Alexandrie TABOR (12 %), phacélie (4 %), radis asiatique DAIKON (4 %)
- Chlorofiltre® Biomix (Jouffray-Drillaud) : avoine rude, seigle multicaule, vesce pourpre, radis asiatique, trèfle incarnat, trèfle d'Alexandrie, phacélie, moutarde brune, vesce velue, lin
- Green Spirit Proteo (Barenbrug) : avoine de printemps, vesce commune, trèfle d'Alexandrie

2.2.3 – Contrôles réalisés

- poids des bois de taille
- contrôles classiques à la vendange
- SECV (surface externe du couvert végétal) : sur les essais 2015, de 2016 à 2018 ; sur les essais 2017, de 2018 à 2022, sauf en 2019 sur Liergues
- production de biomasse par l'engrais vert ; teneurs en C et N des engrais verts en 2018, 2019 et 2020
- suivi des reliquats azotés sur 0-30 cm : sur les essais 2015, de 2016 à 2019 sur Liergues et uniquement 2017 et 2018 sur St Etienne ; sur les essais 2017, en 2019 et 2020
- estimation de la nutrition azotée de la vigne (Dualex) sur les essais de Liergues à partir de 2019
- estimation de la biomasse de la vigne (NDVI) sur les essais de Liergues à partir de 2019
- levée des semis
- sénescence du feuillage sur les essais de Liergues à partir de 2018.

L'analyse de variance au seuil α de 5 % est utilisée pour l'analyse statistique. Si ses conditions d'utilisation ne sont pas respectées, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis est alors utilisé, toujours au seuil α de 5 % (logiciel R version 3.1.2, package agricolae). Les différences significatives sont indiquées par des étoiles ou des lettres rouges dans les figures.

3 – RESULTATS

3.1 – Données météorologiques

Les températures moyennes et les précipitations mensuelles de mars à septembre sont données pour les différents millésimes dans les **figures 1 et 2** pour Liergues et les **figures 3 et 4** pour St Etienne et Odenas (les deux parcelles sont très proches).

2016 fut caractérisé par un printemps très humide et frais, une première partie d'été humide avec des températures proches des normales puis une deuxième partie chaude et sèche. 2017 fut très contrasté en termes de températures, avec de fortes pointes de chaleur suivies de refroidissements importants, mais également au niveau des précipitations, souvent tombées sous forme orageuse. Malgré ces fortes variations, le millésime est caractérisé par un printemps et un été chaud et une année globalement sèche. Après une fin d'hiver froide et arrosée, 2018 a présenté des températures globalement chaudes, une période de précipitations fréquentes et importantes de mi-mai à mi-juin et une période sèche de mi-août à fin septembre. Après un hiver doux et sec, 2019 fut caractérisé par des mois d'avril et surtout mai frais, des périodes caniculaires fin juin et fin juillet, une fin juillet et un début août très arrosés mais une fin de campagne sèche. Après un hiver doux et relativement sec, 2020 s'est singularisé par des températures élevées, excepté en mai-juin, des périodes caniculaires fin juin, fin juillet et début août, et une période mi-juin - mi-septembre sèche. 2021 s'est distingué par des températures fraîches tout au long de l'année et surtout des précipitations importantes, particulièrement en mai, fin juin, juillet et mi-septembre. Après un hiver doux et sec, 2022 fut caractérisé par des températures élevées, excepté en avril, voire très élevées en mai, juin, juillet et août, et de faibles précipitations, excepté en juin.

Les tendances sont les mêmes pour Liergues et Etienne-Odenas excepté pour 2019, moins arrosé que 2018 sur St Etienne-Odenas, en lien avec des précipitations plus faibles en août pour 2019.

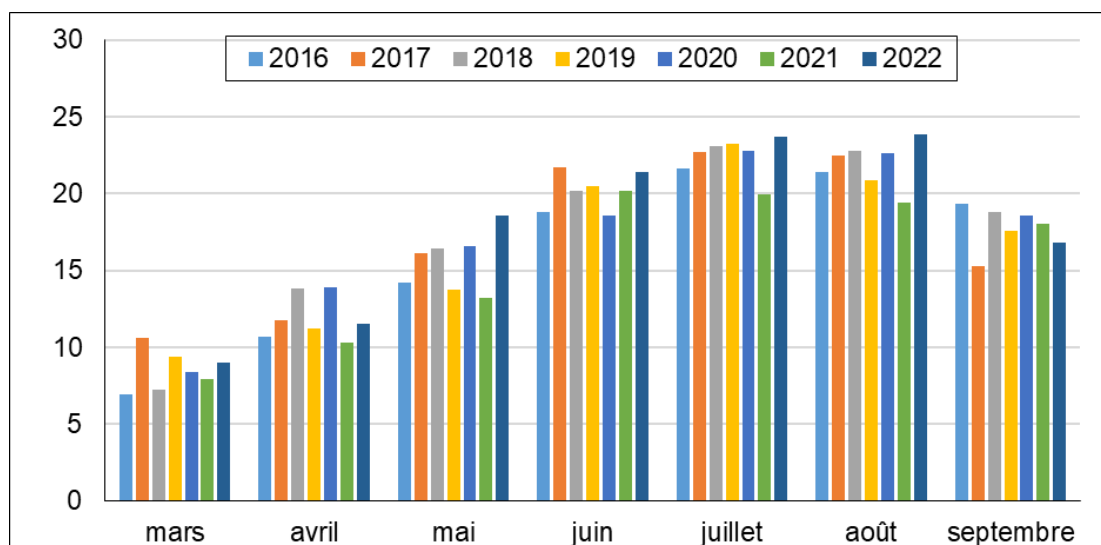


Figure 1 : Températures moyennes mensuelles (°C) de mars à septembre par millésime Liergues - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

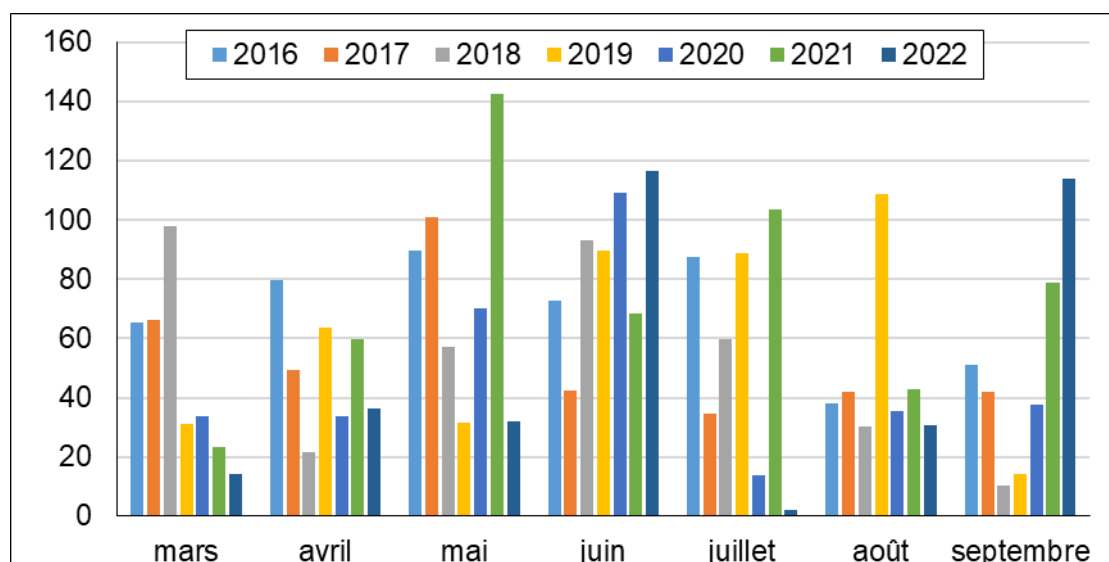


Figure 2 : Précipitations mensuelles (mm) de mars à septembre par millésime Liergues - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

En 2019, les parcelles de Liergues ont été touchées légèrement par le gel (5 %) mais fortement par la grêle à la mi-août (environ 60-70%).

La parcelle de Liergues a été touchée par le gel le matin du 8 avril 2021. Les dégâts ont été relativement importants mais sans différence entre les modalités : 20 % de bourgeons gelés sur le Témoin, 18 % sur la modalité A (Mix) et 19 % sur la modalité B (Biomix). Les dégâts de gel sont très faibles sur les autres parcelles.

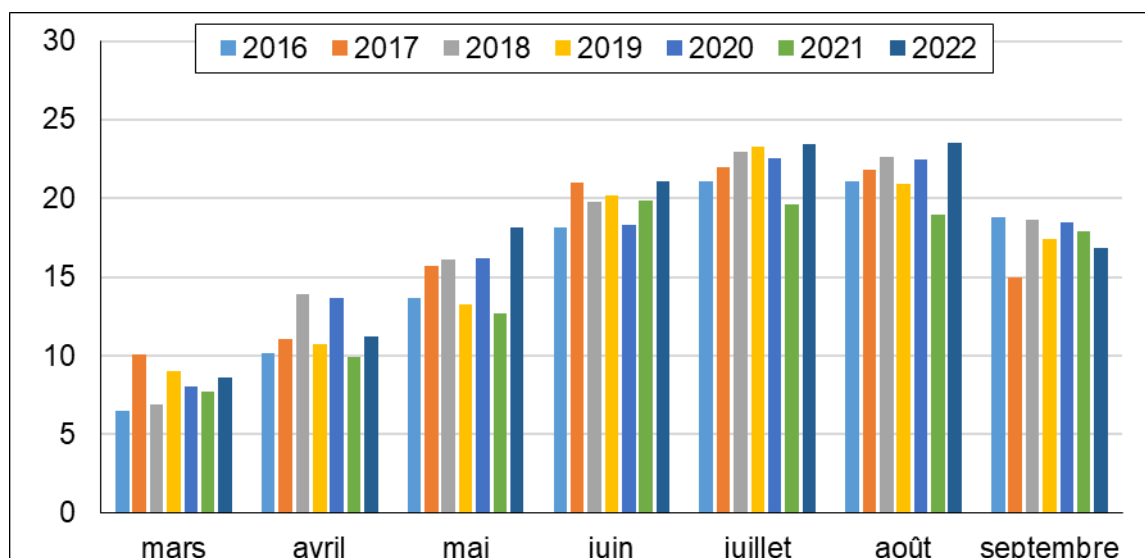


Figure 3 : Températures moyennes mensuelles (°C) de mars à septembre par millésime
St Etienne - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

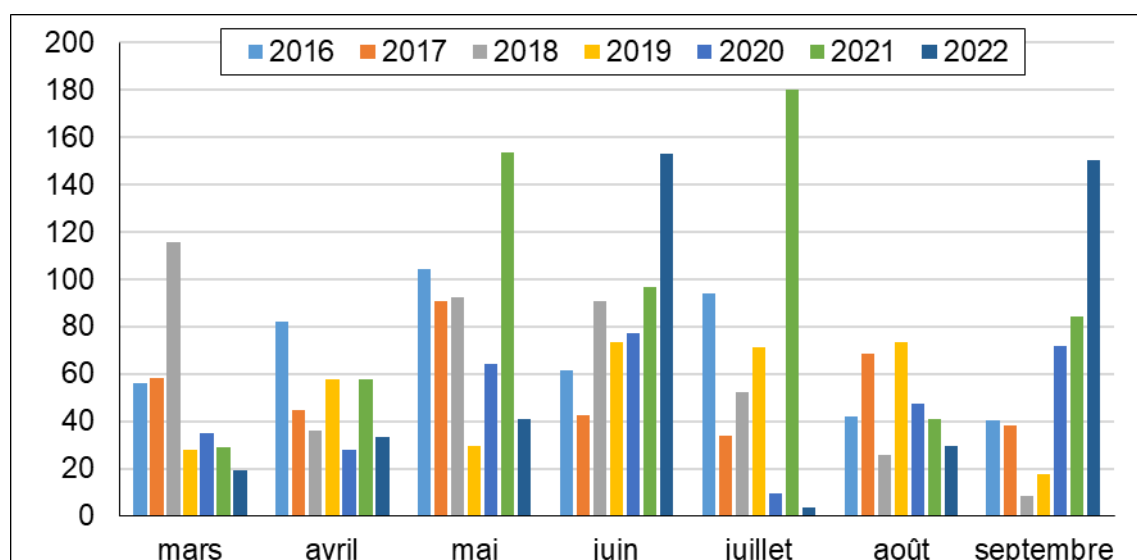


Figure 4 : Précipitations mensuelles (mm) de mars à septembre par millésime
St Etienne - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

3.2 – Semis

Les doses de semis indiquées ici sont des doses en plein, c'est-à-dire comme si le semis avait été réalisé sur un hectare.

Essais engrais verts mis en place en 2015

Les dates de semis et de destruction, les espèces ou mélanges utilisés et le mode de destruction sont précisés dans les **tableaux 1 et 2**, respectivement pour la parcelle de Liergues et pour la parcelle de St Etienne. En 2016, du fait de la tardiveté du millésime et des conditions climatiques, peu propices à la préparation du sol, les semis ont été réalisés tard, voire très tard à St Etienne.

La féverole a été semée à la dose de 180 kg/ha, le Chlorofiltre® Biomix à la dose de 30 kg/ha et le Green Spirit Proteo à la dose de 80 kg/ha.

Sur les deux parcelles, un travail superficiel du sol (griffage) a précédé le semis, réalisé manuellement, qui a été suivi d'un passage manuel de rouleau.

La levée a le plus souvent été homogène et rapide sur Liergues (excepté en 2019). A St Etienne, elle a souvent été perturbée par la levée d'adventices, de façon moindre en 2017.

Tableau 1 : Espèces semées, dates de semis, de destruction et mode de destruction des engrais verts Liergues 2015 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

Millésime	2016	2017	2018	2019
Espèce semée	féverole d'hiver variété DIVA			
Date de semis	28/09/2015	16/11/2016	21/09/2017	05/10/2018
Date de destruction	24/03/2016	16/05/2017	25/05/2018	15/05/2019
Mode de destruction	fauchage et enfouissement			roulage

Tableau 2 : Espèces semées, dates de semis, de destruction et mode de destruction des engrais verts St Etienne - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

Millésime	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Espèce semée	féverole d'hiver variété DIVA			Chlorofiltre® Biomix		Green Spirit Proteo	
Date de semis	28/09/2015	27/02/2017	28/09/2017	05/10/2018	15/10/2019	7/10/2021	14/10/2021
Date de destruction	non dév.	17/05/2017	26/05/2018	non dév.	non dév.	non dév.	non dév.
Mode de destruction	tonte	fauchage et enfouissement		tonte	tonte	tonte	tonte

Essais engrais verts mis en place en 2017

Les dates de semis et de destruction et le mode de destruction sont précisés dans les **tableaux 3 et 4**.

A Liergues, les doses de semis ont été de 60 kg/ha, pour le Chlorofiltre® Mix et 45 kg/ha pour le Chlorofiltre® Biomix en 2017 puis de 50 kg/ha et 40 kg/ha les deux années suivantes. A Odenas, les doses de semis ont été de 40 kg/ha, pour le Chlorofiltre® Mix et 30 kg/ha pour le Chlorofiltre® Biomix. Les doses de semis sont plus importantes à Liergues en raison du sol caillouteux de la parcelle.

Le semis a été réalisé avec un semoir à Liergues, précédé d'un griffage, et avec un semoir derrière rotavator à Odenas. Le mélange Chlorofiltre® Mix est plus délicat à semer avec le semoir sur cette dernière parcelle du fait de la grosse proportion d'avoine aux graines très fines dans ce mélange Le semis est donc plus irrégulier notamment suivant les répétitions. Les levées sont en général plus hétérogènes sur cette parcelle.

Pour la destruction, un rolofaca maison est utilisé à Liergues. En 2020, un deuxième passage a été réalisé un mois et demi plus tard (26 juin), les céréales, notamment le seigle, s'étant relevés.

Tableau 3 : Dates de semis, de destruction et mode de destruction des engrais verts Liergues 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

Millésime	2018	2019	2020	2021	2022
Date de semis	22/09/2017	11/10/2018	14/10/2019	10/10/2020	16/10/2021
Date de destruction	26/05/2018	15/05/2019	05/05/2020	31/05/2021	31/05/2022
Mode de destruction	fauchage et enfouissement	roulage	roulage	roulage	roulage

Tableau 4 : Dates de semis, de destruction et mode de destruction des engrais verts Odenas 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

Millésime	2018	2019	2020	2021	2022
Date de semis	16/10/2017	15/10/2018	15/10/2019	09/10/2020	14/10/2021
Date de destruction	02/06/2018	18/06/2019	18/06/2020	30/06/2021	Avt 20/05/2022
Mode de destruction	disques	disques	disques	disques	disques

3.3 – Biomasse des engrais verts

Les chiffres donnés ici ont été ramenés à la surface réellement semée.

Essais engrais verts mis en place en 2015

Les mesures de biomasse ont été réalisées dans la semaine précédant la destruction du couvert, à raison de 1 m² par répétition, en distinguant la partie aérienne de la partie souterraine, excepté en 2019 où seule la partie aérienne a été mesurée. Les résultats sont donnés dans le **tableau 5**.

A Liergues, le semis trop tardif (novembre) de 2016 impacte fortement le développement du couvert et les résultats 2017, avec une biomasse 3 à 4 fois inférieure à celles mesurées en 2016 et 2018. Cette biomasse est très importante en 2019 (deux fois supérieure à celle de 2016). Ceci peut s'expliquer par la date de destruction, plus tardive de deux mois. En 2018, malgré une date de destruction équivalente à celle de 2019, le niveau de biomasse est légèrement inférieur à celui de 2016 et nettement inférieur à celui de 2019. La pluviométrie du mois d'avril, nettement plus faible que celles de 2016 et 2019 (voir **figure 2**), pourrait l'expliquer. Par contre la biomasse sèche est plus importante que celle de 2016 du fait d'un taux de matière sèche plus élevé : 18 % contre 11 % (**figure 5**). C'est également le cas pour 2019 et l'on peut en déduire que le taux de matière sèche augmente avec la date de destruction du couvert. Ceci n'est vrai que pour les parties aériennes.

Tableau 5 : Biomasse de l'engrais vert
Essais 2015 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

Millésime		Liergues					St Etienne		
		Test	2016	2017	2018	2019	Test	2017	2018
Matière fraîche (t/ha)	Parties aériennes	S	7,64 b	1,74 c	6,14 b	15,97 a	S	0,19	1,08
	Parties souterraines	S	1,01 a	0,18 b	1,04 a	-	S	0,15	0,61
	Total	S	8,65 a	1,92 b	7,17 a	-	S	0,34	1,69
Matière sèche (t/ha)	Parties aériennes	S	0,851 c	0,222 d	1,150 b	2,874 a	S	0,034	0,250
	Parties souterraines	S	0,148 a	0,030 b	0,140 a	-	S	0,017	0,080
	Total	S	0,999 a	0,252 b	1,290 a	-	S	0,051	0,340

Le développement du couvert a été trop faible à St Etienne en 2016, 2019, 2020, 2021 et 2022 pour faire des mesures (levée importante d'adventices et difficulté de croissance : plantes « naines »). En 2017, le semis très tardif (février) n'a pas permis un bon développement du couvert, ce qui était prévisible. En 2018, seule année réellement exploitable, la biomasse produite reste très faible (comparativement à la parcelle de Liergues, notamment). Il s'avère donc que cette parcelle pose problème en termes d'implantation, quelles que soient les espèces semées. Le semis de pâturin des prés initial, semé en 2008, avait pourtant correctement pris et la parcelle n'a pas reçu d'herbicide depuis cette date sur l'inter-rang. On pourrait envisager un semis plus précoce (août), avec la crainte de la sécheresse estivale, ou un faux semis avant le semis d'engrais vert de façon à supprimer la levée d'adventices observée en automne pendant ces années d'expérimentation.

Les parties souterraines représentent une part minime de la biomasse sèche totale à Liergues (11-15 %) mais il n'est pas aisé de récupérer toutes les racines et les valeurs obtenues sont donc certainement sous-estimées. A St Etienne, cette part est beaucoup plus importante (23-33 %) ce qui pourrait s'expliquer par le moindre développement aérien (comparativement). Ces chiffres se rapprochent toutefois de ceux donnés dans la littérature (environ 33 %).

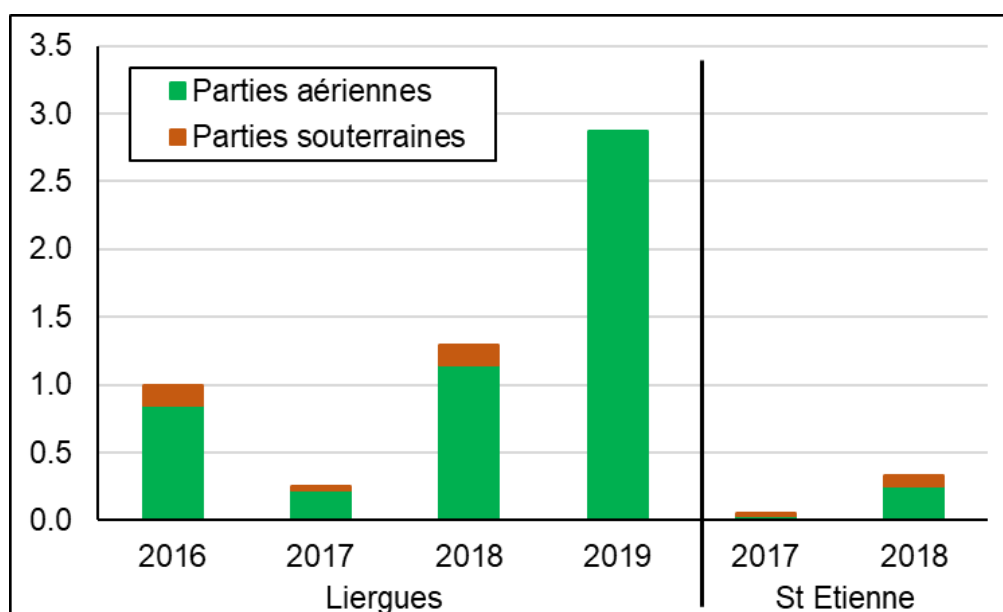


Figure 5 : Biomasse sèche de l'engrais vert (t MS/ha)

Essais 2015 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

Les teneurs en carbone (C) et azote (N) des engrais verts ainsi que leur rapport C/N sont données dans le **tableau 6**. Les teneurs en C des parties aériennes sont très stables à Liergues. Elles sont plus variables et plus faibles à St Etienne (mais seulement deux millésimes). Celles des parties souterraines sont plus faibles que celles des parties aériennes à Liergues (différence significative) et équivalentes à St Etienne. Pour l'azote, les valeurs obtenues sont moins homogènes entre millésimes. Comme pour le C, les parties souterraines sont moins riches, avec des écarts plus importants à Liergues, les différences n'étant pas significatives à St Etienne. Les rapports C/N sont relativement stables (compris entre 12 et 18 sur les parties aériennes). Ils sont supérieurs sur les parties souterraines (non significatif à St Etienne).

**Tableau 6 : Teneurs en C et N de l'engrais vert
Essais 2015 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)**

Millésime		Liergues					St Etienne		
		Stat	2016	2017	2018	2019	Stat	2017	2018
Carbone g/kg MS	<i>Test stat</i>		<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	-	<i>ns</i>	<i>ns</i>	
	Parties aériennes	<i>S</i>	412 b	411 b	410 b	428 a	<i>S</i>	332	399
	Parties souterraines	<i>S</i>	319 b	298 b	377 a	-	<i>ns</i>	380	360
Azote g/kg MS	<i>Test stat</i>		<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	-	<i>ns</i>	<i>ns</i>	
	Parties aériennes	<i>S</i>	34,1 a	34,1 a	22,8 c	27,9 b	<i>S</i>	19,7	27,6
	Parties souterraines	<i>S</i>	17,7 a	13,1 b	19,0 a	-	<i>ns</i>	18,9	23,7
C/N	<i>Test stat</i>		<i>S</i>	<i>S</i>	<i>ns</i>	-	<i>ns</i>	<i>ns</i>	
	Parties aériennes	<i>S</i>	12,1 c	12,0 c	18,0 a	15,4 b	<i>ns</i>	16,8	14,4
	Parties souterraines	<i>ns</i>	18,0	22,8	19,8	-	<i>S</i>	20,1	15,2

La quantité de C fournie par l'engrais vert (**tableau 7**) est essentiellement fonction de la biomasse de ce dernier, la teneur en C variant très peu. Un calcul théorique a été réalisé de façon à évaluer la quantité de C stable fournie par les parties aériennes (**tableau 7**). Elle reste assez faible sauf pour 2019 du fait de la biomasse importante formée.

La quantité de N fournie par l'engrais vert (**tableau 7**) est surtout fonction de la biomasse de ce dernier et, à un moindre niveau car moins variable, de la teneur en N du couvert. Un calcul théorique a été réalisé de façon à évaluer la quantité de N minéral libéré l'année de la destruction du couvert par les parties aériennes (**tableau 7**). Elle reste en général relativement modeste par rapport aux besoins de la vigne sauf en 2019.

Les parties souterraines contribuent très peu à la fourniture de C et de N (cf. biomasse et teneurs en C et N plus faibles) sauf dans le cas de St Etienne, avec un très faible développement du couvert.

**Tableau 7 : Quantités de C et de N et estimation des quantités de C stable et de N minéralisé fournies par
l'engrais vert (kg/ha)
Essais 2015 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)**

Millésime		Liergues				St Etienne	
		2016	2017	2018	2019	2017	2018
Quantité de carbone	Parties aériennes	351	91	472	1231	11	101
	Parties souterraines	47	9	54	-	6	30
	Total	398	100	526	-	17	131
Quantité d'azote	Parties aériennes	29,0	7,6	26,2	80,2	0,7	7,0
	Parties souterraines	2,6	0,4	2,7	-	0,3	2,0
	Total	31,6	8,0	28,9	-	1,0	9,0
C stable estimé*	Parties aériennes	131	34	156	428	4	36
N minéralisé estimé*	Parties aériennes	9,6	2,5	3,0	15,2	0,1	1,6

*Estimations réalisées à partir des données de l'article Justes E., Mary B., Nicolardot B. (2009) Quantifying and modelling C and N mineralization kinetics of catch crop residues in soil: parametrization of the residue decomposition module of STICS model for mature and non mature residues. Plant Soil 325:171-185.

Essais engrais verts mis en place en 2017

Les mesures de biomasse ont été réalisées dans la semaine précédant la destruction du couvert (éventuellement deux semaines sur Odenas), à raison de 1 m² par répétition et en ne prélevant que les parties aériennes. A Odenas, à la suite du problème lors du semis (voir 3.2), les biomasses produites par le mélange A sur les répétitions 3 et 4 en 2018 et 4 en 2019 n'ont pas été évaluées. Il en va de même en 2018 pour la répétition 3 du mélange B où l'engrais vert a été détruit avant la réalisation des mesures. De fait, les traitements statistiques n'ont pas pu être réalisés sur cette parcelle

cette année-là. Les engrais verts ont également été détruits avant la réalisation des mesures en 2022. A Liergues, le mélange B ne s'étant quasiment pas développé en 2022, les mesures n'ont pas été réalisées sur ce mélange.

Les trois dernières années (2020-2022) à Liergues, de nombreuses adventices se sont développées dans les deux couverts : mouron, liseron, géranium disséqué, laitue scariote, ray-grass, torilis, folle avoine, liseron (suivant les années). La part de biomasse liée à ces adventices a augmenté sur les trois années, représentant respectivement 24,1 et 12,9 % de la biomasse pour les couverts A et B en 2021 et 54 % pour le couvert B. A Odenas, la biomasse produite par ces adventices (vulpie queue de rat et épilobe d'automne principalement) a également augmenté sur ces trois dernières années : 43,4 % du total du couvert pour A et 20,3 % pour B en 2020, 59 % du total du couvert pour A et 50 % pour B en 2021.

La répartition en biomasse aérienne des différentes espèces présentes dans les mélanges est donnée dans la **figure 6** pour Liergues et la **figure 7** pour Odenas.

A Liergues, concernant le mélange A, les vesces sont majoritaires en 2018, 2019 et 2021 avec des taux supérieurs à 50 %. L'avoine est dans le même cas en 2020 et présente un taux supérieur à 20 % les autres années. Ce dernier taux est identique pour la phacélie en 2018 mais il diminue ensuite chaque année pour devenir très faible en 2021 (2 %). Le trèfle d'Alexandrie, qui a gelé en 2018 (hiver 2017-2018), est présent en 2019 et de façon très modérée en 2020 et 2021. Le radis asiatique est présent chaque année mais en très petite quantité (< 1%).

Concernant le mélange B, les vesces sont également majoritaires avec des taux supérieurs à 50 % les 5 années (2/3 en 2018 et de 2020 à 2022). Le trèfle incarnat représente 12-14 % avec une meilleure représentation en 2018 (22 %) et une très faible en 2022 (3 %). Le trèfle d'Alexandrie, gelé en 2018, est très peu présent les autres années, excepté en 2019 où il atteint 7 %. Le seigle représente des pourcentages identiques en 2019 et 2020 (8 %) et un pourcentage plus faible les autres années (3-4 %). L'avoine, peu représenté globalement, l'est un peu plus les 3 dernières années (3-5 %). La phacélie est bien présente en 2019 et 2022 mais peu en 2018, 2021 et surtout 2020. Le radis asiatique est présent chaque année mais en très petite quantité (< 1%) comme pour le mélange A. Le lin est plus représenté que le radis (2-3 % en moyenne) avec un maximum en 2022 (6 %). Enfin, comme le radis, la moutarde est présente chaque année, sauf en 2019, mais en très petite quantité (< 1%).

Au global, les légumineuses sont plus présentes dans le mélange B (71 à 89 %) que dans le mélange A (42 à 66 %). C'est le contraire pour les céréales (6-13 % contre 19-50 %). La phacélie est plus présente dans le mélange A sauf en 2021.

A Odenas, concernant le mélange A, la phacélie est majoritaire les 2 premières années, avec des taux supérieurs à 50 %, et diminue les 2 années suivantes. A l'inverse, les vesces prennent de l'importance avec le temps : avec 25-15 % les 2 premières années, elles passent à 38 % puis deviennent majoritaires en 2021 (50 %). Le trèfle d'Alexandrie, gelé en 2018 comme à Liergues, n'est présent qu'en 2019 et 2020 (4 % maximum). L'avoine, peu représenté en 2018 et 2019 (6-8 %), augmente en 2020 (22 %) puis en 2021 (33 %). Le radis asiatique n'est réellement présent qu'en 2018 ; il est absent en 2021 et 2022.

Concernant le mélange B, ce sont les vesces qui sont majoritaires les 4 années avec une augmentation de leur taux de 2018 à 2022 (de 39 à 74 %). Inversement la phacélie voit son taux de présence diminuer avec les années : de 37 % en 2018 à 4-6 % en 2020-2021. Le trèfle incarnat est peu représenté en 2018 et 2019 (4-5 %) mais beaucoup plus présent en 2020 (17 %) et 2021 (14 %). Le trèfle d'Alexandrie, gelé en 2018, est très peu présent en 2019 et quasiment inexistant en 2020 et 2021. Le seigle est de moins en moins présent au cours des années (de 18 % en 2018 à 1-2 % en 2021), contrairement à l'avoine dont la présence reste toutefois très modeste (3 % au maximum en 2021). Le radis asiatique est quasiment inexistant en 2018 et 2019 et non présent en 2020 et 2021, de même que le lin et la moutarde. Au global, les légumineuses sont plus présentes dans le mélange B (44 à 88 %) que dans le mélange A (19 à 50 %) et moins qu'à Liergues. Les céréales sont proportionnellement plus présentes en 2018 et 2019 pour le mélange B (15 et 18 % contre 6 et 8 % pour le mélange A) alors que c'est le contraire les deux années suivantes (9 et 5 % contre 22 et 33 % pour le mélange A). Comme à Liergues, la phacélie est bien plus présente dans le mélange A. Les autres espèces sont très peu représentées.

Mélange A

Mélange B

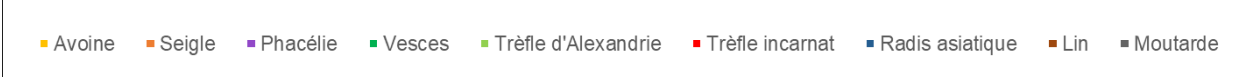
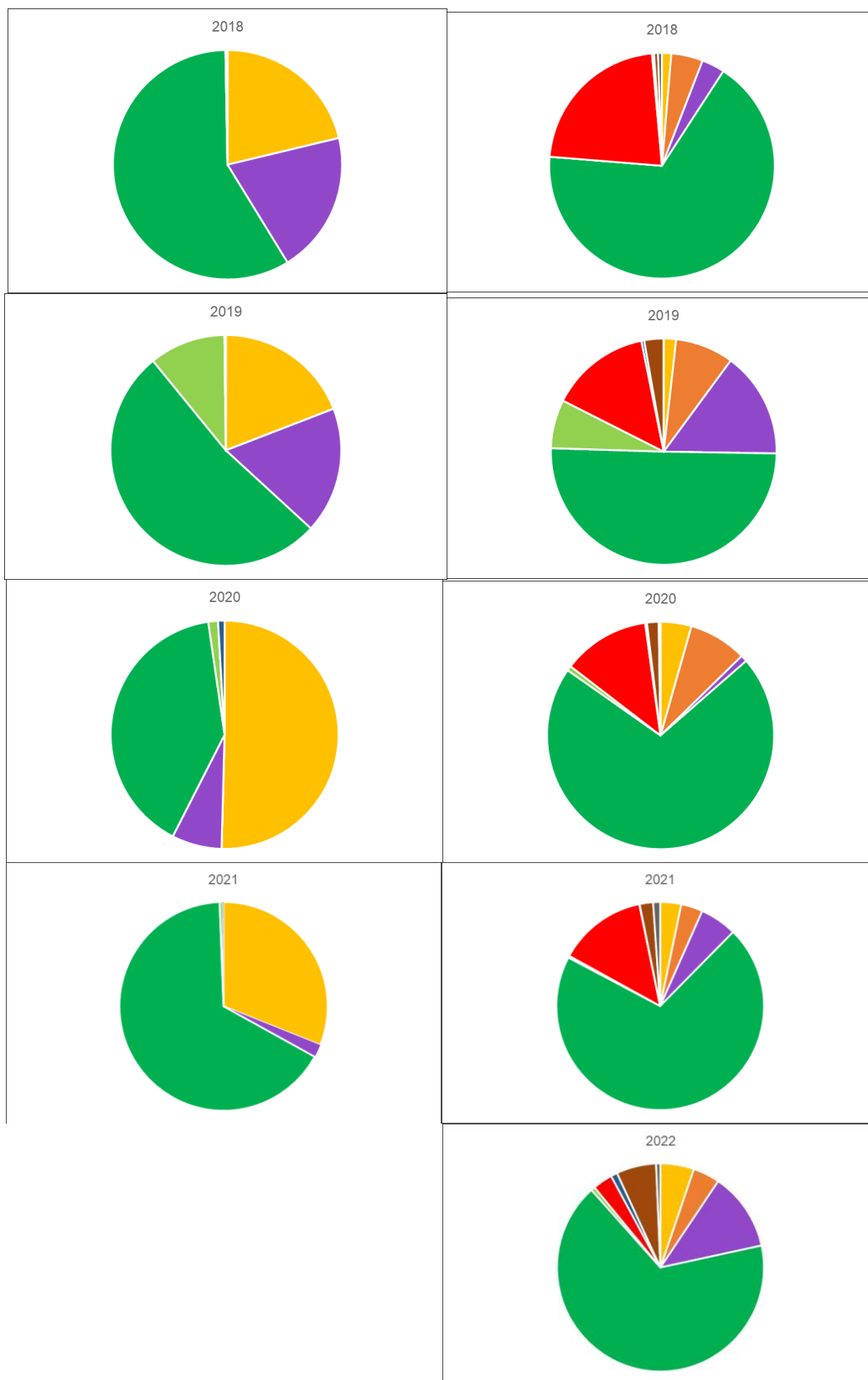


Figure 6 : Répartition (%) de la biomasse en fonction des différentes espèces sur les 5 années Liergues - Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

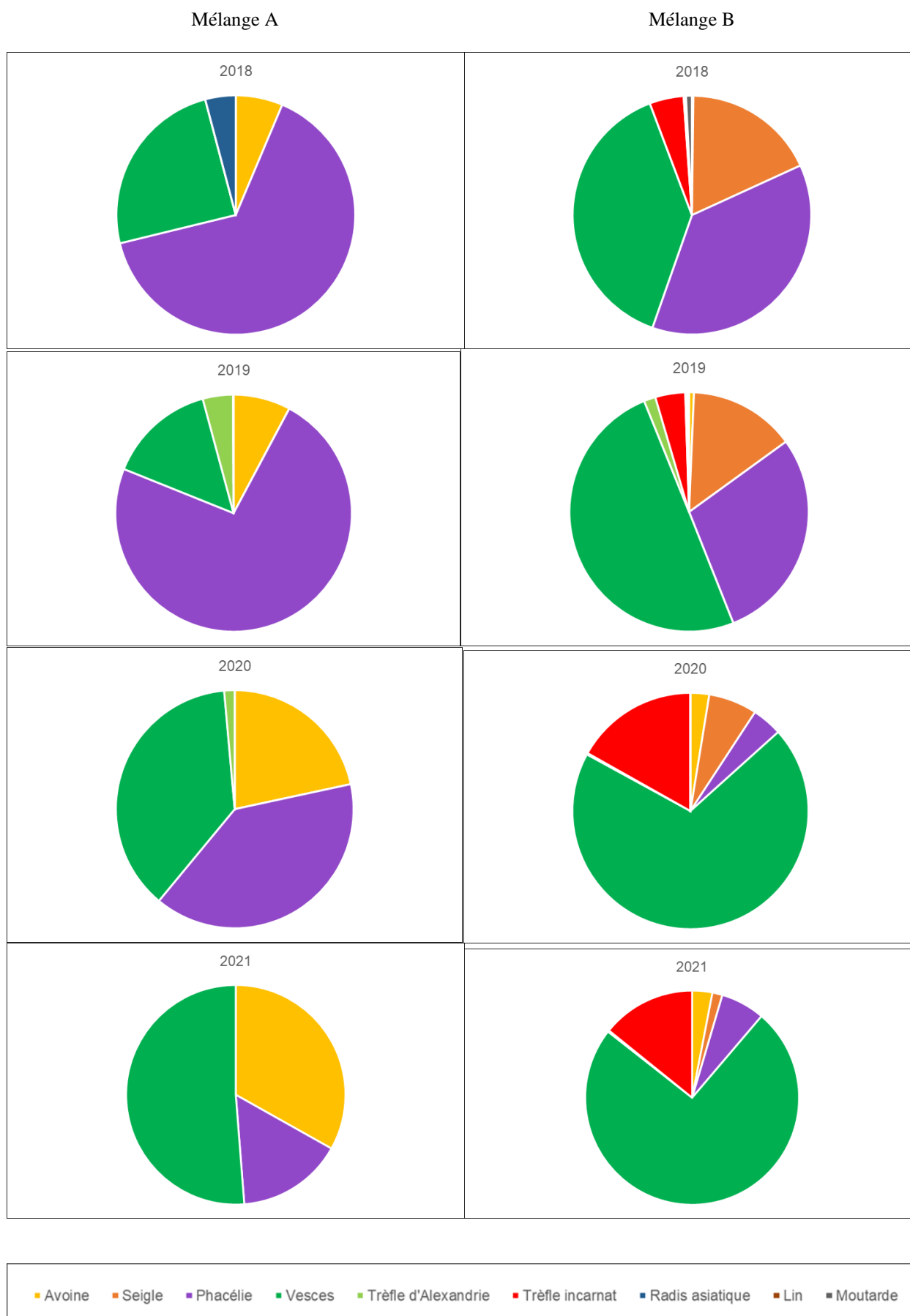


Figure 7 : Répartition (%) de la biomasse en fonction des différentes espèces sur les 4 années Odenas - Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

Sur les deux sites, le mélange A produit moins de biomasse que le mélange B qu'elle soit exprimée en matière fraîche ou en matière sèche (**tableau 8**) mais les écarts sont rarement significatifs. La différence est un peu plus marquée sur Liergues et fluctue suivant les années (**figure 8**). La biomasse formée est plus faible en 2020 (peut-être en lien avec les moindres précipitations de mars-avril, voir **figures 2 et 4**) et plus particulièrement sur Liergues (différences significatives pour les 2 mélanges alors que la différence n'est significative que pour le mélange B sur Odenas) ainsi que sur le mélange A. La biomasse est encore plus faible en 2022, avec, comme en 2020, des conditions très sèches en mars-avril. Les taux de MS sont supérieurs sur Odenas, sauf en 2018, ce qui peut être mis sur le compte de la destruction plus tardive que dans le cas de Liergues (un mois à un mois et demi de décalage en 2019, 2020 et 2021).

Tableau 8 : Biomasse des mélanges d'engrais verts
Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

Millésime			2018			2019			2020			2021		
Mélange			Stat	A	B	Stat	A	B	Stat	A	B	Stat	A	B
Liergues	Matière fraîche	t/ha	ns	1,56	2,77	ns	1,96	2,02	S	0,95	1,66	ns	1,36	2,51
	Matière sèche	t/ha	S	0,421	0,667	ns	0,464	0,533	S	0,213	0,424	ns	0,316	0,554
Odenas	Matière fraîche	t/ha	ns	2,84	3,26	S	1,65	2,13	ns	0,79	1,93	ns	0,84	2,17
	Matière sèche	t/ha	ns	0,718	0,774	ns	0,450	0,606	ns	0,273	0,534	ns	0,220	0,527

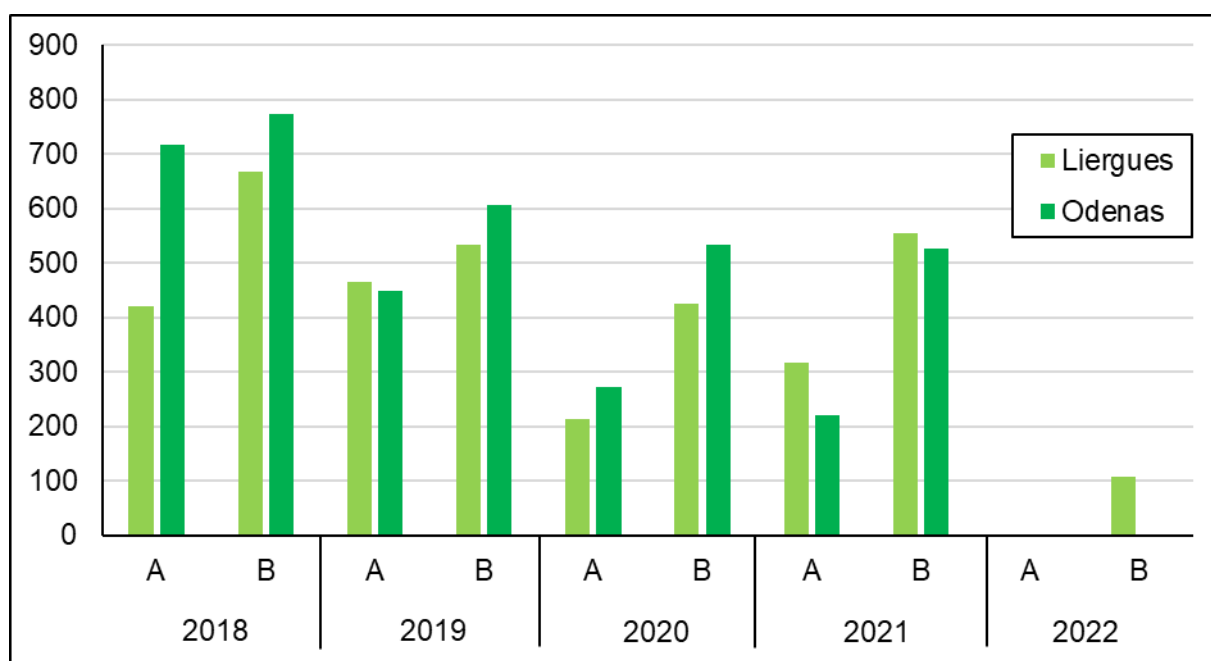


Figure 8 : Biomasse sèche de l'engrais vert (kg MS/ha)
Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

Les teneurs en C (**tableau 9**) sont comparables entre les deux mélanges à Liergues. Elles sont supérieures en 2020 à la fois sur Liergues et sur Odenas (mais non significatif sur cette parcelle pour le mélange A). Sur cette dernière parcelle, elles sont légèrement plus élevées sur le mélange B.

Les teneurs en azote (**tableau 9**) sont en revanche supérieures sur le mélange B sur les deux parcelles et quelle que soit l'année (sauf à Liergues en 2019), même si les différences ne sont pas toujours significatives. Ceci est plutôt logique, la proportion en biomasse de légumineuses étant plus élevée dans ce mélange. La différence est cependant plus marquée à Odenas (+ 41 % en moyenne contre + 12 % sur Liergues). Cette teneur est significativement plus faible en 2018 sur les 2 mélanges à Liergues et significativement plus élevée en 2020 sur le mélange B à Odenas.

Logiquement le rapport C/N (**tableau 9**) est plus élevé pour le mélange A sur les deux sites, avec un écart plus important à Odenas, même si, là encore, les différences ne sont pas toujours significatives. Les variations sont également plus élevées sur cette parcelle (C/N allant de 14 à 28 alors qu'il varie de 16 à 22 sur Liergues). Ce rapport est significativement supérieur en 2018 sur les 2 mélanges à Liergues, et inférieur en 2020 pour le mélange B à Odenas.

Tableau 9 : Teneurs en C et N des mélanges d'engrais verts
Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

		2018			2019			2020		
Millésime										
Mélange		Stat	A	B	Stat	A	B	Stat	A	B
Liergues	Carbone g/kg MS	ns	416	415	ns	410	415	ns	435	437
	Azote g/kg MS	S	18,7	22,1	ns	24,9	25,2	S	22,6	27,0
	C/N	S	22,2	18,8	ns	16,5	16,4	S	19,2	16,2
Odenas	Carbone g/kg MS	-	419	427	ns	399	418	ns	430	446
	Azote g/kg MS	-	15,7	21,6	ns	14,4	19,7	S	21,8	32,5
	C/N	-	26,7	19,8	ns	27,7	21,2	S	19,7	13,7

Les quantités de C et N libérées par la destruction des engrais verts (**tableau 10**) sont supérieures pour le mélange B, du fait de la biomasse supérieure produite (pour C et N) et de la teneur en azote plus élevée de ce mélange (pour N). Pour N, elles représentent en moyenne plus de 50 % de plus que le mélange A sur les deux parcelles (65 % sur Liergues et 92 % sur Odenas). Le gain est plus faible pour C : 51 % sur Liergues et 42 % sur Odenas.

Le calcul théorique permettant d'évaluer la quantité de C stable fournie par les engrais verts donne des valeurs faibles. Celui permettant d'évaluer la quantité de N minéral libéré l'année de la destruction du couvert par les engrais verts donne des valeurs très faibles, voire un peu d'organisation (valeurs négatives), en lien avec les rapports C/N parfois élevés (à Odenas).

Tableau 10 : Quantités de C et de N et estimation des quantités de C stable et de N minéralisé fournies par les mélanges d'engrais verts (kg/ha)
Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

		2018		2019		2020	
Millésime							
Mélange		A	B	A	B	A	B
Liergues	Quantité de C	175	277	190	221	93	186
	Quantité de N	7,9	14,7	11,5	13,4	4,8	11,5
	C stable estimé*	54	91	65	75	30	64
	N minéralisé estimé*	0,2	1,4	1,8	2,1	0,4	1,9
Odenas	Quantité de C	300	331	180	253	117	238
	Quantité de N	11,3	16,7	6,5	12,0	5,9	17,3
	C stable estimé*	88	106	52	80	38	86
	N minéralisé estimé*	-0,4	1,2	-0,3	0,6	0,4	4,4

*Estimations réalisées à partir des données de l'article Justes E., Mary B., Nicolardot B. (2009) Quantifying and modelling C and N mineralization kinetics of catch crop residues in soil: parametrization of the residue decomposition module of STICS model for mature and non mature residues. Plant Soil 325:171-185.

3.4 – Suivi de l'azote minéral dans le sol (0-30 cm)

Essais engrais verts mis en place en 2015

Les suivis n'ont été réalisés que les millésimes où la biomasse d'engrais verts a été mesurée (donc uniquement en 2017 et 2018 à St Etienne) et à partir de la destruction du couvert.

A Liergues (**figure 9**), en 2016, la destruction dès le débourrement a provoqué une libération d'azote minéral tôt en saison (avant la floraison). La modalité Engrais vert ne se différencie plus du Témoin après la mi-floraison. Les autres années la libération se situe plutôt après la floraison (en lien bien évidemment avec la date de destruction). Les écarts avec le Témoin sont liés essentiellement à l'azote ammoniacal, quel que soit le millésime. Ils varient avec l'année mais restent faibles : autour de 7 kg/ha, excepté en 2017 où les modalités ne se différencient pas (ce qui est logique du fait des faibles biomasses produites). Si cette valeur correspond bien à l'estimation réalisée à partir de l'analyse des parties aériennes (voir **tableau 7**), ça n'est pas le cas pour 2018 (valeur plus élevée que l'estimation) et 2019 (valeur plus faible).

La différence entre les deux modalités est plus faible en 2019 mais le mode de destruction a été modifié cette année-là (roulage à la place de l'enfouissement) ce qui peut l'expliquer. La libération de l'azote est également décalée dans le temps avec ce mode de destruction. Les conditions ont également été plus sèches au printemps en 2019, décalant également la minéralisation.

A St Etienne (**figure 10**), comme pour Liergues et du fait des faibles biomasses produites, aucune différence n'est présente en 2017. Les résultats sont moins clairs qu'à Liergues en 2018. Les quantités d'azote minéral total et d'azote nitrique sont supérieures pour l'Engrais vert (de l'ordre de 5 kg/ha pour l'azote minéral total) mais uniquement sur le prélèvement du 15 juin. C'est l'inverse pour l'azote ammoniacal lors du prélèvement du 8 juin.

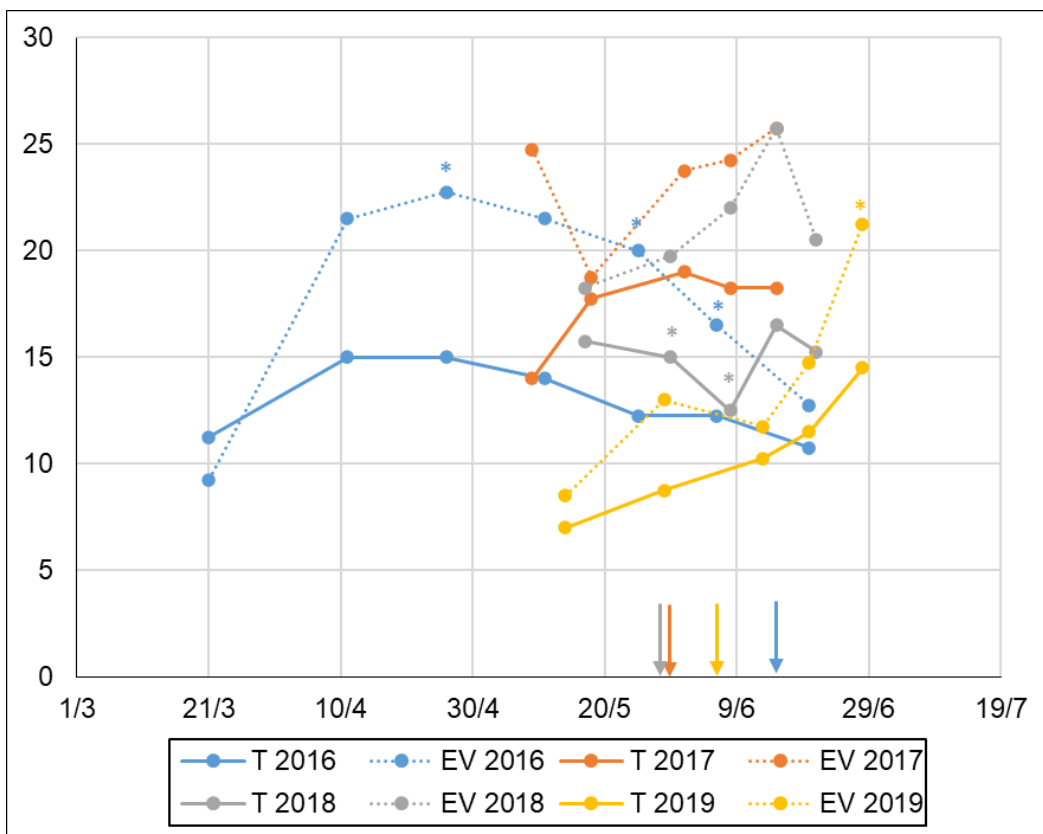


Figure 9 : Evolution de l'azote minéral du sol (kg/ha) sur 0-30 cm - Liergues
Essais 2015 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)
 Les flèches indiquent la date de mi-floraison pour chaque millésime (couleur)

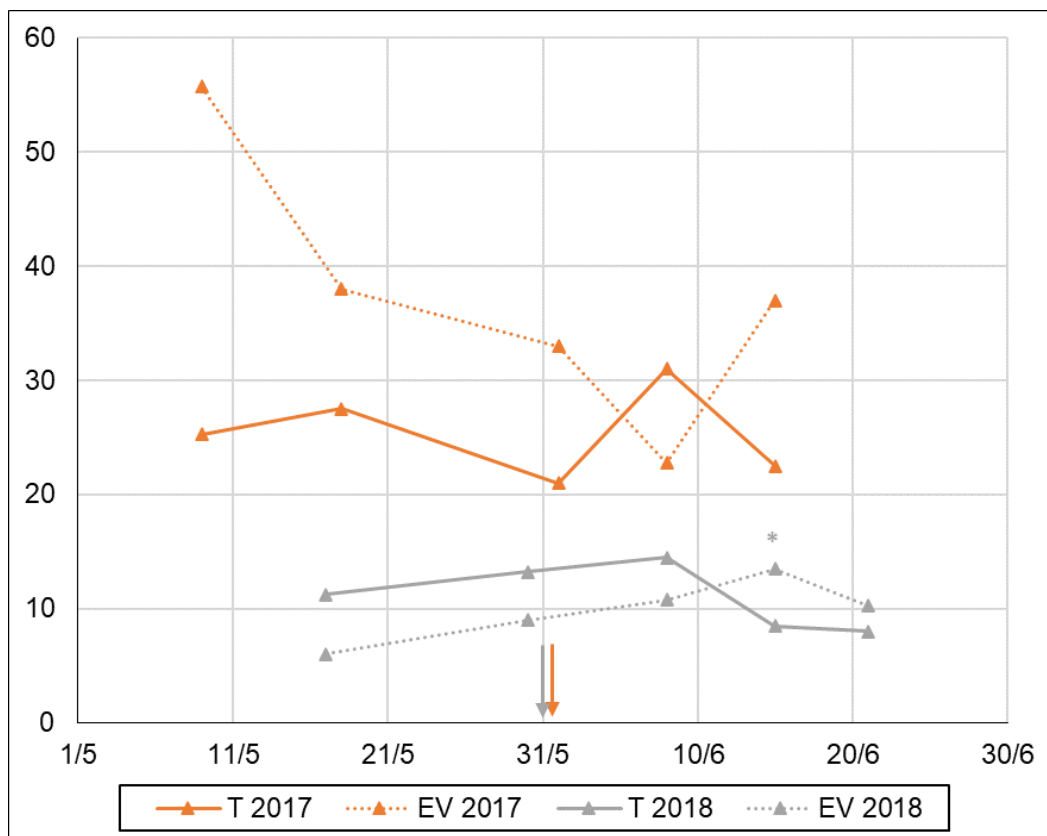


Figure 10 : Evolution de l'azote minéral du sol (kg/ha) sur 0-30 cm – St Etienne
Essais 2015 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)
 Les flèches indiquent la date de mi-floraison pour chaque millésime (couleur)

Essais engrais verts mis en place en 2017

Les suivis ont été réalisés en 2019 et 2020 sur les 2 parcelles et à partir de la destruction du couvert.

A Liergues (**figure 11**), les données sont surprenantes en 2019 puisque la modalité Témoin fournit plus d'azote minéral que les mélanges A et B à toutes les dates de prélèvement et de façon significative, sauf pour la dernière date, l'effet étant surtout marqué sur l'azote nitrique. Le niveau d'humidité du sol pourrait être une explication puisque la modalité Témoin présente un niveau plus élevé que les deux autres modalités sur toutes les dates sauf la dernière.

En 2020, la quantité d'azote minéral est plus importante sur les 2 mélanges avant la destruction des couverts, en lien avec une quantité d'azote ammoniacal supérieure. Ceci peut s'expliquer par l'enrichissement en azote constaté les deux années précédentes. Un pic significatif apparaît pour l'azote ammoniacal 2 semaines après le roulage mais uniquement pour le mélange B par rapport au Témoin. Ce pic est tout de même très réduit (5 kg/ha) mais cohérent avec l'estimation (voir **tableau 10**). Une semaine après, les quantités d'azote minéral et d'azote ammoniacal sont encore supérieures pour les deux modalités engrais verts mais toujours avec un écart très limité par rapport au Témoin (2 kg/ha). Mais la minéralisation des couverts a été ralentie par les conditions pluviométriques sèches qui ont suivi le roulage de ces derniers.

A Odenas (**figure 12**), le mélange B présente des teneurs plus élevées en azote minéral par rapport au Témoin les 2 années, en lien essentiellement avec les teneurs en azote nitrique. L'écart maximum par rapport au Témoin se situe entre 9 et 12 kg/ha, ce qui paraît élevé en regard des estimations réalisées pour les 2 années (voir **tableau 9**), surtout pour 2019.

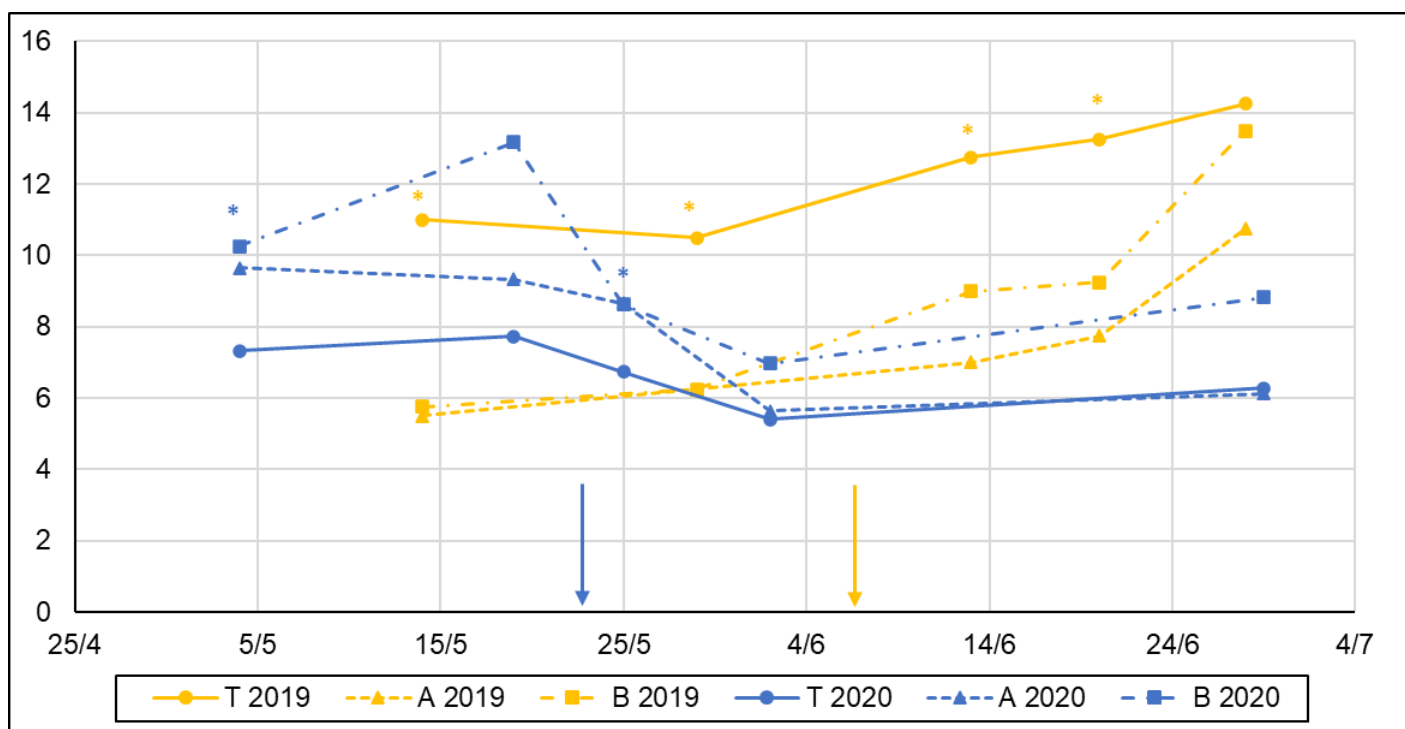


Figure 11 : Evolution de l'azote minéral du sol (kg/ha) sur 0-30 cm - Liergues
Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)
 Les flèches indiquent la date de mi-floraison pour chaque millésime (couleur)

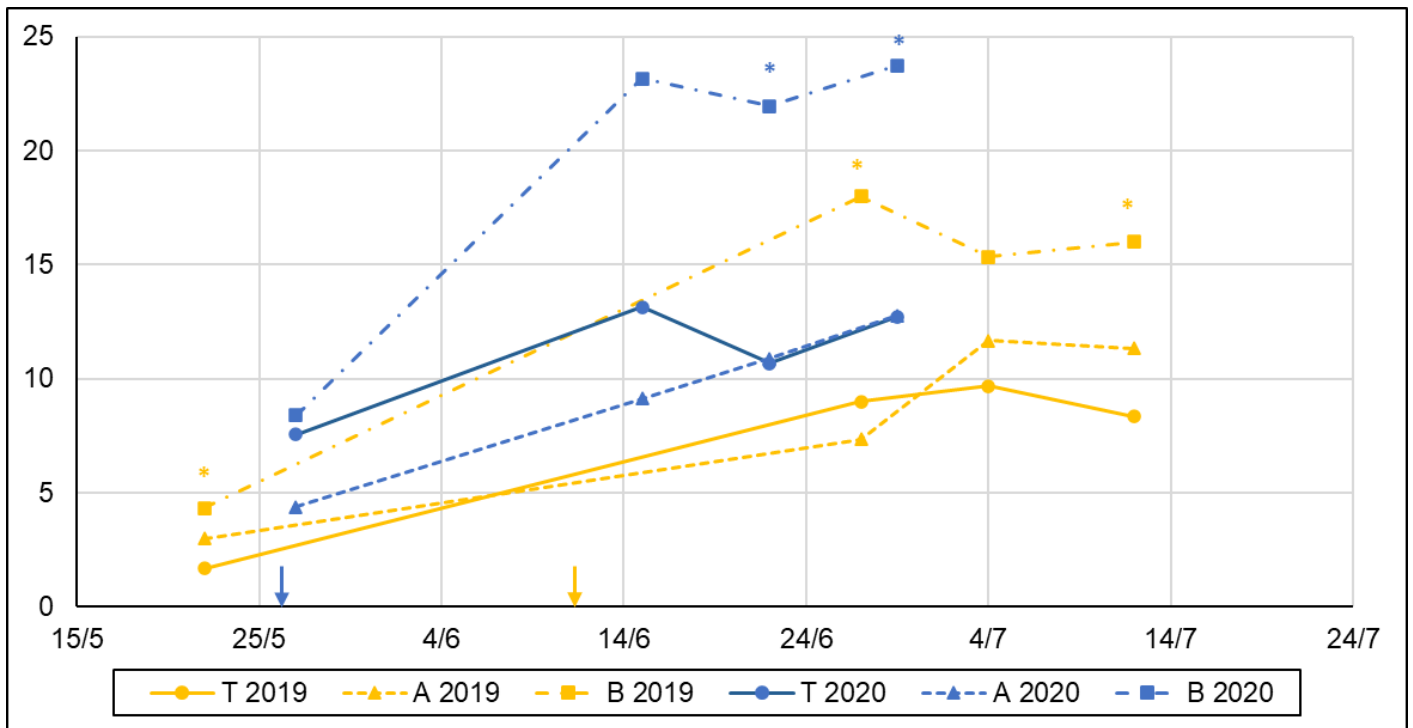


Figure 12 : Evolution de l'azote minéral du sol (kg/ha) sur 0-30 cm - Odenas
 Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)
 Les flèches indiquent la date de mi-floraison pour chaque millésime (couleur)

3.5 – Estimation de la nutrition azotée de la vigne

Des mesures de Dualex ont été réalisées en 2019 sur l'essai engrais vert de Liergues mis en place en 2015 mais sans différence significative entre les modalités sur les deux dates (fermeture de la grappe et mi-véraison).

Sur l'essai engrais verts de Liergues mis en place en 2017 (**figure 13**), même si les différences ne sont pas toujours significatives, le NBI (Nitrogen Balance Index), indicateur de nutrition azotée, tend à être supérieur sur les mélanges d'engrais verts, plus particulièrement pour le mélange B, à la fermeture de la grappe et la mi-véraison.

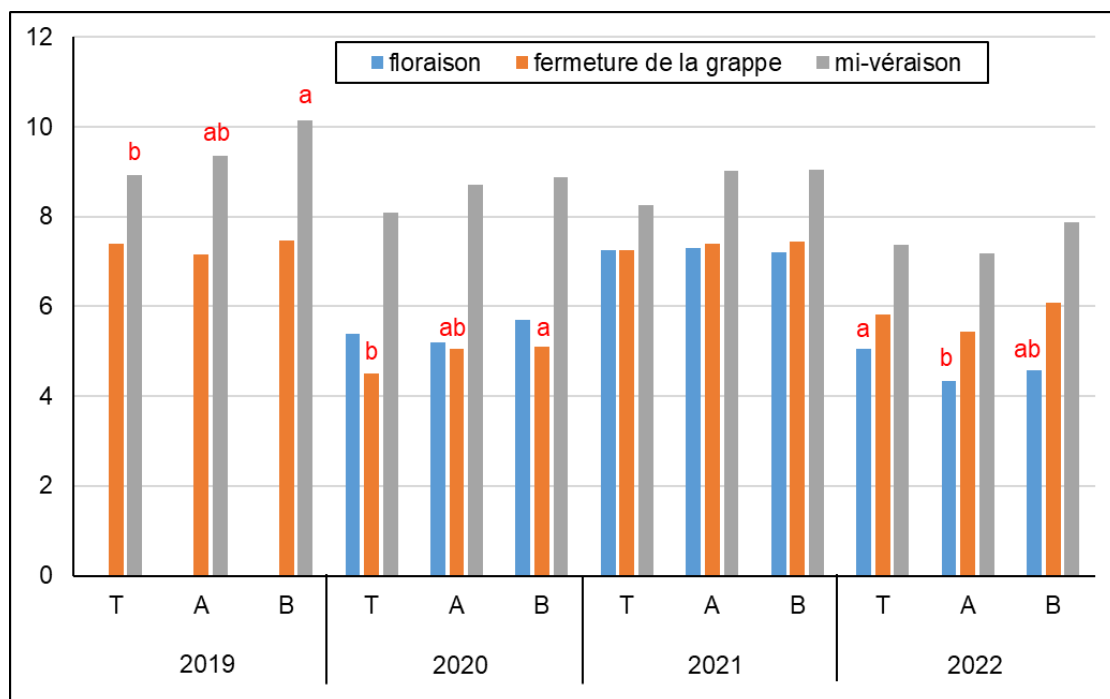


Figure 13 : NBI (Nitrogen Balance Index) – Liergues
 Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

3.6 – Estimation de la biomasse de la vigne

Des mesures de NDVI (GreenSeeker) ont été réalisées en 2019 sur l’essai engrais vert de Liergues mis en place en 2015 mais sans différence significative entre les modalités sur les deux dates (fermeture de la grappe et mi-véraison).

Sur l’essai engrais verts de Liergues mis en place en 2017 (**figure 14**), des différences significatives ne sont constatées qu’en 2020, le mélange A donnant des valeurs plus élevées que le Témoin à fermeture de la grappe et mi-véraison. L’écart significatif constaté en 2021 différencie uniquement les mélanges A et B.

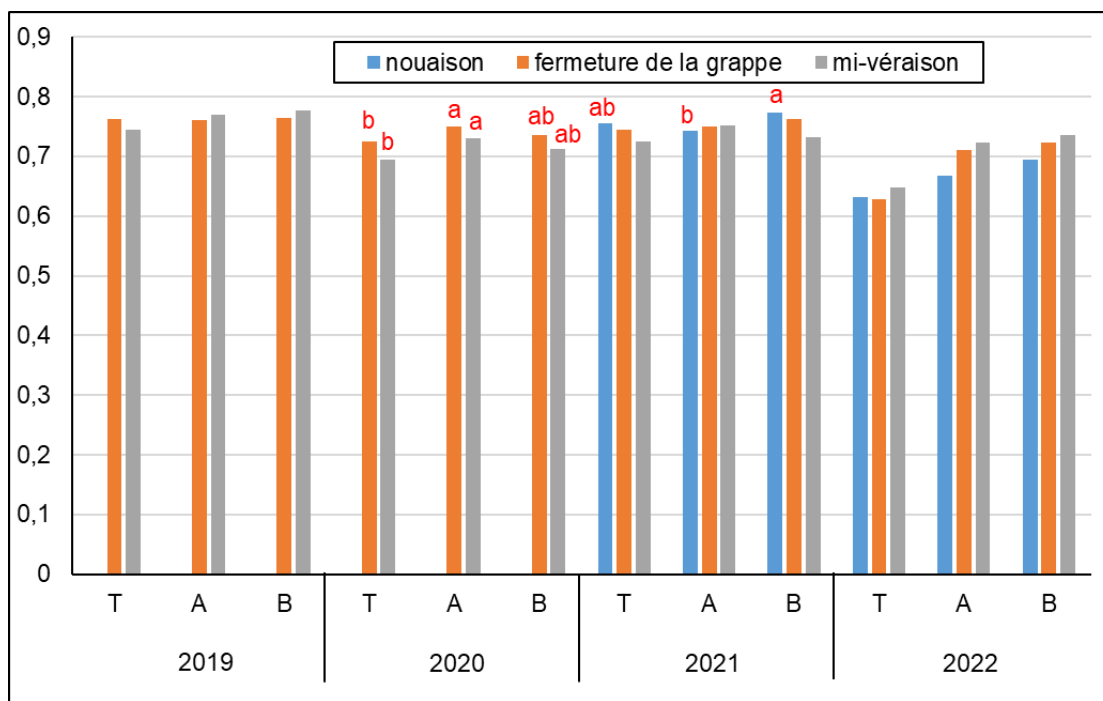


Figure 14 : Mesures de NDVI – Liergues
Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

3.7 – Surface Externe du Couvert Végétal (SECV)

Aucune différence significative n’est enregistrée ni sur les essais engrais verts mis en place en 2015 (**tableau 11**), ni sur ceux mis en place en 2017 (**tableau 12**).

Tableau 11 : Surface externe du couvert végétal (m²/m²)
Essais 2015 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

Année	Liergues			St Etienne		
	Trt stat	T	EV	Trt stat	T	EV
2016	ns	1,39	1,48	ns	1,25	1,06
2017	ns	1,05	1,10	ns	1,01	1,03
2018	ns	1,13	1,08	ns	1,03	0,95

Tableau 12 : Surface externe du couvert végétal (m²/m²)
Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

Année	Liergues				Odenas			
	Trt stat	T	A	B	Trt stat	T	A	B
2018	ns	1,42	1,42	1,31	ns	1,47	1,38	1,43
2019	ns	-	-	-	ns	1,04	1,10	1,03
2020	ns	1,29	1,34	1,45	ns	1,25	1,16	1,29
2021	ns	1,27	1,27	1,31	ns	1,23	1,06	1,16
2022	ns	0,99	1,02	1,13	ns	1,23	-	1,15

3.8 – Bois de taille

Essais engrais verts mis en place en 2015

La pesée de bois de taille (**tableau 13**) met uniquement en évidence une différence sur le poids de bois de taille, supérieur sur la modalité Engrais vert, en 2020 sur St Etienne.

Tableau 13 : Bois de taille
Essais 2015 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

			Liergues			St Etienne		
			<i>Trt stat</i>	T	EV	<i>Trt stat</i>	T	EV
2016	Poids bois de taille	g/cep	<i>ns</i>	0,380	0,422	<i>ns</i>	0,389	0,390
	Nombre sarments	/ cep	<i>ns</i>	9,0	9,8	<i>ns</i>	10,3	10,9
	Poids moyen sarment	g	<i>ns</i>	42	43	<i>ns</i>	38	36
2017	Poids bois de taille	g/cep	<i>ns</i>	0,200	0,233	<i>ns</i>	0,349	0,344
	Nombre sarments	/ cep	<i>ns</i>	7,1	6,2	<i>ns</i>	11,5	10,8
	Poids moyen sarment	g	<i>ns</i>	28	38	<i>ns</i>	30	32
2018	Poids bois de taille	g/cep	<i>ns</i>	0,273	0,300	<i>ns</i>	0,367	0,366
	Nombre sarments	/ cep	<i>ns</i>	8,3	8,6	<i>ns</i>	9,5	9,4
	Poids moyen sarment	g	<i>ns</i>	32	35	<i>ns</i>	39	39
2019	Poids bois de taille	g/cep	<i>ns</i>	0,200	0,176	<i>ns</i>	0,295	0,283
	Nombre sarments	/ cep	<i>ns</i>	7,9	8,1	<i>ns</i>	7,5	7,8
	Poids moyen sarment	g	<i>ns</i>	25	22	<i>ns</i>	39	36
2020	Poids bois de taille	g/cep	<i>ns</i>	-	-	S	0,266	0,288
	Nombre sarments	/ cep	<i>ns</i>	-	-	<i>ns</i>	9,1	9,2
	Poids moyen sarment	g	<i>ns</i>	-	-	<i>ns</i>	30	31

Essais engrais verts mis en place en 2017

Les poids de bois de taille n'ont pas pu être mesurés en 2022 à Odenas. A Liergues (**tableau 14**), le poids de bois de taille est supérieur pour le mélange B par rapport au mélange A en 2018, mais en lien avec à un nombre de sarments par cep supérieur. En 2019, la vigueur (poids moyen du sarment) de la modalité B est supérieure à celle de la modalité A, elle-même supérieure à celle du Témoin.

Tableau 14 : Bois de taille
Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

			Liergues				Odenas			
			<i>Trt stat</i>	T	A	B	<i>Trt stat</i>	T	A	B
2018	Poids bois de taille	g/cep	S	0.260 ab	0.253 b	0.311 a	<i>ns</i>	0.378	0.364	0.320
	Nombre sarments	/ cep	S	8.7 b	10.6 ab	11.1 a	<i>ns</i>	12.0	12.5	12.4
	Poids moyen sarment	g	<i>ns</i>	30	24	28	<i>ns</i>	31	29	26
2019	Poids bois de taille	g/cep	<i>ns</i>	0.167	0.186	0.231	<i>ns</i>	0.217	0.222	0.183
	Nombre sarments	/ cep	<i>ns</i>	9.6	8.1	8.8	<i>ns</i>	12.3	12.4	12.1
	Poids moyen sarment	g	HS	17 c	23 b	26 a	<i>ns</i>	18	18	15
2020	Poids bois de taille	g/cep	<i>ns</i>	0.263	0.276	0.265	<i>ns</i>	0.231	0.241	0.238
	Nombre sarments	/ cep	<i>ns</i>	8.7	9.1	9.6	<i>ns</i>	11.6	10.1	13.8
	Poids moyen sarment	g	<i>ns</i>	30	30	28	<i>ns</i>	20	24	17
2021	Poids bois de taille	g/cep	<i>ns</i>	0,319	0,333	0,322	<i>ns</i>	0,234	0,216	0,225
	Nombre sarments	/ cep	<i>ns</i>	9,7	9,0	8,5	<i>ns</i>	11,4	10,9	12,9
	Poids moyen sarment	g	<i>ns</i>	33	37	38	<i>ns</i>	21	20	17
2022	Poids bois de taille	g/cep	<i>ns</i>	0,110	0,158	0,158	-	-	-	-
	Nombre sarments	/ cep	<i>ns</i>	8,2	9,0	9,0	-	-	-	-
	Poids moyen sarment	g	<i>ns</i>	13	17	17	-	-	-	-

Aucune différence significative n'est mise en évidence à Liergues les 3 dernières années et à Odenas sur la durée d'expérimentation (**tableau 14**).

3.9 – Résultats à la vendange

Essais engrais verts mis en place en 2015

A Liergues (**tableau 15**), les seules différences se situent en 2017, où le Témoin présente un nombre de grappes par cep supérieur mais un nombre de baies par grappe inférieur, les rendements étant par conséquent équivalents.

A St Etienne (**tableau 15**), les différences significatives sont également rares : poids des baies supérieur sur le Témoin en 2016 mais sans répercussion sur le rendement, degré probable supérieur pour le Témoin en 2018 mais inférieur en 2019.

Tableau 15 : Résultats à la vendange
Essais 2015 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

			Liergues			St Etienne		
			<i>Trt stat</i>	T	ER	<i>Trt stat</i>	T	ER
2016	Poids vendange	kg/cep	<i>ns</i>	2,60	2,58	<i>ns</i>	3,29	3,48
	Nombre de grappes	/cep	<i>ns</i>	15,6	16,3	<i>ns</i>	19,9	22,7
	Poids grappe	g	<i>ns</i>	166	158	<i>ns</i>	165	151
	Nombre baies	/grappe	<i>ns</i>	109	102	<i>ns</i>	83	81
	Poids 100 baies	g	<i>ns</i>	152	155	S	201	187
	Degré probable	% vol.	<i>ns</i>	10,5	10,5	<i>ns</i>	11,6	11,4
	Acidité totale	g H ₂ SO ₄ /l	<i>ns</i>	4,0	4,1	<i>ns</i>	5,1	5,3
	pH		<i>ns</i>	3,27	3,28	<i>ns</i>	3,28	3,26
	Azote ammoniacal	mg/l	<i>ns</i>	19	18	-	91	97
	Azote α-aminé	mg/l	<i>ns</i>	72	71	-	163	146
	Azote assimilable	mg/l	<i>ns</i>	91	89	-	254	243
2017	Poids vendange	kg/cep	<i>ns</i>	1,24	1,16	<i>ns</i>	2,05	1,78
	Nombre de grappes	/cep	S	17,4	13,8	<i>ns</i>	24,5	19,7
	Poids grappe	g	<i>ns</i>	71	84	<i>ns</i>	84	90
	Nombre baies	/grappe	S	55	65	<i>ns</i>	56	56
	Poids 100 baies	g	<i>ns</i>	129	130	<i>ns</i>	150	162
	Degré probable	% vol.	<i>ns</i>	12,6	12,7	<i>ns</i>	12,8	13,2
	Acidité totale	g H ₂ SO ₄ /l	<i>ns</i>	4,3	4,3	<i>ns</i>	4,4	4,5
	pH		<i>ns</i>	3,24	3,22	<i>ns</i>	3,30	3,32
	Azote ammoniacal	mg/l	<i>ns</i>	13	9	<i>ns</i>	54	58
	Azote α-aminé	mg/l	<i>ns</i>	42	46	<i>ns</i>	92	94
	Azote assimilable	mg/l	<i>ns</i>	55	55	<i>ns</i>	146	152
2018	Poids vendange	kg/cep	<i>ns</i>	2,14	2,45	<i>ns</i>	1,93	2,51
	Nombre de grappes	/cep	<i>ns</i>	17,0	19,1	<i>ns</i>	15,7	19,9
	Poids grappe	g	<i>ns</i>	124	129	<i>ns</i>	122	126
	Nombre baies	/grappe	<i>ns</i>	92	97	<i>ns</i>	63	70
	Poids 100 baies	g	<i>ns</i>	134	133	<i>ns</i>	194	181
	Degré probable	% vol.	<i>ns</i>	11,5	11,3	S	12,7	12,0
	Acidité totale	g H ₂ SO ₄ /l	<i>ns</i>	3,8	3,9	<i>ns</i>	4,5	4,6
	pH		<i>ns</i>	3,28	3,26	<i>ns</i>	3,37	3,34
	Azote ammoniacal	mg/l	<i>ns</i>	3	0	<i>ns</i>	52	50
	Azote α-aminé	mg/l	<i>ns</i>	29	28	<i>ns</i>	63	69
	Azote assimilable	mg/l	<i>ns</i>	32	28	<i>ns</i>	115	119

2019	Poids vendange	kg/cep	<i>ns</i>	0,65	0,76	<i>ns</i>	2,37	1,82
	Nombre de grappes	/cep	<i>ns</i>	13,8	14,2	<i>ns</i>	19,3	19,1
	Poids grappe	g	<i>ns</i>	47	54	<i>ns</i>	122	95
	Nombre baies	/grappe	<i>ns</i>	117	117	<i>ns</i>	188	179
	Poids 100 baies	g	<i>ns</i>	40	46	<i>ns</i>	66	53
	Degré probable	% vol,	<i>ns</i>	11,9	11,8	<i>S</i>	12,0	12,5
	Acidité totale	g H ₂ SO ₄ /l	<i>ns</i>	5,0	4,8	<i>ns</i>	5,5	5,2
	pH		<i>ns</i>	3,23	3,27	<i>ns</i>	3,20	3,23
	Azote ammoniacal	mg/l	<i>ns</i>	36	38	<i>ns</i>	59	65
	Azote α-aminé	mg/l	<i>ns</i>	96	112	<i>ns</i>	56	66
Azote assimilable	mg/l	<i>ns</i>	132	149	<i>ns</i>	116	131	
2020	Poids vendange	kg/cep	-	-	-	<i>ns</i>	1,56	1,45
	Nombre de grappes	/cep	-	-	-	<i>ns</i>	16,9	17,3
	Poids grappe	g	-	-	-	<i>ns</i>	92	83
	Nombre baies	/grappe	-	-	-	<i>ns</i>	61	57
	Poids 100 baies	g	-	-	-	<i>ns</i>	150	145
	Degré probable	% vol,	-	-	-	<i>ns</i>	13,1	13,4
	Acidité totale	g H ₂ SO ₄ /l	-	-	-	<i>ns</i>	4,4	4,4
	pH		-	-	-	<i>ns</i>	3,29	3,31
	Azote ammoniacal	mg/l	-	-	-	<i>ns</i>	32	40
	Azote α-aminé	mg/l	-	-	-	<i>ns</i>	51	63
Azote assimilable	mg/l	-	-	-	<i>ns</i>	83	103	

Essais engrais verts mis en place en 2017

A Liergues (**tableau 16**), le poids de vendange a tendance à être supérieur pour le mélange B, l'écart étant significatif en 2018 et 2019. Mais ça n'est pas le cas en 2021. L'acidité des moûts (acidité totale ou pH suivant les années) est supérieure sur le mélange B par rapport au Témoin. Les teneurs des différentes formes d'azote assimilable sont supérieures sur les 2 mélanges en 2019. C'est également le cas les années suivantes mais avec seulement une différence significative en 2021 sur l'azote ammoniacal entre le mélange B et le Témoin. Cette tendance est également observable à Odenas mais de façon moins nette (le mélange A présente notamment une teneur en azote α-aminé plus faible que le Témoin en 2021).

Par ailleurs sur cette parcelle (**tableau 16**), les différences sont beaucoup plus rares et non répétables d'une année sur l'autre.

Tableau 16 : Résultats à la vendange
Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)

			Liergues				Odenas			
			<i>Trt stat</i>	T	A	B	<i>Trt stat</i>	T	A	B
2018	Poids vendange	kg/cep	<i>S</i>	2,14 ab	2,10 b	2,73 a	<i>ns</i>	2,28	2,19	2,06
	Nombre de grappes	/cep	<i>ns</i>	21,5	21,1	23,7	<i>ns</i>	25,2	26,5	26,0
	Poids grappe	g	<i>ns</i>	100	101	115	<i>ns</i>	91	83	79
	Nombre baies	/grappe	<i>ns</i>	86	87	106	<i>S</i>	58 a	54 ab	49 b
	Poids 100 baies	g	<i>ns</i>	115	116	109	<i>ns</i>	158	154	164
	Degré probable	% vol.	<i>ns</i>	10,9	11,0	10,5	<i>ns</i>	10,4	10,6	10,8
	Acidité totale	g H ₂ SO ₄ /l	<i>ns</i>	4,1	4,2	4,5	<i>ns</i>	4,2	4,1	4,0
	pH		<i>S</i>	3,14 a	3,14 a	3,09 b	<i>ns</i>	3,37	3,36	3,38
	Azote ammoniacal	mg/l	<i>ns</i>	28	22	35	<i>ns</i>	71	65	74
	Azote α-aminé	mg/l	<i>ns</i>	54	48	56	<i>ns</i>	107	103	107
Azote assimilable	mg/l	<i>ns</i>	82	70	91	<i>ns</i>	177	168	181	
	Poids vendange	kg/cep	<i>S</i>	0,606 b	0,549 b	0,932 a	<i>ns</i>	1,671	1,534	1,143
	Nombre de grappes	/cep	<i>ns</i>	16,4	15,0	17,5	<i>ns</i>	25,3	24,2	20,4
	Poids grappe	g	<i>ns</i>	39	36	54	<i>ns</i>	66	59	58

2019	Nombre baies	/grappe	ns	106	110	121	ns	154	150	156
	Poids 100 baies	g	ns	35	33	44	ns	43	39	37
	Degré probable	% vol,	ns	11,1	11,3	11,4	ns	12,8	12,8	12,9
	Acidité totale	g H ₂ SO ₄ /l	S	4,8 b	5,4 a	5,2 a	ns	4,7	4,6	4,6
	pH		ns	3,14	3,16	3,15	ns	3,34	3,36	3,36
	Azote ammoniacal	mg/l	S	91 b	118 a	124 a	ns	80	86	82
	Azote α-aminé	mg/l	S	145 b	186 a	204 a	ns	112	131	132
	Azote assimilable	mg/l	S	236 b	304 a	327 a	ns	192	216	213
2020	Poids vendange	kg/cep	ns	1,24	1,24	1,47	ns	1,06	1,17	1,19
	Nombre de grappes	/cep	S	22,0 b	27,3 a	24,8 ab	ns	20,1	20,7	23,7
	Poids grappe	g	S	56 ab	47 b	60 a	ns	53	56	50
	Nombre baies	/grappe	ns	27	23	28	ns	45	48	47
	Poids 100 baies	g	ns	103	101	107	ns	118	113	108
	Degré probable	% vol,	ns	11,7	11,4	11,4	ns	11,5	11,6	11,4
	Acidité totale	g H ₂ SO ₄ /l	S	4,4 b	4,6 a	4,7 a	ns	4,0	4,2	4,2
	pH		ns	3,18	3,17	3,15	ns	3,44	3,38	3,38
	Azote ammoniacal	mg/l	ns	70	89	90	ns	93	92	109
	Azote α-aminé	mg/l	ns	85	94	97	ns	163	146	191
Azote assimilable	mg/l	ns	155	183	187	ns	256	237	300	
2021	Poids vendange	kg/cep	ns	1,40	1,53	1,26	ns	1,58	1,16	1,57
	Nombre de grappes	/cep	S	17,7 b	18,8 a	17,6 b	ns	20,2	17,4	20,4
	Poids grappe	g	ns	79	81	72	ns	78	65	77
	Nombre baies	/grappe	ns	26	27	24	ns	34	32	34
	Poids 100 baies	g	ns	152	153	147	ns	227	203	229
	Degré probable	% vol,	ns	12,0	11,8	12,2	ns	11,1	11,1	11,1
	Acidité totale	g H ₂ SO ₄ /l	S	4,8 b	4,8 b	5,3 a	ns	5,0	4,8	5,0
	pH		ns	3,11	3,08	3,11	ns	3,36	3,38	3,38
	Azote ammoniacal	mg/l	S	55 b	61 ab	73 a	ns	61	58	80
	Azote α-aminé	mg/l	ns	87	95	104	S	99 b	88 c	115 a
Azote assimilable	mg/l	ns	142	155	177	S	160 ab	146 b	195 a	
2022	Poids vendange	kg/cep	ns	1,39	1,49	1,44	ns	1,16	-	1,09
	Nombre de grappes	/cep	ns	19,0	19,2	19,7	ns	23,6	-	23,7
	Poids grappe	g	ns	73	78	73	ns	49	-	46
	Nombre baies	/grappe	ns	66	70	69	ns	38	-	34
	Poids 100 baies	g	ns	111	111	107	ns	132	-	134
	Degré probable	% vol,	ns	11,9	12,0	12,3	ns	12,4	-	12,3
	Acidité totale	g H ₂ SO ₄ /l	ns	3,6	4,0	4,0	ns	4,0	-	3,9
	pH		S	3,25 ab	3,27 a	3,21 b	S	3,50 b	-	3,52 a
	Azote ammoniacal	mg/l	ns	37	58	49	ns	87	-	91
	Azote α-aminé	mg/l	ns	60	84	68	ns	135	-	148
Azote assimilable	mg/l	ns	97	141	117	ns	222	-	239	

3.10 – Sénescence du feuillage

Sur l'essai engrais verts mis en place en 2015 à Liergues, le suivi des feuilles restantes et des feuilles fonctionnelles en fin de cycle n'a pas permis de distinguer les différentes modalités sur les deux derniers millésimes d'expérimentation (2018 et 2019).

Sur l'essai engrais verts mis en place en 2017 à Liergues, le Témoin a tendance à avoir moins de feuilles restant sur le cep (**annexe 1**) mais les différences sont très rarement significatives. La note sur les feuilles fonctionnelles présente en général des valeurs plus élevées sur la modalité B et de façon significative à certaines dates pour chaque millésime à part 2018 (**annexe 2**). La mesure de NDVI présente des tendances similaires (**tableau 17**).

**Tableau 17 : Suivi du NDVI pour la sénescence du feuillage – Liergues
Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)**

Année	Date	Trt stat	T	A	B
2018	4/10	<i>ns</i>	0,64	0,64	0,65
	11/10	<i>ns</i>	0,50	0,50	0,51
	23/10	<i>ns</i>	0,37	0,38	0,40
2019	8/10	S	0,52 b	0,52 b	0,56 a
2020	16/10	S	0,52 b	0,59 ab	0,59 a
	22/10	S	0,39 b	0,44 ab	0,47 a
	30/10	<i>ns</i>	0,24	0,28	0,30
2021	14/10	S	0,50 b	0,60 a	0,58 a
	19/10	<i>ns</i>	0,45	0,55	0,48
2022	11/10	<i>ns</i>	0,46	0,39	0,46
	19/10	S	0,35 b	0,42 a	0,41 ab
	25/10	<i>ns</i>	0,28	0,28	0,28

4 – ETUDE ECONOMIQUE (à mettre à jour)

L'outil Viticoût® (<http://www.viticout.com>) a été utilisé pour réaliser ces estimations de coûts.

Les hypothèses prises pour le calcul sont les suivantes :

- Ecartement des rangs : 2 m
- Passages supplémentaires : 1 passage semis 1 inter-rang/2 + 1 passage destruction 1 inter-rang/2
- Passage supprimé : 1 passage entretien 1 inter-rang/2
- Prix semoir : 3 500 €
- Coût engrais vert (Chlorofiltre® Biomix) : 3,1 €/kg à 10 kg/ha (40 kg en plein, semé sur 1 m de large et 1 inter-rang/2)

Le coût supplémentaire lié à l'engrais vert est de 70 €/ha.

5 - CONCLUSION

Ces années d'expérimentation permettent de tirer de nombreux enseignements ou de confirmer certains points concernant l'utilisation des engrais verts. Elles mettent en évidence la variabilité de la biomasse fournie d'une année sur l'autre, ce paramètre variant en fonction des dates de semis, de destruction et des conditions météorologiques : au mieux 3 t/ha de MS avec un semis un inter-rang sur deux mais avec une moyenne autour de 400 kg/ha de MS. Le semis ne doit pas être trop tardif (pas plus tard que mi-octobre/fin octobre) pour bien s'implanter. La date de destruction ne doit pas être trop précoce de façon, d'une part, à former une biomasse suffisamment importante et, d'autre part, à ce que l'azote soit libéré au bon moment pour la vigne (à partir de la floraison) : une destruction quelques semaines avant la floraison (mois de mai) semble un bon compromis. Une destruction tardive provoque l'augmentation du rapport C/N, ce qui est préjudiciable à la proportion d'azote minéralisé et donc à la quantité d'azote libéré pour la vigne. Ces recommandations sont valables si l'objectif du couvert est d'apporter de l'azote pour la vigne, ce qui était recherché dans ces essais, mais peuvent varier en fonction de la destination du couvert. Les conditions météorologiques (essentiellement les pluies) sont importantes au printemps de façon que le couvert puisse se développer et qu'après destruction, la minéralisation se fasse correctement. Les semis ont en général été réussis même si leur développement avant l'hiver peut être assez faible. Les espèces présentes dans les mélanges se développent différemment suivant le type de sol : crucifères et trèfle incarnat plus présents sur sol argilo-calcaire ; phacélie et seigle plus présents sur sol granitique. La parcelle de St Etienne pose toutefois problème, le couvert ne s'étant jamais développé de façon satisfaisante malgré une implantation correcte le plus souvent.

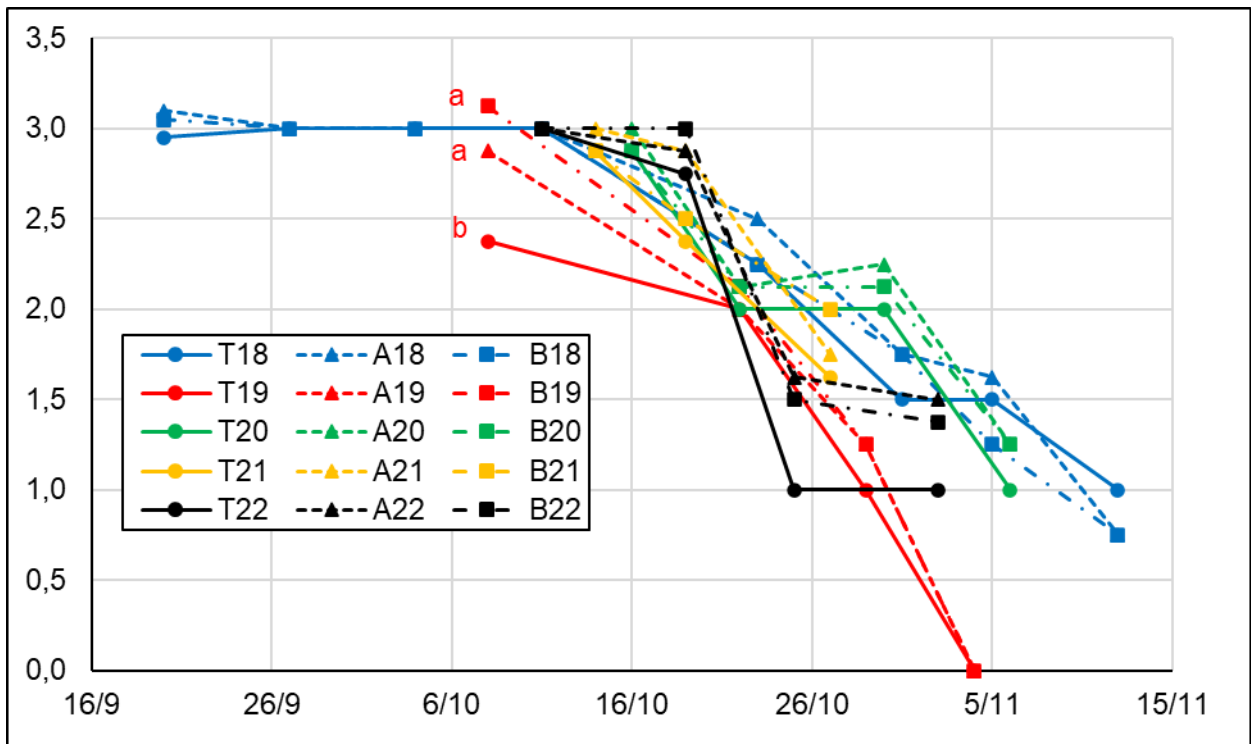
Les quantités de carbone fourni par le couvert sont essentiellement dépendantes de la biomasse, les teneurs en carbone étant assez stables entre millésimes, espèces et types de sol. Concernant l'azote, la teneur peut varier, en particulier en fonction des espèces : augmentation de la teneur avec la proportion de légumineuses. Ces quantités restent toutefois modestes dans tous les essais : en général une dizaine de kg/ha pour l'azote et une centaine pour le carbone. Même si l'azote minéral retrouvé dans le sol ne concorde pas forcément avec les estimations réalisées à partir de l'analyse des couverts, l'ordre de grandeur est tout de même respecté (5-7 kg/ha sur les essais de Liergues et 9-12 à Odenas).

Les effets sur la vigne sont par conséquent faibles : petite tendance à améliorer la nutrition azotée, le rendement et la teneur en azote des baies, à augmenter l'acidité des moûts et à retarder la sénescence des feuilles. Mais ces résultats sont loin d'être généralisés sur tous les essais et demandent à être confirmés, les écarts restant modestes.

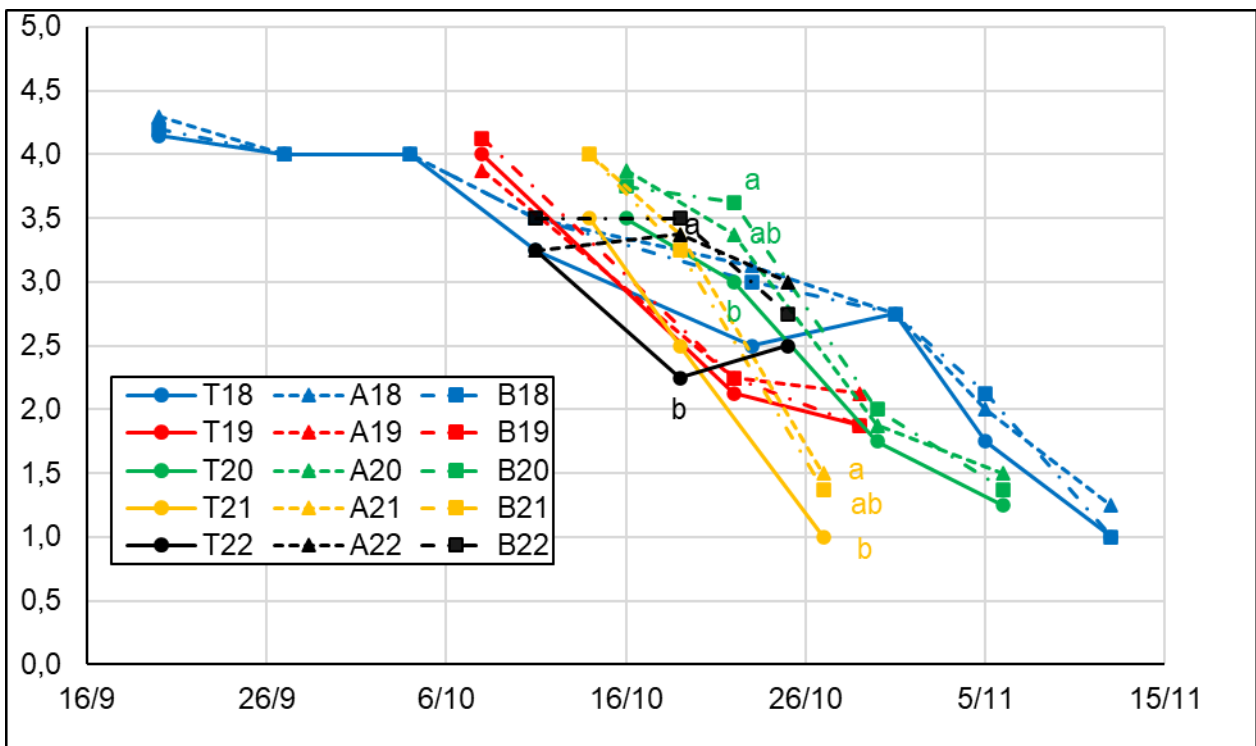
Il faut donc voir l'utilisation de cette technique des engrais verts sur le long terme. D'autres paramètres ont commencé à être suivis (structure du sol, biologie du sol par exemple) et d'autres mériteraient de l'être (stockage carbone par exemple) sur une longue durée. Le coût économique, relativement modique, devrait être mis en confrontation avec tous les avantages que peut procurer cette technique mais qui restent à chiffrer.

NB : Cette étude a pu être réalisée grâce au concours financier de la Région Auvergne-Rhône-Alpes





Annexe 1 : Suivi des feuilles restantes (Note /5) – Liergues
Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)



Annexe 2 : Suivi des feuilles fonctionnelles (Note /5) – Liergues
Essais 2017 - Synthèse engrais verts (IFV – SICAREX Beaujolais 2023)