

Implantation de cultures dans des couverts végétaux d'automne couchés au rouleau faca

Hélène VEDIE – Abderraouf SASSI – Zélie RODRIGUES

Résumé

Un essai système visant à évaluer l'intérêt de la technique et son effet cumulé dans le temps sur la fertilité du sol et les performances culturales a été mis en place sur la station d'Avignon en 2018. L'essai est à 2 facteurs croisés avec i) le facteur "couvert végétal" comportant 3 niveaux (sol nu, couvert à base de graminées, couvert à base de légumineuse) et ii) le facteur "mode de destruction" à 2 modalités (couvert broyé et enfoui par le travail du sol = modalités « EV » ; couvert roulé et sol non travaillé = modalités « RF »). Deux cultures ont été implantées au printemps 2022 sur chacune des modalités : des fenouils plantés en mottes, et du maïs doux semé.

En 2022, les deux couverts ont produit une biomasse de 10 à 12 tMS/ha, équivalente pour les 2 couverts (seigle+pois et triticale+féverole), plutôt dominée par les graminées. Sur les modalités rouleau-sol non travaillé « RF », ils ont assuré une bonne couverture du sol limitant significativement le développement des adventices annuelles. Néanmoins, avec 4 ans sans travail du sol sur ces modalités, les vivaces (liseron, chardon, chiendent) ont progressivement couvert l'ensemble de la surface du sol et sont devenues concurrentielles pour la culture. Les résultats culturaux sont inférieurs sur ces modalités : les poids moyens de fenouil sont inférieurs de 25 à 60% sur les modalités sans travail du sol, et le maïs a un taux de germination plus faible et une croissance très nettement ralentie. Le strip-till utilisé sur les modalités « RF » a été modifié en 2022, permettant la création d'un meilleur lit de semences que les années précédentes, mais cela n'a pas été suffisant.

Après 4 années consécutives d'utilisation de couverts couchés sur la parcelle, il apparaît donc que, malgré les économies de temps réalisées et les atouts écologiques indéniables de la technique (moins d'utilisation de gasoil, pas de plastique...), les freins sont trop importants pour se limiter à la seule utilisation de ce levier : compaction du sol, pertes croissantes de rendement, envahissement par les vivaces, problèmes de campagnols... L'essai va donc évoluer en associant à cette pratique des techniques complémentaires : apports de matières organiques, diversification des rotations avec des couverts d'été, travail du sol si nécessaire, etc.

1- CONTEXTE ET OBJECTIFS :

Ces dernières années, les méthodes d'implantation de cultures dans un couvert végétal ont fait l'objet d'un intérêt croissant car elles peuvent permettre de maîtriser l'enherbement, de préserver la qualité des sols avec moins d'interventions mécaniques, de diminuer les risques d'érosion ainsi que les temps de travaux et l'utilisation d'énergie fossile (fuel). Les références sont peu nombreuses en maraîchage pour la mise en œuvre des techniques dites de « conservation de sols » avec implantation de cultures dans un couvert végétal, car ces techniques ont surtout été étudiées pour les grandes cultures. La technique repose sur l'utilisation de couverts végétaux adaptés (au créneau cultural, à une production de biomasse suffisante pour assurer une couverture de surface importante par les résidus, à la rotation...), à un mode de destruction adéquat (rouleau FACA) et à l'utilisation d'outils qui permettent d'implanter les cultures dans un sol relativement massif couvert de résidus (strip-till).

Dans le cadre du projet européen « SoilVeg » (Core Organic 2015-2017), le GRAB a obtenu des résultats encourageants, avec une réduction du désherbage jusqu'à 60%, grâce à des mélanges de graminées et légumineuses d'automne utilisés en couverts roulés. Mais des références restent à acquérir sur différents couples couverts végétaux – cultures afin de mieux cerner le potentiel de cette technique, et sur plusieurs années pour voir l'effet évolutif de l'absence de travail du sol dans le temps, notamment sur la fertilité du sol et l'enherbement. Dans l'objectif d'améliorer les connaissances sur cette technique, et notamment ses effets sur du long terme, un essai système a été mis en place sur la station expérimentale du GRAB en 2018-19 pour suivre les performances de la technique sur plusieurs années.

Les objectifs sont de :

- Evaluer différents couverts végétaux sur leur potentiel de recouvrement, de production de biomasse et de « couchabilité » au rouleau,
- Implanter 2 cultures différentes sur ces couverts pour observer si certaines cultures sont mieux adaptées que d'autres à la plantation sur couvert roulé au rouleau Faca,
- Etudier deux modes d'implantation de cultures : cultures semées ou plantées en mottes.

2- MATERIEL ET METHODES

2.1 Dispositif expérimental :

Site : Parcelle plein champ en AB – Station expérimentale du GRAB à Avignon (84)

Surface de l'essai : 1000 m² (20 m x 50 m) –

Sol limono-argileux calcaire profond développé dans des alluvions de la Durance.

Dispositif : Essai à 2 facteurs croisés : couvert végétal x mode de destruction

Couvert végétal (CV) : 3 modalités : 0=sol nu ; 1=mélange 1 ; 2=mélange 2

Destruction : 2 modalités : EV=broyage + enfouissement ; RF=rouleau faca + strip-till

Le sol des parcelles « RF » n'a pas été travaillé depuis l'automne 2018 à part avec le strip-till.

La modalité « RF0 » a néanmoins été travaillée par erreur au printemps 2020.

Parcelles élémentaires : 200 m² (4x50m)

Essai en bandes. 4^{ème} année d'essai. Voir plan d'essai en annexe.

2.2 Conditions de culture :

❖ **Couvert Végétal : 2 mélanges graminées + légumineuses**

Modalité	Espèces	Dose de semis (kg/ha)
1	Seigle + Pois	80+100
2	Triticale + Féverole	80+120

Semis : 14 octobre 2021 à la volée. Enfouissement superficiel à la herse rotative + rouleau. Le semis a été réalisé après travail du sol sur les modalités « EV » et sans travail du sol sur les modalités « RF ».

Semis recouvert d'une fine couche de compost de DV (1-2 cm) sur RF1 et RF2

Irrigation par aspersion pour assurer la levée, pas d'irrigation ensuite.

Destruction des couverts par roulage ou broyage :

Broyage EV1 et EV2 : 9 mai 2022

Couchage RF1 et RF2 : 13/05/2022 puis 16/05 (triticale un peu redressé)

Préparation de sol :

- herse rotative + cultirateur sur EV le 13/5
- strip-till (version 2022) sur RF : 19/05

Origine des semences :

Seigle	Protector	Agrosemens	AB
Triticale	Trimasso	Sem Partner	AB
Féverole	Arabella	Agrosemens	AB
Pois	Andréa	Sem Partner	AB

❖ **Cultures :**

- **Plantée** : Fenouil var Preludio AB
- **Semée** : Maïs doux, var 3951 (Syngenta)

Plantation : 17/05 sur EVs et 19/05 sur RFs - **Semis** : 16/05 sur EVs et 19/05 sur RFs

Densité : Fenouil : 3 lignes distantes de 30 cm x 20 cm sur la ligne sur EVs et RF0 ;
2 lignes distantes de 70 cm x 20 cm sur la ligne sur RF1 & RF2

Maïs : idem nombre de lignes, 5 graines/ml

Irrigation par goutte à goutte : 1 ligne par rang de culture

Fertilisation : 920 kg/ha de 13-0-0 (Farines de plumes), soit 120 unités N/ha, apportés en plein sur EV et en localisé sur RF.

Récolte : **Fenouil** : 19 juillet 2022 (P+63j) – **Maïs** : 2 août 2022 (S+77j)

2.3 Mesures et observations :

- Mesures sur les couverts : densité par espèces et adventices 3-4 semaines après semis (3 placettes de 0,25 m² par modalité), observations du développement du couvert, proportions des espèces et des adventices, stades phénologiques, biomasse fraîche et sèche avant destruction (3 placettes de 1 m² par modalité), teneurs C et N des différentes espèces (AUREA).

- Mesures sur le sol (planches plantées) : 1) pendant les cultures : température du sol à 10 cm ; tension de l'eau (tensiomètres watermark) à 20 et 40 cm de profondeur ; [NO₃] et teneur massique en eau toutes

les 2-3 semaines ; 2) Evaluation de la structure du sol par mini-profil à la fin de la culture ; 3) Analyses de sol chimique et biologique de laboratoire et 4) Evaluation de la stabilité structurale par slake test.

- Mesures sur les cultures : Taux de germination (planches semées), Observations du développement/vigueur, Rendements (3 placettes de 10 plants de fenouil et 3 placettes de 2x10ml pour le maïs par modalité), Densité par espèce d'adventices (3 placettes de 0,25 m²/modalité 11 ou 13 jours après semis/plantation), Temps de désherbage.

3- RESULTATS - DISCUSSION

3.1 Résultats sur les couverts d'interculture

3.1.1 Conditions climatiques

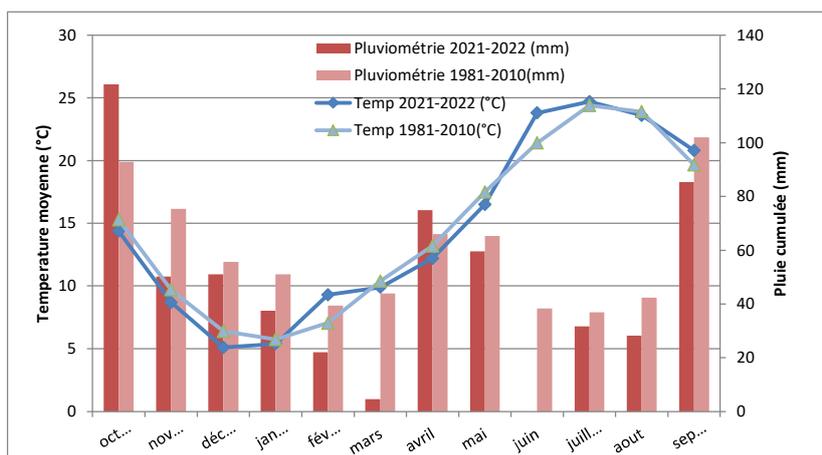


Figure 1 : Température moyenne et pluviométrie pendant la saison 2021-2022 et valeurs moyennes 1981-2010

Les couverts ont bénéficié de pluies après le semis et n'ont donc quasiment pas été irrigués mais la saison d'hiver a ensuite été marquée par un déficit de pluviométrie de janvier à mars (figure 1). Les températures ont été semblables à la moyenne 1981-2010 pendant la période d'interculture. Le mois de juin a été particulièrement chaud en 2022.

3.1.2 Développement des couverts

▪ Levée des couverts

Le nombre de plantules de chaque espèce des couverts semés et des différentes espèces d'adventices a été dénombré le 8 novembre, 24 jours après semis. Les couverts ont bien germé avec des taux de germination de l'ordre de 70% pour les graminées et 80 à 140 % pour les légumineuses (tableau 1). La densité du couvert 1 est de 250 à 300 plantules/m² hors adventices et celle du couvert 2 de 110 à 170. Le triticale dans le couvert 2 aurait pu être semé à plus forte densité du fait de son PMG qui est quasiment le double de celui du seigle. Le mode de conduite sur les différentes modalités influe peu sur la levée des légumineuses, avec des densités de pois similaires entre sol travaillé (EV1) ou non (RF1) et des densités de féverole également similaires entre EV2 et RF2, voir supérieures sur RF où le semis a été recouvert d'une couche de compost. Les graminées ont au contraire moins bien germé dans le sol non travaillé, notamment le triticale dans RF2.

On constate par ailleurs que la densité d'adventices est très largement supérieure dans les modalités travaillées, avec environ 800 plantules pour EV1 et EV2, que dans les sols non travaillés, où la densité est de 150 et 30 plantules/m², sur RF1 et RF2 respectivement (figure 2). Le travail du sol a donc provoqué une levée importante des adventices, notamment les dicotylédones annuelles.

Les principales espèces rencontrées sont la véronique, le mouron blanc, et le séneçon sur les parcelles travaillées. Sur les parcelles non travaillées, on note la présence de véronique, et de quelques espèces vivaces comme le chiendent, le liseron et la potentille rampante (sur RF1).

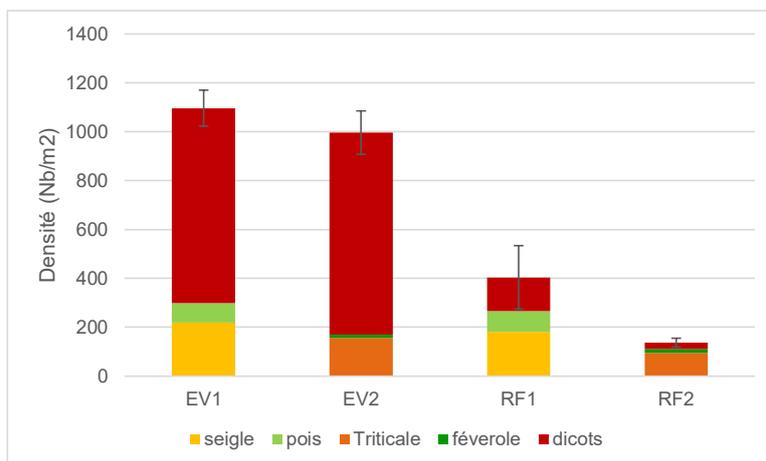


Figure 2 : Densité de plantules des différentes espèces des couverts végétaux et des adventices 24 jours après semis sur chaque modalité. La barre d'erreur représente l'écart-type total.

Couvert	Espèce	Dose de semis (kg/ha)	PMG	Nb de graines semées (nb/m²)	Nb de plantules 24 JAS (nb/m²)		% germination	
					EV	RF	EV	RF
CV 1	Seigle	80	27	299	219	181	73%	61%
	Pois	100	170	59	80	84	136%	142%
CV 2	Triticale	80	48	166	156	95	94%	57%
	Féverole	120	606	20	13	16	67%	81%

Tableau 1 : Taux de germination des différentes espèces semées dans les couverts 1 et 2. (JAS = Jours après semis)

▪ **Evolution des couverts au cours de la croissance**

Le développement des couverts est en lien avec la levée des plantules mesurée après semis : le couvert 1, avec une densité de plantules élevée, couvre rapidement le sol mais avec une proportion d'adventices importante dans la modalité EV1, travaillée. Les adventices se font progressivement concurrencées par le couvert pour quasiment disparaître au printemps (fig.3). Le seigle représente la majeure partie du couvert, et concurrence également le pois dont la proportion décroît dans le mélange au cours du temps. Dans la modalité RF1 sans travail du sol, le développement des adventices reste très limité et la concurrence du seigle sur le pois est moindre car sa densité est un peu plus faible et qu'il est moins vigoureux que dans EV1. La proportion de pois est donc plus importante dans RF1 que dans EV1 (fig.3).

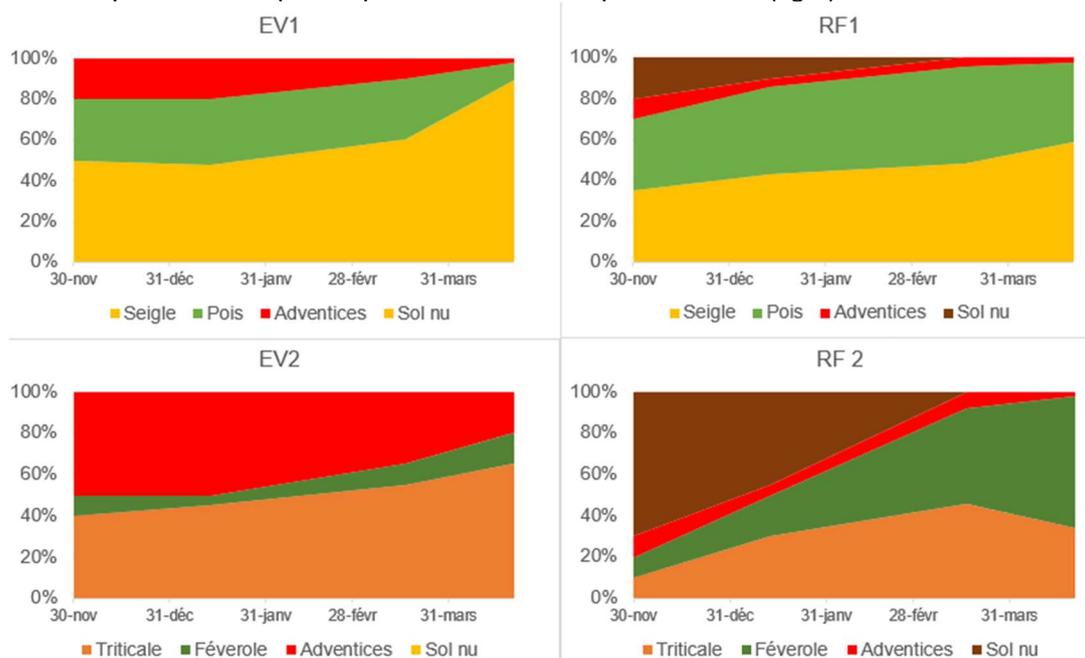


Figure 3 : Evolution de la proportion des espèces et de la couverture du sol au cours de la croissance des couverts dans chaque modalité



EV1



EV2



EV0



RF1



RF2



RF0

Vue des modalités le 30 novembre 2021 (47JAS) : nombreuses adventices sur modalités EVs, levée inférieure et moins d'adventices dans modalités RFs

Pour le couvert 2, dont la densité de plantules est 2 (EV2) à 3 (RF2) fois inférieure à celle du couvert 1, du fait d'une dose de semis de triticale un peu faible et d'une germination moins bonne de cette espèce dans RF2, on observe i) la présence importante d'adventices dans le couvert lorsque le sol est travaillé dans EV2 et ii) une proportion de sol nu importante mais avec peu d'adventices quand le sol n'est pas travaillé dans RF2 (figure 3 et photos). A la fin de l'interculture, on observe une proportion d'adventices qui reste élevée dans EV2 et une proportion de féverole plus importante dans RF2 que EV2.

3.1.3 Biomasses et composition des couverts lors de la destruction

Pour la technique de plantation dans un couvert couché, il est nécessaire d'obtenir une quantité de biomasse importante de façon à limiter efficacement le développement des adventices dans la culture suivante. Des biomasses de l'ordre de 8 à 10 tonnes de matière sèche par hectare sont couramment citées. Il est probable que la quantité seule ne soit pas le seul facteur à prendre en compte, mais que la dégradabilité du couvert soit également importante, pour que le mulch ait une tenue suffisante dans la durée.

Les mesures de biomasses ont été réalisées le 28 avril, 6,5 mois après semis, et environ 15 jours avant destruction des couverts.

La biomasse du couvert 1 est de 50 t/ha en frais et 11,4 t/ha en sec dans EV1, contre 43,4 tMF/ha et 9,5 tMS/ha dans RF1. La biomasse fraîche du couvert 2 est de 66,8 et 57,2 tMF/ha sur EV2 et RF2 respectivement, et les biomasses sèche correspondantes de 11,7 et 9,7 tMS/ha (figure 3). Le couvert 2 produit donc une biomasse fraîche significativement plus importante, mais la différence disparaît en biomasse sèche car le %MS est supérieur pour les espèces du couvert 1 (24% pour le seigle et 18% pour le pois en moyenne) que pour celles du couvert 2 (18% pour le triticale et 14% pour la féverole en moyenne).

La proportion des espèces varie selon les modalités : les graminées sont dominantes, mais la proportion de légumineuses est significativement plus importante dans les modalités RF, sans travail du sol, où elles représentent quasiment 25% de la biomasse sèche, contre moins de 10% dans les modalités EV. La biomasse des adventices est négligeable dans les modalités EV1, RF1 et RF2, mais représente 20% de la biomasse sèche sur EV2.

Les 2 couverts ont donc produit une biomasse importante, satisfaisant a priori à l'objectif visé pour assurer une couverture suffisante du sol après couchage au rouleau faca.

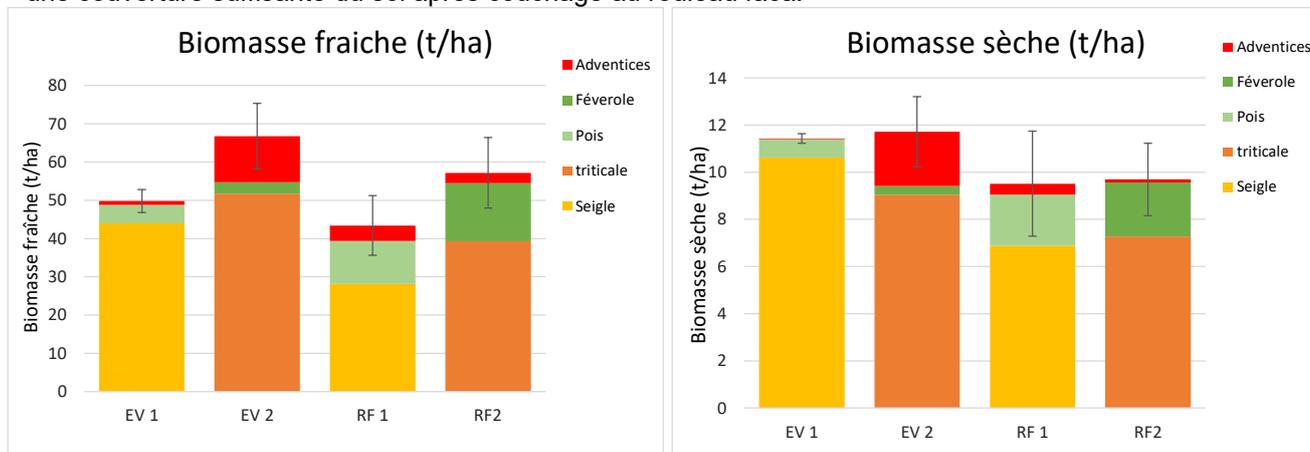


Figure 4 : Biomasses fraîche, biomasse sèche et composition de la biomasse des couverts 6,5 mois après semis. Les barres d'erreur représentent l'écart-type.

La teneur en azote des différentes espèces de l'essai est de l'ordre de 3,2 % de la matière sèche pour les légumineuses, et de 1,5% pour les graminées (tableau 2). Le rapport C/N, indicateur de la rapidité de décomposition, varie ainsi de 15 environ pour les légumineuses à 31 pour le triticale et 36 pour le seigle. Les mélanges étant majoritairement constitués de graminées, leur C/N moyen est élevé, de l'ordre de 32 pour le couvert 1 et 28 pour le couvert 2.

On constate qu'en tendance, la teneur en azote des espèces est différente entre modalités : pour l'ensemble des espèces, la teneur en azote est supérieure sur les modalités « EV » que sur les modalités « RF », notamment pour les graminées où la différence représente +25% pour le seigle et +21% pour le triticale. De ce fait, les rapports C/N moyens des mélanges sont équivalents entre les modalités « EV » et « RF » pour chaque couvert, malgré une proportion plus élevée de légumineuses dans les modalités RF.

On peut s'interroger sur l'origine de la différence de teneurs en azote d'une espèce en fonction du mode de travail du sol. Elle peut refléter une moindre disponibilité de l'azote dans les sols non travaillés, qui se traduit par une alimentation inférieure, notamment pour les graminées. Ces dernières étaient aussi visiblement moins vigoureuses dans les modalités RF, et ont produit moins de biomasse.

Le calcul de la teneur en azote moyenne des couverts donne des valeurs semblables, comprises entre 1,6 et 1,8% (tableau 2). Ainsi, la quantité d'azote contenue dans les parties aériennes des couverts dépend essentiellement de la biomasse produite et varie de 160 kgN/ha sur les modalités RF à 200 environ sur les modalités EV.

	Espèces	N total (% MS)	Rapport C/N	Rapport C/N moyen	Moyenne N (% MS)	Total N (kg/ha)
EV1	Pois	3,2	15,2	32,1	1,6	182
	Seigle	1,5	33,4			
	Adventices	na	na			
RF1	Pois	3,0	16,0	33,1	1,7	160
	Seigle	1,2	39,2			
	Adventices	2,0	22,4			
EV2	Féverole	3,4	14,6	27,2	1,8	205
	Triticale	1,7	27,2			
	Adventices	1,5	29,1			
RF2	Féverole	3,0	16,3	30,1	1,7	167
	Triticale	1,4	35,0			
	Adventices	na	na			

Tableau 2 : Teneurs en N et C/N des différentes espèces – Teneurs moyennes en N et quantité d'azote contenue dans la biomasse des couverts sur les différentes modalités

3.1.4 Destruction des couverts et travail du sol

Modalités EV : Les couverts ont été broyés sur EV1 et EV2 le 9 mai 2022. La fertilisation a été apportée en plein puis le sol a été préparé le 13 mai avec un passage de griffon sur 15 cm, un passage de herse rotative et un passage de cultirateur pour former les planches de culture. Les couverts étaient trop développés pour pouvoir réaliser un broyage suffisamment fin et une bonne incorporation, les planches étaient mal préparées. Un nouveau passage de cultirateur a donc été réalisé le 16 mai après retrait des amas d'engrais verts mal broyés.

Modalités RF : Un premier passage de rouleau faca, équipé de 4 masses de 70 kg, a été réalisé le 13 mai (photo). A cette date, les légumineuses étaient très avancées avec plusieurs étages de gousses. Les graminées étaient en fin de floraison-début de formation des graines, avec un stade BBCH de 71 environ pour le seigle (stade aqueux) et de 68 pour le triticale (fin floraison). Le seigle s'est avéré plus précoce que le triticale, avec environ 15 jours de retard du triticale, mais il avait versé en partie alors que le triticale, moins haut, était bien dressé.

Des problèmes de bourrage avec les dents du strip-till sur la modalité RF1, accentués par les plantes de seigle versées, nous ont amené à préparer 2 lignes au lieu de 3 sur cette modalité, le 17 mai. L'engrais a été localisé dans le sillon travaillé par le strip-till.

Pour RF2, un deuxième passage de rouleau a été nécessaire le 16 mai car le triticale se redressait (photo). Le passage du strip-till et la fertilisation en localisé ont été effectués, de la même façon que pour RF1 avec 2 lignes, le 19 mai. Les dents du strip-till ont travaillé à environ 15 cm de profondeur sur une largeur réduite (photo).

Pour RF0, sans couvert végétal et avec travail du sol limité à la ligne de plantation, 3 lignes ont été préparées avec le strip-till avec apport d'engrais localisé.

La nouvelle version du strip-till (voir photo page suivante), avec des dents un peu plus larges, des disques maintenant la végétation couchée, et des rouleaux cage pour fragmenter et rappuyer légèrement a permis un travail du sol plus satisfaisant, mais le bourrage peut quand même être important lorsque la végétation est très abondante et mal alignée (verse).



Couchage sur RF1 (G) et RF2 (D) le 13 mai

Passage du strip-till (V 2022) avec 2 dents les 17/19 mai →





Le triticale s'est redressé sur RF2 le 16 mai
Sillons formés par le strip-till sur RF2 →

3.2 Observations des caractéristiques du sol

3.2.1 Température du sol

La température du sol a été mesurée à 10 cm de profondeur pendant le cycle des cultures sur les 5 modalités. On observe une graduation des températures moyennes journalières sur les différentes modalités (figure 5) : les températures sont globalement plus élevées sur les modalités « EV », avec sol travaillé, que sur les modalités « RF » lorsqu'il y a un couvert végétal, mais il y a peu de différences sur les sols sans couvert entre EV0 et RF0. Au début du cycle, la différence entre les 2 modes de conduite est de l'ordre de 2 (Couvert 2) à 4 °C (couverts 1), puis de 1,5°C à partir de mi-juin, pour devenir négligeable en juillet. Sur les sols travaillés (EV), l'enfouissement d'un couvert végétal s'accompagne d'une température moyenne de 1°C supérieur au témoin au début du cycle, alors que sur les sols uniquement travaillés au strip-till (RF), la présence du couvert couché en surface diminue la température moyenne de 1 (RF2) à 2°C (RF1). Sur la durée du cycle de culture, la température moyenne a été inférieure de 1,7°C sur RF1 / EV1, et 0,7°C sur RF2 / EV2.

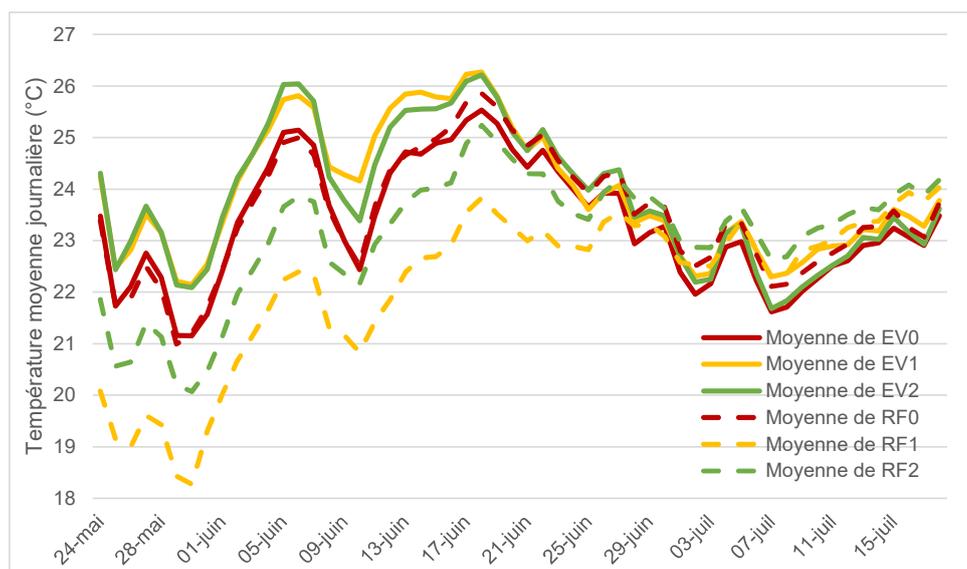


Figure 5 : Températures moyennes journalières du sol à 10 cm de profondeur sur différentes modalités.

L'analyse des courbes de températures minimales et maximales (figure 6) du sol montre que les différences sont liées à la fois à des températures minimales et maximales plus basses dans les modalités « RF ». Dans les modalités « RF », uniquement travaillées avec un strip-till, la nature du couvert végétal influence les niveaux de températures, le mulch de seigle+pois (RF1) semblant plus « froid » que celui de triticale+féverole (RF2), bien que les biomasses produites soient équivalentes. Dans les modalités travaillées, les températures, similaires entre EV1 et EV2, sont supérieures à celles de la modalité sans couvert EV0, surtout pour les températures maximales. Cette différence, déjà observée les années antérieures, peut résulter d'une meilleure porosité du sol après incorporation du couvert végétal et ainsi d'un réchauffement plus rapide.

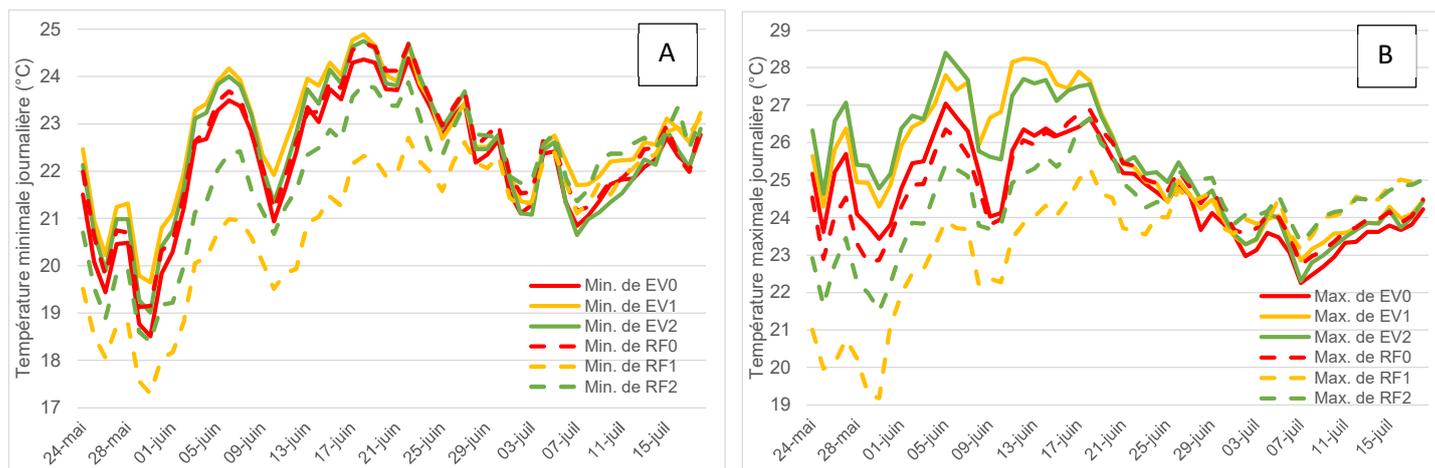


Figure 6 : Températures moyennes journalières minimales (A) et maximales (B) du sol à 10 cm de profondeur. ----- : sol travaillé (EV) ; - - - - : sol non travaillé (RF) ;
 ----- CV 1 ; ----- CV 2 ; - - - - : pas de couvert

3.2.2 Humidité du sol et irrigation

L'irrigation a été conduite de la même façon sur les modalités EV0, EV1, EV2 et RF0, où 3 lignes de cultures ont été implantées sur chaque planche. Elle a été différenciée sur les modalités RF1 et RF2, où 2 lignes de culture ont été implantées sur chaque planche. Le suivi des tensiomètres montrant en tendance des sols plus secs sur les modalités « EV » que « RF » début juin, l'irrigation a été fortement réduite sur RF1 et RF2 entre le 10 et le 20 juin. La différenciation des régimes d'irrigation est bien visible sur le graphique des hauteurs d'eau cumulées apportées (figure 7). La différenciation a ensuite été corrigée, avec des apports d'eau similaires, voire légèrement supérieurs sur les modalités RF1 et RF2 que sur les modalités EVs et RF0.

Le suivi volumétrique des apports d'eau a également été réalisé par des volucompteurs. Sur la durée de culture, l'apport d'eau réalisé a été de 4,78 m³ d'eau par ligne de goutte à goutte (donc de culture) sur les modalités EV et RF0, et de 4,24 m³ par ligne sur les modalités RF1 et RF2, soit 11% d'eau en moins sur ces dernières.

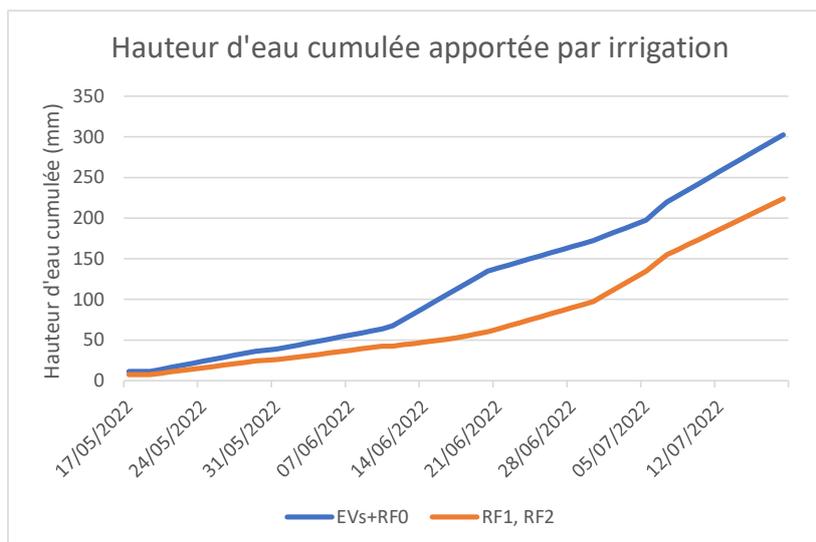


Figure 7 : Eau apportée par irrigation au goutte à goutte sur la culture de fenouil sur EVs + RF0 d'une part et RF1 + RF2 d'autre part. Valeurs théoriques obtenues par enregistrement des temps d'irrigation

Les teneurs massiques du sol en eau ont été mesurées toutes les 3 semaines du 9 mai au 1^{er} août pendant la culture de fenouils. Les évolutions par modalité (figure 8) montrent que début mai, à la fin des couverts végétaux, le sol, globalement sec, l'est moins sur les modalités avec couverts (1 et 2) que sans (0), et sur les modalités EV que RF. Pendant la culture de fenouils, le sol est globalement plus sec sur les modalités « RF » que les modalités « EV », notamment à partir de fin juin-début juillet, en lien avec les irrigations réduites en juin sur les modalités RF1 et RF2.

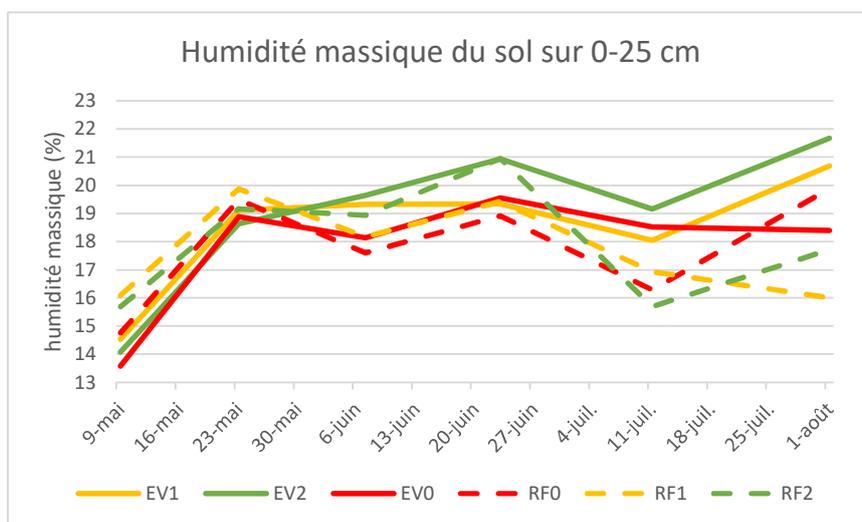


Figure 8 : Teneur massique en eau du sol pendant la culture de fenouils

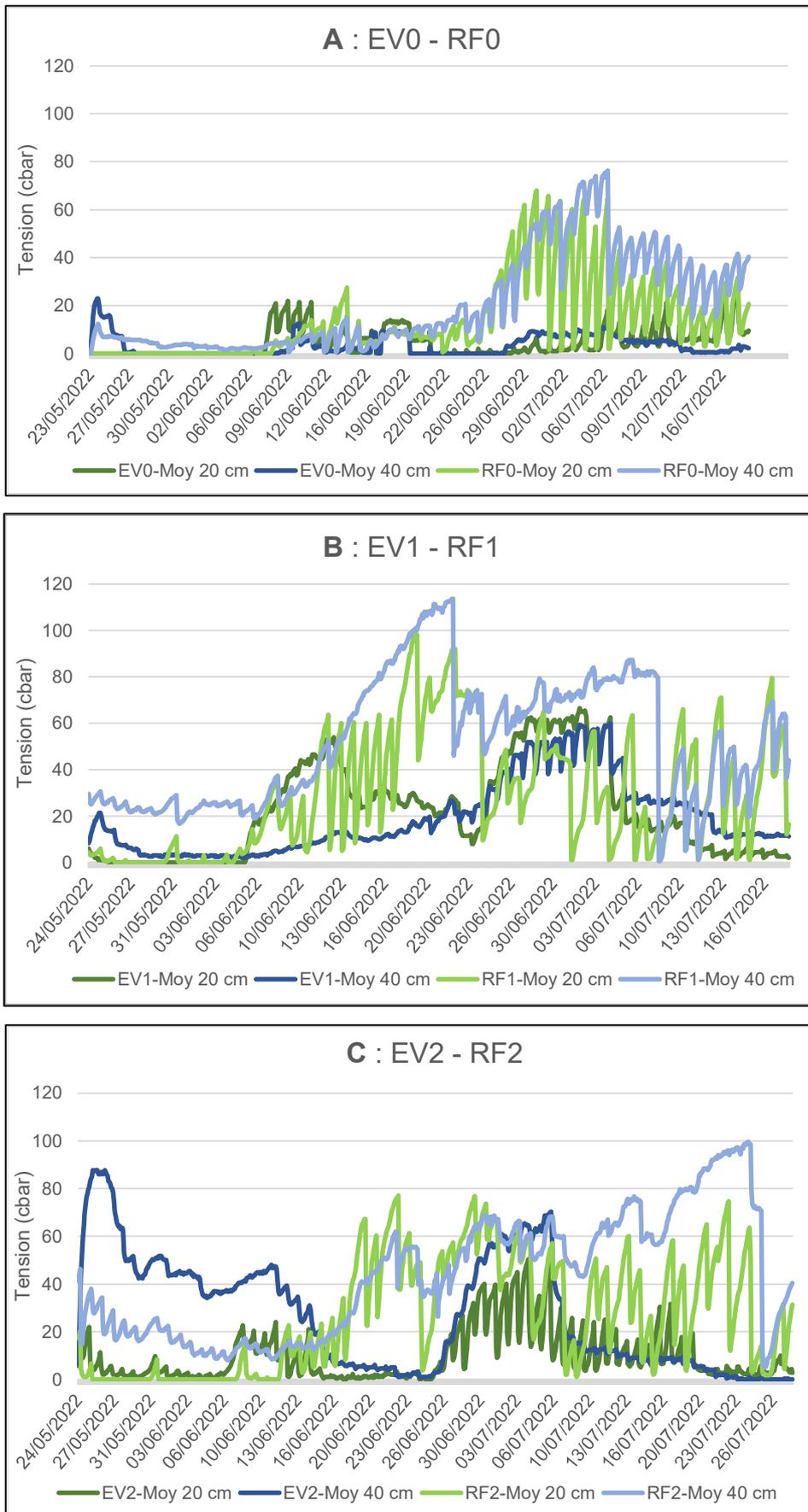


Figure 9 : Tension de l'eau dans le sol à 20 et 40 cm de profondeur pendant l'irrigation par goutte à goutte de la culture de fenouil sur les différentes modalités

Les courbes de tension de l'eau dans le sol à 20 et 40 cm de profondeur (figure 9) montrent les tendances suivantes :

- En mai, le sol est globalement plus sec à 40cm de profondeur sur les modalités ayant eu un couvert végétal pendant l'interculture (figure 9B et 9C) que sous sol nu (figure 9A)
- Sur les modalités EV0 et RF0 (figure 9A), les courbes de tension indiquent des valeurs plus élevées, pour les deux profondeurs, à partir de fin juin sur la modalité RF0 comparé à EV0 où les tensions de l'eau sont restées basses tout le long de la culture.
- Sur les modalités EV1 et RF1 (figure 9B), les valeurs augmentent sur la 1^{ère} quinzaine de juin, puis redescendent sur EV1, mais continuent à augmenter sur RF1 en lien avec la réduction d'eau sur cette modalité. La dernière partie du graphique montre que le sol se réhumecte de façon plus homogène sur EV1, alors que les tensions de l'eau restent plus élevées pour RF1, notamment à 40 cm, et beaucoup plus fluctuantes.
- Sur les modalités EV2 et RF2 (figure 9C), après un début de culture assez sec à 40 cm sur EV2, on observe les mêmes tendances que sur les modalités EV1-RF1, avec des tensions plus élevées et fluctuantes sur RF2 que EV2 en fin de culture.

On a donc globalement sur la durée du cycle de culture des fenouils un sol plus sec sur les modalités ayant eu un couvert végétal, ce qui est bien visible sur les courbes « EV » (tensions systématiquement plus élevées dans EV1 et EV2 que EV0 à irrigation identique), et également un effet du travail du sol réduit, visible sur tous les graphiques, mais notamment entre EV0 et RF0 conduites à irrigation identique. La dynamique de l'eau dans le sol semble être affectée, avec des teneurs en eau beaucoup plus fluctuantes sur les modalités RF, conséquence probable d'une structure de sol plus compacte/hétérogène (voir 3.2.4). La présence des adventices, en particulier de vivaces, plus marquée sur les modalités RF, peut aussi avoir contribué à l'assèchement du sol en fin de culture.

3.2.3 Teneur du sol en azote nitrique

Les teneurs du sol en azote nitrique sur les 1ers 25 cm de sol, mesurées toutes les 2 à 3 semaines pendant la culture, montrent d'assez fortes différences entre modalités (figure 10). On observe une minéralisation de l'azote plus précoce sur EV1 et EV0, et une minéralisation plus tardive sur RF1 et RF2, pour lesquelles les dynamiques sont similaires. Le travail du sol initial semble donc stimuler la minéralisation de l'azote du sol, sans que l'enfouissement d'un couvert en accentue l'intensité (EV1 et EV0 similaires), mais on observe peu de minéralisation sur EV2. La minéralisation, bien que retardée, est similaire pour les modalités RF1 et RF2 que pour les modalités EV0 et EV1, mais on observe peu de minéralisation sur RF0.

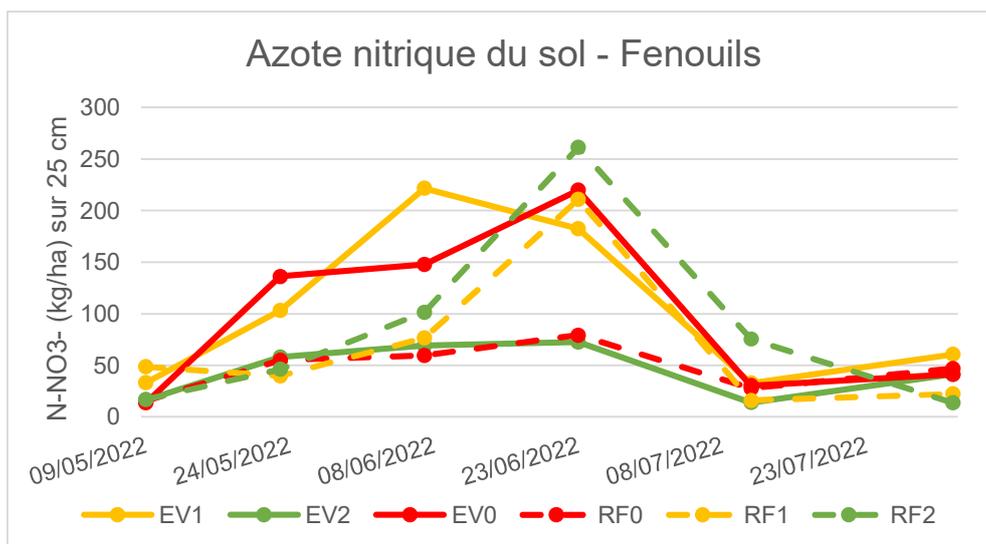


Figure 10 : Quantité d'azote nitrique (kg/ha) dans le sol (0-25 cm) sur les planches de fenouil
 ----- : sol travaillé (EV) ; - - - - : sol non travaillé (RF) ; - - - - : pas de couvert

3.2.4 Structure du sol

Des « mini » profils ont été réalisés sur 50 cm de profondeur le 29 août 2022, à la fin des cultures, pour observer la structure du sol sur toutes les modalités. On constate que globalement, la structure est moins favorable sur 30 cm dans les modalités RF que EV (tableau 3), avec un sol globalement très massif et peu poreux, sauf dans les passages de dents du strip-till où la porosité est plus importante, malgré une reprise en masse partielle sous les goutteurs. En deçà de 30 cm de profondeur, on trouve une structure similaire sur toutes les modalités.

Globalement, le classement des modalités de la structure la moins favorable à la plus favorable serait le suivant : RF1=RF2<RF0<EV1=EV0<EV2.

EV 1	EV 2	EV 0	RF 0	RF 1	RF 2
Structure très hétérogène, parfois meuble jusqu'à 15 cm, parfois très compacte dès 2-3 cm. La reprise en masse observée sous les goutteurs est similaire à celle observée sur EV0, avec une structure dominante ΔO Structure globalement moins favorable que sous EV2.	Structure assez poreuse sur 15 cm, avec terre meuble et mottes poreuses (ΔO et Γ). La structure est très bioturbée, avec de nombreuses racines, matière organique et vers de terre. On observe peu de reprise ne masse sous les goutteurs. Entre 15 et 30 cm, le sol est continu, massif à structure prismatique mais plus friable que sur les modalités RF.	Jusqu'à 25 cm, la structure est globalement assez poreuse, avec environ 50% de type ΔO (compaction modérée) et 50% de structure meuble, type Γ. Sous les goutteurs, le sol s'est repris en masse sur 20 cm environ, avec une structure assez massive mais poreuse (ΔO). En deçà de 25cm, la structure est proche de celle observée sur les modalités RF : massive à structure prismatique mais friable.	Dans cette modalité, il y a eu 3 dents de strip-till passées sur la planche, contre 2 dans les modalités RF1 et RF2. Au niveau du passage des dents, dont la trace est à peine visible, la structure est compacte, plus que dans les autres modalités RF. Le reste du volume de sol est massif et compact, avec plus de porosité que dans RF1 et RF2. Les racines de fenouil sont observées jusqu'à plus de 30cm, et s'étalent davantage en largeur. On observe aussi de très nombreuses racines de chardon sur tout le profil.	La structure est proche de celle observée dans RF2. On note qu'il y a eu une reprise en masse plus marquée au niveau des dents du strip-till, sous le goutte à goutte, où la structure est un peu compactée (ΔO) pour 30-50% du volume et meuble sur le reste. Les racines de fenouil sont observées jusqu'à 28 cm de profondeur, et on observe aussi des racines de liseron, chardon et graminées.	Au niveau du passage des dents de strip-till, le sol est meuble sur 15 cm de large au niveau de la surface, et 10 cm de profondeur. Les racines du fenouil y sont localisées jusqu'à environ 20 cm et sont verticales. Sur le reste du profil, la structure est meuble sur 2-3 cm puis très massive et compacte jusqu'à 30 cm, avec quelques rares galeries de vers de terre. En deçà, le sol est massif à structure prismatique mais plus friable. On observe la présence de racines d'adventices pérennes sur le profil (liseron...).

Tableau 3 : Structure du sol évaluée sur mini-profil en fin de culture de fenouil (29 août 2022)

3.2.5 Mesure de la stabilité structurale par slake test

Le test a été réalisé sur chaque modalité fin août, en prélevant 4 mottes de 3-5cm sur les 10 cm supérieurs des profils. Les mottes ont été séchées plusieurs jours à l'étuve à 105°C, puis ont été immergées pendant 5 minutes, suivies de 5 cycles d'immersion. On a noté la résistance à la dégradation des mottes en évaluant le pourcentage de volume de motte restant à l'issue de ce traitement, et mis des notes de dégradabilité relative sur les différentes modalités de 1 (la plus dégradée) à 4 (la moins dégradée). Les résultats sont représentés sur la figure 11.

En tendance, la présence d'un couvert végétal (1&2) améliore la stabilité structurale avec des mottes moins dégradées que sans (0), notamment avec le couvert 2. En présence d'un couvert, la structure est plus stable avec travail du sol réduit et couvert en surface (RF1&RF2) qu'avec travail du sol en plein et couvert enfoui (EV1&EV2). Mais on n'a pas de différence entre modalités de travail du sol en l'absence de couvert, EV0 et RF0 étant similaires.

Les modalités RF1 et RF2, qui ressortent avec la stabilité structurale la plus élevée, sont aussi celles dont la structure est la moins favorable...

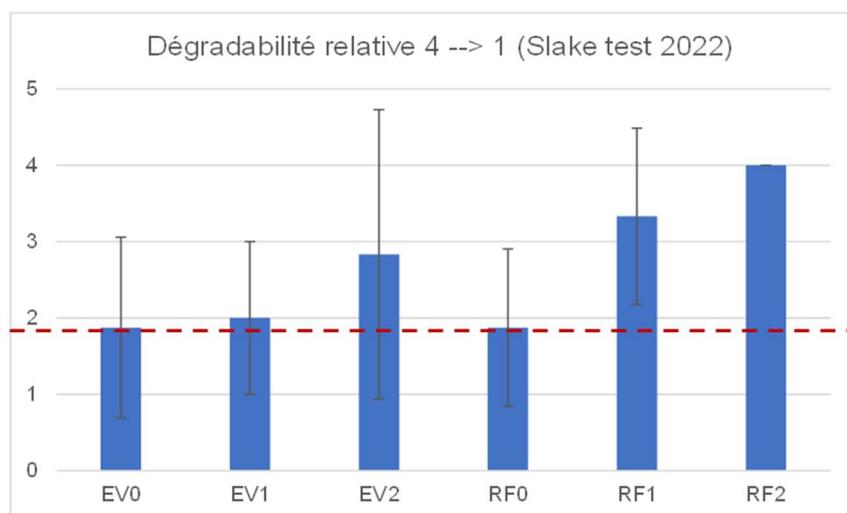


Figure 11 : Estimation de la dégradabilité relative des mottes dans l'eau entre modalités par slake test. Moyenne de 4 mottes /modalité et écarts-types

Globalement, il est difficile de conclure sur ce test, avec des écarts-types très importants. Il s'avère que le nombre de mottes (4) testées par modalité était trop faible pour pouvoir conclure de façon fiable. Dans le test il ressort également que la typologie initiale de la motte - dimension, niveau de tassement, structure anguleuse ou arrondie, fissures...- a un impact sur le résultat.

3.2.6 Analyses de sol de laboratoire

Des analyses de sol chimiques et biologiques ont été réalisées fin août sur les planches de fenouil par les laboratoires AUREA et Célesta-Lab. Elles sont comparées aux analyses réalisées en juillet 2020 (elles-mêmes réalisées après 2 ans de pratique) sur les mêmes planches de culture, sauf RF0 qui n'avait pas été analysée. On constate les évolutions suivantes (figure 11) :

- Sur les teneurs en éléments nutritifs :

Les teneurs en phosphore (P_2O_5) ont baissé d'environ 20% sur toutes les modalités sauf RF2. On n'a donc pas d'impact net des pratiques sur les teneurs. Cette baisse est liée à la fertilisation quasi-exclusive des cultures avec des farines de plumes (13-0-0), qui ne contiennent que de l'azote, depuis le début de l'essai. Les teneurs, faibles et en baisse, conduiront à apporter des engrais contenant du phosphore en 2023.

Les teneurs en potassium (K_2O) ont baissé sur les modalités EV, également en lien avec la fertilisation azotée uniquement, mais n'ont étonnamment pas baissé sur EV0. Sur les modalités RF, on observe à l'inverse une augmentation, plus forte sur RF1, malgré une fertilisation équivalente aux modalités EV. Cette hausse résulte probablement de l'épandage de compost de déchets verts (1 à 2 cm d'épaisseur) après semis des couverts végétaux à l'automne 2019 et 2021 pour favoriser la levée dans les modalités sans travail du sol. En outre, sur la modalité RF1, 5 à 6 cm de paille avait été épandus au printemps 2021 pour compenser l'absence de développement du couvert de seigle et pois sur cette modalité. Le compost et la paille étant tous 2 riches en potassium, les apports semblent avoir plus que compensé les exportations par les cultures, notamment sur RF1 où la hausse est de 29%.

On observe les mêmes résultats pour l'évolution des teneurs en magnésium (MgO), qui peuvent s'expliquer de la même façon (résultats non montrés).

- Sur les teneurs en matière organique (MO) et azote total (N) :

Les teneurs en MO ont globalement augmenté sur toutes les modalités, avec un effet positif des couverts végétaux (CV 1&2 comparé à 0, sur EV et RF), plus marqué pour le couvert 2. Les couverts végétaux longue durée pratiqués chaque année, avec des biomasses de l'ordre de 10 tonnes de MS/ha/an, semblent donc permettre d'augmenter progressivement le taux de MO du sol. Sur les modalités RF, les 2 apports de compost réalisés contribuent eux aussi probablement à l'augmentation plus marquée.

Les teneurs en azote total ont aussi augmenté sur l'ensemble des modalités, sans effet net des différents traitements.

- **Sur la biomasse microbienne (BM) :**

En valeur absolue, la biomasse microbienne a diminué sur les modalités EV, alors qu'elle est stable sur RF1 et en augmentation sur RF2, probablement en lien avec l'augmentation marquée du pourcentage de MO sur cette modalité. En valeur absolue (%C) en revanche, on a peu d'évolution par rapport à 2020, et peu de différences entre modalités. On observe néanmoins une tendance à la baisse avec le couvert 1 (EV1, et dans une moindre mesure RF1), sans explication évidente, qu'il faudra observer dans les prochaines mesures.

D'une façon générale, il est difficile de conclure sur des différences nettes des paramètres mesurés entre modalités, qui plus est en l'absence de répétition sur ce dispositif « système ». Seules la baisse générale du phosphore et la hausse de l'azote sont nettes, ainsi que l'augmentation du K₂O sur les modalités RF, mais ces variations sont liées à des pratiques de fertilisation ou d'apports de MO indépendantes des traitements testés. Il faudra donc suivre ces indicateurs dans le temps pour voir si des tendances s'accroissent.

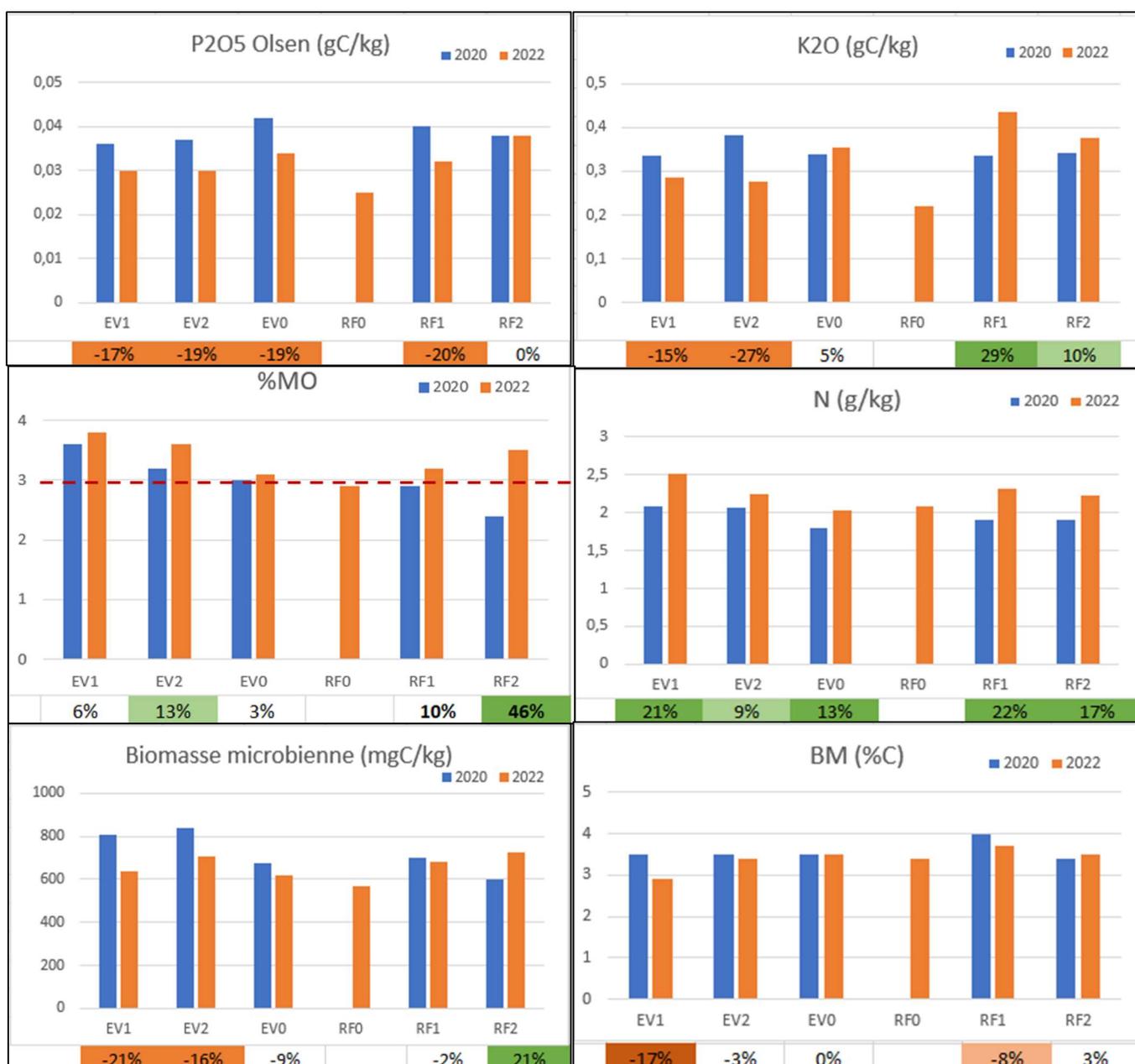


Figure 11 : Evolution des teneurs en P205, K₂O, MO, N total et biomasse microbienne entre 2020 et 2022 sur les différentes modalités

3.3 Résultats culturaux

3.3.1 Performances culturales

▪ Germination du maïs sur les planches semées

Le nombre de plantules a été mesuré le 31 mai, 12 (EV) à 14 (RF) jours après semis. On constate que la germination est significativement inférieure et plus hétérogène sur les modalités RF par rapport à EV (tableau 4). Le couvert d'interculture a favorisé la levée dans les modalités EV, le mulch incorporé ayant permis le maintien d'un sol plus humide que dans EV0. Il n'a pas impacté la germination sur RF qui est globalement de 55%, avec un taux plus faible sur RF1 où la ligne a été infestée par les campagnols. Un deuxième semis a été réalisé pour compléter les trous dans la culture.

Malgré une préparation de sol plus satisfaisante avec le strip-till, la germination reste donc inférieure que dans les sols préparés avec des outils rotatifs.

	Taux de germination
EV1	85% (\pm 2%)
EV2	85% (\pm 5%)
EV0	63% (\pm 18%)
RF0	54% (\pm 13%)
RF1	29% (\pm 4%)
RF2	55% (\pm 18%)

Tableau 5 : Pourcentage de germination du maïs doux 12-14 jours après semis

▪ Vigueur des plantes

La croissance des plantes de fenouil et maïs a été appréciée par la vigueur relative (de 1 à 5) et la hauteur des plantes à 2 dates (figure 12). Globalement, la croissance est similaire entre les différentes modalités « EV », et les cultures sont beaucoup plus vigoureuses que sur les modalités « RF ». La différence est moins marquée entre EV 0 et RF0, cette dernière modalité ayant 1) un sol plus poreux que sur RF1 et RF2 (cf 3.2.4) et 2) bénéficié de plus d'irrigation (cf 3.2.2). La planche de culture de fenouils de la modalité RF1 a été affectée par la présence des campagnols, avec mortalité de plantes. Globalement, les cultures sont très peu développées sur les modalités RF1 et RF2, avec des fenouils moins hauts et des bulbes plus petits, et du maïs beaucoup moins dense, moins haut et plus clair (voir photos page suivante).

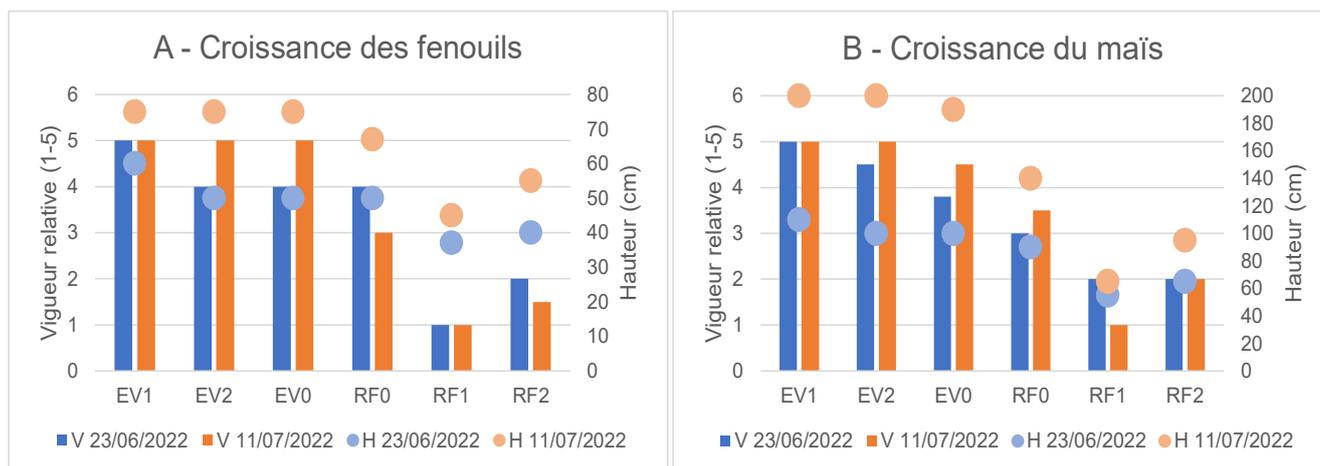


Figure 12 : Vigueur relative (de 1 à 5) et hauteur des plantes au cours de la croissance



Vue des cultures le 23 juin (1 planche de chaque par modalité). De gauche à droite, EV1, EV2, EV0 (arrière-plan de la ligne) et RF0, RF1, RF2

▪ Rendements

Les rendements des cultures sont conformes aux observations de vigueur : supérieurs sur les modalités « EV » que « RF », (figure 13).

- Pour le fenouil, le mode de destruction est le principal facteur explicatif des différences de rendement : Le poids total de 10 fenouils est 2 à 2,5 fois moins élevé sur RF1 et RF2 que sur les modalités EV, et il n'y a quasiment aucun qui soit commercialisable car ils sont trop petits (fig 13 A).
- Pour le maïs doux, le rendement est affecté à la fois par la mauvaise levée sur RF, avec un nombre de plantes par mètre linéaire inférieur de 30% en moyenne, et par la croissance réduite, avec un nombre d'épis par plante inférieur de moitié (fig 13 B). En effet de nombreuses plantes sur les modalités RF sont petites et ne portent pas d'épis. Ainsi, le poids d'épis produit par plante diffère beaucoup selon les modalités (fig 13 C) : il résulte du nombre d'épis inférieur sur les modalités RF, et d'un poids moyen d'épis également réduit de moitié sur RF1 et RF2.

On note que pour les 2 cultures, la limitation du travail du sol au strip-till en l'absence de couvert végétal (RF0) a beaucoup moins d'impact sur les résultats culturaux qu'avec couverts (RF1 et RF2)

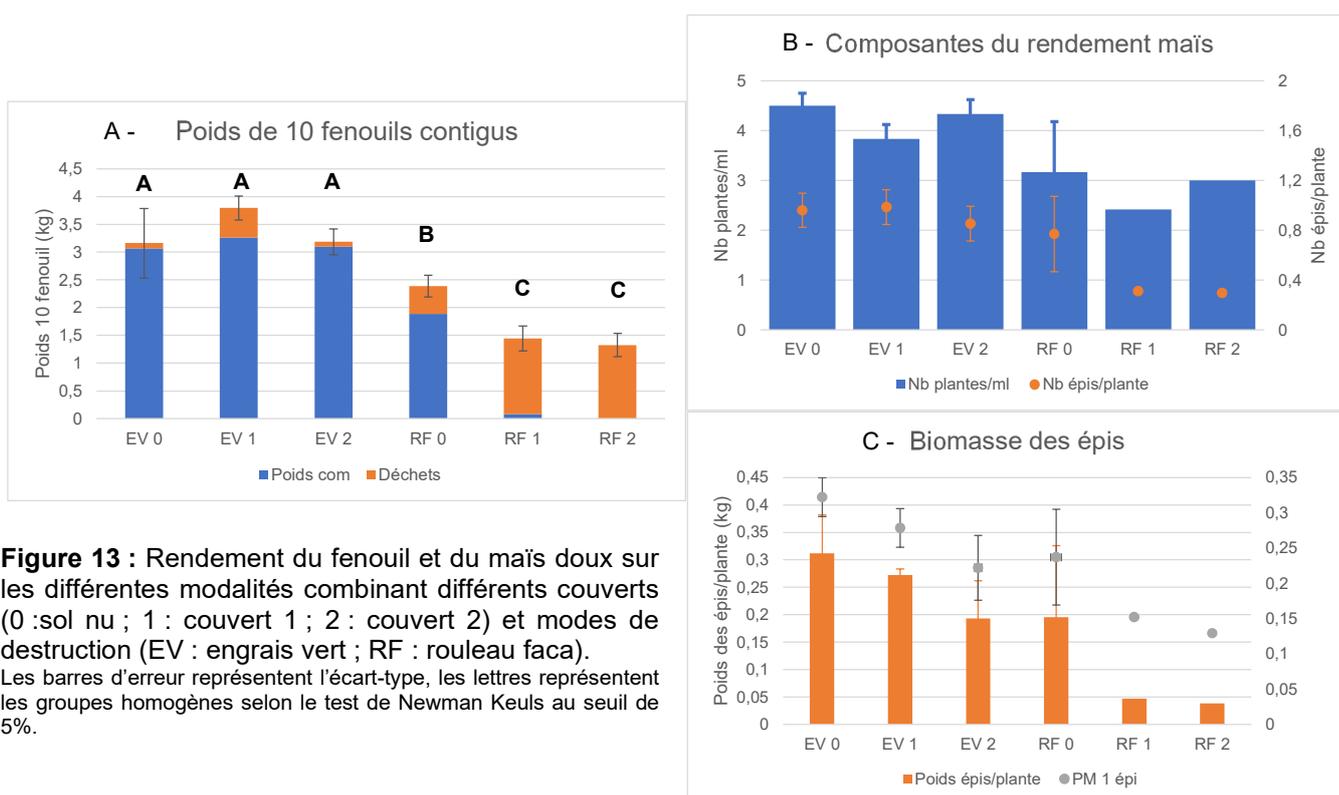


Figure 13 : Rendement du fenouil et du maïs doux sur les différentes modalités combinant différents couverts (0 :sol nu ; 1 : couvert 1 ; 2 : couvert 2) et modes de destruction (EV : engrais vert ; RF : rouleau faca). Les barres d'erreur représentent l'écart-type, les lettres représentent les groupes homogènes selon le test de Newman Keuls au seuil de 5%.

L'impact du mode de destruction est récurrent sur l'essai depuis sa mise en place. Il résulte principalement de la structure du sol plus compacte, avec des conséquences sur le réchauffement du sol, plus lent, la dynamique de l'eau dans le sol, et probablement la disponibilité de l'azote réduite dans les modalités « RF », même si cela n'est pas toujours visible dans le suivi de l'azote nitrique du sol.

3.3.2 Gestion des adventices

▪ Densité d'adventices après plantation

La densité d'adventices a été mesurée sur les planches de fenouil semées le 30 mai, 11 à 14 jours après plantation. Les 2 facteurs étudiés ont un impact statistiquement significatif sur la levée d'adventices (figure 13)

- Le facteur « mode de destruction » des couverts végétaux d'interculture est le facteur ayant le plus d'impact sur le développement d'adventices ultérieur, avec des densités de l'ordre de 200 plantules/m² sur les modalités « RF » et 1100 plantules/m² sur les modalités « EV »). L'effet de ce facteur est également visible sur la flore présente : le développement d'espèces vivaces, comme le liseron, le chardon ou le rumex est significatif sur les modalités RF alors que les espèces annuelles, principalement du pourpier et de l'amarante, dominant largement sur les modalités EV. La diminution du travail du sol sur les modalités « RF » s'accompagne donc d'une baisse importante du nombre total d'adventices, notamment annuelles, mais favorise le développement des espèces vivaces.
- Le facteur « couvert végétal » a aussi un impact sur la levée des adventices. La présence d'un couvert réduit la densité d'adventices, sur les modalités EV et RF. Le couvert 1, à base de seigle, a un impact supérieur sur cette réduction, ce que nous avons déjà observé précédemment.

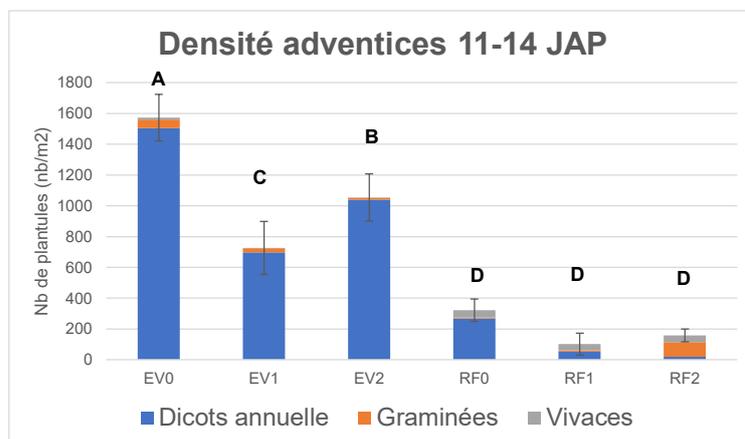


Figure 14 : Densités d'adventices sur les planches de fenouil 11 à 14 jours après plantation (JAP). La barre d'erreur représente l'écart-type de la densité totale d'adventices, les lettres les groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%

▪ Développement des adventices pendant la culture

Les dicotylédones annuelles, et principalement le pourpier, dominant sur les planches travaillées (EV) pendant toute la culture. Sur les planches RF, on observe un développement très important des vivaces, l'espèce dominante variant selon la modalité : chardon sur RF0 (également présent dans une moindre mesure sur EV0 qui est dans le prolongement), chiendent sur RF1 et liseron sur RF2 (voir photos). La présence d'annuelles est également importante et localisée sur la ligne travaillée par le strip-till. Le désherbage étant très difficile pour les vivaces, et complexifié par le paillage en surface, ces modalités sont les plus enherbées en fin de culture (tableau 6).

Modalité	Adventices présentes	Note d'enherbement (1 à 4)
EV1	Pourpier dominant, amarantes, laiteron et graminées	1
EV2	=EV1	1
EV0	Pourpier dominant, chardon, amarante, graminées	3
RF0	Chardon dominant, amarantes, chénopodes, graminées	2
RF1	Chiendent dominant, liseron ; sur la ligne travaillée au strip-till : pourpier, potentille, amarantes	4
RF2	Liseron dominant, chiendent ; sur la ligne travaillée au strip-till : graminées , amarantes, composées	4

Tableau 6 : Observations enherbement le 11 juillet sur les planches de fenouil
Espèces présentes (**dominantes**) et note d'enherbement (de 1 à 4)



Enherbement des fenouils au 11 juillet sur RF1 (gauche) et RF2 (droite)

▪ Désherbage

Le temps de désherbage dépend de la quantité de plantules s'étant développée après implantation de la culture (densités, paragraphe précédent) et de leur possibilité de développement ultérieur. Ainsi, il n'y a pas eu besoin de désherbage sur les modalités RF1 et RF2 au début des cultures, le 1^{er} juin, mais il a été nécessaire ensuite (figure 15). Sur ces modalités, le désherbage manuel est plus long car la raclette n'est pas utilisable en raison de la présence du couvert couché et plus difficile en raison de la présence des vivaces. La moins bonne maîtrise de l'enherbement a donc nécessité un passage plus tardif, le 4 juillet, et malgré tout peu efficace sur la présence d'adventices (tableau 6). Le moindre développement des cultures sur les modalités RF1 et RF2, avec 2 lignes plantées au lieu de 3 sur les autres modalités, et des cultures moins vigoureuses a aussi probablement favorisé un développement accru des adventices.

Au total, on a passé en moyenne le même temps à désherber les modalités EV et RF. Le désherbage a été globalement plus long sur les modalités sans couvert végétal d'interculture (EV0 et RF0), du fait d'une densité d'adventices plus importante, et de la présence de chardon.

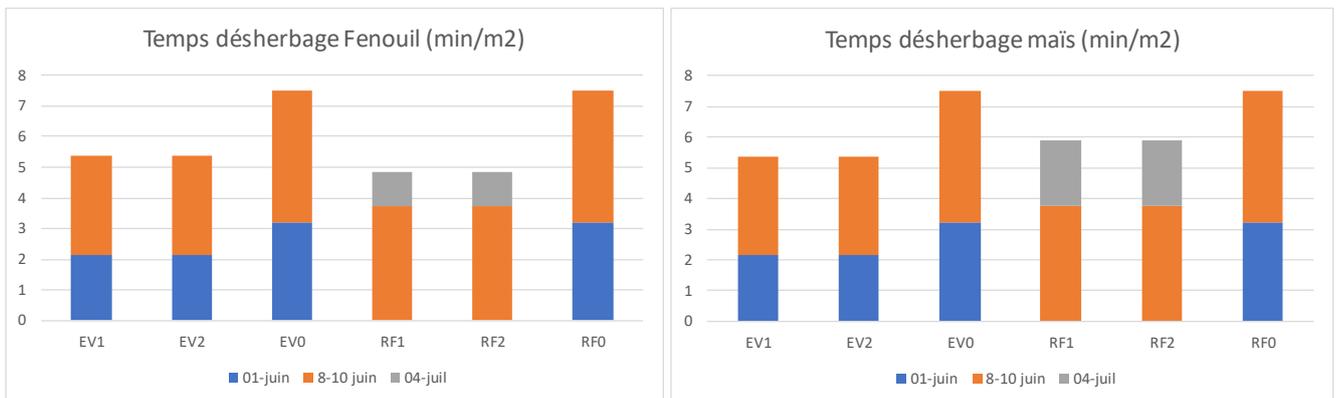


Figure 15 : Temps de désherbage manuel cumulé sur chaque modalité sur fenouil et maïs

4- DISCUSSION - CONCLUSIONS

A l'issue du projet MARCO, et de 4 années d'essai, l'impact de la diminution du travail du sol avec des couverts couchés et un travail limité à la ligne de semis/plantation par un strip-till donne des résultats très mitigés.

- Les atouts écologiques (diminution de consommation de carburant et de paillage plastique) et de réduction du temps de travail (temps de destruction des couverts, de préparation de sol, de désherbage, sauf en 2022) restent intéressants et conformes à nos résultats depuis 2015.
- Les couverts d'interculture d'automne-hiver de longue durée permettent des productions de biomasses de l'ordre de 10 tMS/ha/an. Ils ont un effet positif sur le taux de MO du sol et limitent le développement des adventices sur les parcelles, que ce soit avec ou sans travail du sol.
- Les effets de réduction de température et de changements de dynamique de l'eau dans le sol, se traduisant par une perte de précocité et de vigueur des cultures, perdurent dans le temps,
- Les pertes de rendement sont trop importantes pour la viabilité économique de cette pratique.
- Le lit de semences n'est pas suffisamment fin avec le matériel utilisé, malgré une amélioration notable avec la nouvelle version du strip-till de 2022, et limite fortement la levée de cultures semées (cultures testées : haricot, betterave, courge et maïs doux).
- Les effets bénéfiques attendus de la diminution du travail du sol sur la fertilité ne sont pas observés. On observe à l'inverse une densification et une compaction forte du sol sur les modalités sans travail du sol, notamment liées à la texture limono-argileuse du sol sensible à ces phénomènes, qui se traduit par un enracinement réduit des cultures et une mauvaise maîtrise de l'alimentation en eau. On n'a pas d'évolution notable des teneurs en éléments nutritifs, ni de l'activité biologique (mesurée par la biomasse microbienne et l'activité des vers de terre) avec travail du sol réduit.
- Les verrous techniques sont croissants, notamment un développement des vivaces toujours plus important d'une année sur l'autre et l'intensification des problèmes de campagnols sur les modalités avec travail du sol réduit, qui ont été particulièrement marqués en 2022.

La simple réduction du travail avec utilisation de couverts couchés pour maîtriser les adventices dans un système de « conservation de sol » ne donne donc pas de résultats agronomiques satisfaisants dans les conditions de cet essai. Il apparaît nécessaire de mettre en œuvre des leviers complémentaires pour pouvoir réduire le travail du sol en maraîchage de plein champ en conservant des performances culturales acceptables. Parmi ces leviers, la gestion de la rotation avec alternance de couverts d'automne-hiver ou d'été avec des cultures de printemps ou d'automne, l'apport de matières organique « de masse » pour améliorer la structure et l'activité biologique, ainsi que le recours à du travail du sol « raisonné » en fonction de la structure du sol et de la présence de vivaces et/ou campagnols semblent pertinents, voir nécessaires... C'est la voie que nous décidons de poursuivre dans cet essai les prochaines années.

Cette expérimentation bénéficie du soutien de :



MARaîchage sur COuverts végétaux sans herbicide (MARCO)

Merci aux sociétés qui nous soutiennent pour ces essais : Agrosemens et Sem-partner pour la fourniture des semences d'engrais verts.

ANNEE DE MISE EN PLACE : 2018 - ANNEE DE FIN D'ACTION : non définie

ACTION : nouvelle ○

en cours ●

en projet ○

Renseignements complémentaires auprès de : H. Védie - GRAB Agroparc BP 1222 84911 Avignon cedex 9 – tel : 04 90 84 01 70 – fax : 04 90 84 00 37 – E-mail : helene.vedie@grab.fr

Mots clés : couverts végétaux - légumineuses – rouleau faca – conservation de sol - maraîchage

Date de création de cette fiche : avril 2023

