



Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

Evaluation de pratiques agricoles innovantes employées dans les micro-fermes maraîchères

Etude de la densification et de l'association de cultures, associées à des apports fertilisants de matières organiques

DRIE : Catherine LAGRUE

Chef du Centre Opérationnel de Balandran : Sarah MOYSE

Responsable essai : Prisca PIERRE

Participants : Antoine MERCIER, Mamadou Moustapha DIOUF, Christine FOURNIER et le personnel d'exploitation de Balandran

Rédacteurs : Christine FOURNIER & Juliette PELLAT

Collaboration : Hélène VEDIE (GRAB)

Partenaires : partenaires du projet MMBio

Code essai : 2593105

1. Thème de l'essai

Le projet CASDAR MMBio (2019-2022, repoussé à 2023) coordonné par l'ITAB, a pour objet d'acquérir, consolider et diffuser des références techniques et économiques pour les systèmes de micro-fermes maraîchères diversifiées en Agriculture Biologique pour lesquelles le nombre de projets ou d'installations ne cesse d'augmenter. Dans le cadre de l'action « expérimentations », les pratiques de micro-fermes les plus pertinentes et fréquentes sont comparées à des pratiques de maraîchage classique.

A l'issue de plusieurs échanges basés sur des éléments bibliographiques, sur l'expertise des partenaires et celle de conseillers de terrain, les partenaires impliqués dans cette action se sont orientés vers l'évaluation des pratiques suivantes : l'association et la densification des cultures et les apports massifs de matières organiques. Ces thématiques sont expérimentées pendant deux ans, en 2020 et 2021. *Exceptionnellement, pour les thématiques n'ayant pas été traitées en 2020 en raison de la crise sanitaire il est possible de les traiter en 2022 car le projet est allongé jusqu'en 2023, sans apport supplémentaire de financements.*

2. Objectifs de l'essai

Sur le centre CTIFL de Balandran, l'objectif est d'évaluer l'intérêt et la faisabilité d'une association de deux cultures commerciales (courge butternut et maïs doux) couplée à des apports fertilisants de matières organiques issues de composts.

Facteurs et modalités étudiés

Dans cet essai, deux facteurs sont étudiés avec différentes modalités :

- L'association de cultures commerciales : courge butternut et maïs doux
 - o Courge seule
 - o Courge + maïs doux
- Les apports fertilisants de matières organiques : deux composts différents à chacun deux doses différentes.
 - o Témoin sans apport fertilisant de matières organiques
 - o Compost de déchets verts à 20 t/ha (dose 1)
 - o Compost de déchets verts à 60 t/ha (dose 2)
 - o Compost de fumier de mouton à 15 t/ha (dose 1)
 - o Compost de fumier de mouton à 30 t/ha (dose 2)

Abréviations utilisées ultérieurement :

Témoin → T	Compost de déchets verts dose 1 → DV 1 Compost de déchets verts dose 2 → DV 2	Compost de fumier de mouton dose 1 → FM 1 Compost de fumier de mouton dose 2 → FM 2
------------	--	--

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

3. Matériels et méthodes

a) Dispositif expérimental

Dispositif expérimental : Annexe 1

Localisation de l'essai : parcelle plein champ en Agriculture Biologique (W4) – Station expérimentale du centre CTIFL de Balandran (30).

Le sol est de type limono-sablo-argileux (50-30-20%). La parcelle a accueilli une culture de courgette en 2019.

Surface de l'essai : 607,5 m² contrôlés, 787,5 m² hors tout. Les plantations sont dans le sens Nord / Sud, elles ont été réalisées sur une bande paillée de 1 m à plat avec un paillage biodégradable (Biopolyane + noir de 1,4 m de large et 15 µ d'épaisseur).

Nombre de modalités : 2 modalités d'association de cultures x 5 modalités de fertilisation = 10 modalités croisées par bloc.

Nombre de répétitions : 3 répétitions par modalité soit un total de 30 micro-parcelles. Elles sont disposées en trois blocs du Nord au Sud (de 9 ml), chacun subdivisé en 5 zones d'Ouest en Est qui correspondent aux différentes modalités « apport de compost » pour une largeur de 4,5 ml chacune.

b) Matériel végétal

La courge butternut utilisée est de la variété Havana AB (Enza Vitalis) produite en mottes par la pépinière Nimaplants.

Le maïs doux variété Golden Bantam AB (Agrosemens) a été semé directement.

Les cultures ont été plantées et semées le 05 juin 2021.

c) Implantation de la culture

Chaque modalité « apport de compost » est composée de deux lignes de culture avec courge seule et courge + maïs soit deux micro-parcelles élémentaires de 9 m². Ces lignes « association de culture » sont réparties aléatoirement d'Ouest en Est sur les cinq zones d'essai. Les lignes de courges sont espacées de 2 m (interligne). Les plants de courge sont plantés tous les 50 cm sur la ligne de culture (inter-plant) pour une densité globale d'1 plant/m². Les grains de maïs ont été semés de part et d'autre de la ligne de courge concernée à 30 cm de celle-ci. Sur la ligne de culture le semis a été réalisé tous les 20 cm (5 à 6 plants de maïs par ml). Du Nord au Sud, trois modalités se succèdent sur les trois blocs de l'essai, elles sont séparées par une zone de bordure de 2 ml. Chacune des modalités « apport de compost » couvre une surface de 40,5 m².

Deux rampes de goutte-à-goutte sont réparties pour chaque bande de culture paillée de part et d'autre de la ligne de courge. Un réseau d'irrigation spécifique est mis en place pour les lignes de courges seules ainsi que pour les lignes en association de cultures. Ces deux réseaux distincts sont équipés de pompes doseuses pour une gestion indépendante de la fertirrigation des modalités de culture.

Les cultures ont été plantées et semées le 05 juin 2020. Le maïs doux a été récolté le 26 août 2020 et la courge le 29 septembre 2020. L'essai a donc duré environ quatre mois.

d) Conditions de culture

Précédent cultural

Un précédent engrais vert composé d'un mélange de seigle (40 kg/ha) et de vesce velue (variété Villana) (15 kg/ha) a été semé le 17 octobre 2019, broyé le 05 mai 2020 et enfoui le 19 mai 2020 par rotofraise.



Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020



Photo 1 : Destruction de l'engrais vert (seigle + vesce velue) le 06 mai 2020

Avant la destruction de l'engrais vert, des prélèvements de quatre quadrats de 1 m² ont été réalisés pour évaluer les quantités de matière fraîche (MF) et matière sèche (MS) produites. Le seigle et la vesce velue ont été triés avant séchage pour évaluer la production de MF et MS de chaque espèce. Les résultats sont présentés sur la figure 1 ci-dessous.



Photo 2 : Evaluation des quantités de matière fraîche et sèche fournies par la culture de l'engrais vert

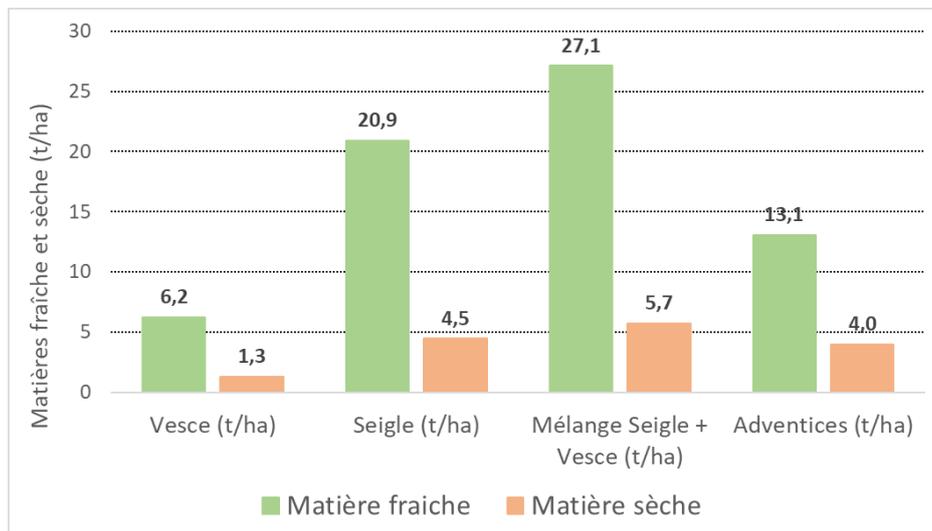


Figure 1 : Quantités de matière fraîche et sèche (t/ha) produites à l'issue de la culture d'engrais vert au 17 avril 2020

Distribution des composts et engrais biologiques

Après la destruction de l'engrais vert, les 22 et 25 mai 2020 un piquetage précis de la parcelle W4 a permis la répartition des différentes quantités de composts et d'engrais selon le dispositif établi (Annexe 1). La distribution des apports selon le quadrillage réalisé a été faite le 02 juin 2020, un passage de rotofraise a enfoui les différentes doses de composts ou d'engrais calculées comme suit.

Démarche suivie pour déterminer la fertilisation

La stratégie de fertilisation mise en place dans le cadre de cet essai a été basée sur une harmonisation des apports fertilisants à 120 kg d'azote par hectare pour l'ensemble des modalités étudiées, conformément aux



Projet MMBio 2019 / 2023 Compte-rendu d'essai 2020

besoins de la courge butternut. Les besoins en phosphore et potassium sont respectivement de 60 kg/ha et 100 kg/ha.

Les produits utilisés sont **Angibio 6 – 4 – 10** (guano de poisson et autres composants inconnus) et **Dix 9 – 2 – 2** (farine de plumes hydrolysées, guano du Pérou, fumier de volaille déshydraté, vinasse de betterave).

Pour calculer les besoins en engrais et en compost de chaque modalité il faut considérer un apport moyen du précédent engrais vert compris entre 10 et 20 kgN/ha, une fourniture d'azote par matière organique du sol (d'après la référence FIBL- Jagger & Lindau) en mars et avril de 2.5 kgN/ha par semaine et de mai à mi-septembre d'environ 5 kgN/ha par semaine. Dans notre cas, entre mars et mai, cela correspond à environ 20 - 40 kgN/ha.

Témoin sans compost

Le coefficient d'équivalence azote (KeqN) n'a pas été identifié avec certitude pour les produits Angibio et Dix. Néanmoins, d'après l'étude de la dynamique de minéralisation du Dix (CTIFL, AZOPRO), 55 % de l'azote est minéralisé au bout de 28 jours à 28°C.

On choisit un KeqN pour le mélange de ces deux produits à 0.7. D'après le calcul COMIFER pour une dose équivalente souhaitée à 120 kg/ha (besoins de la courge butternut), l'effet direct de ce mélange est estimé à $120 * 0.7 = 84$ kg/ha d'azote efficace.

Les quantités d'azote apportées sont les suivantes :

- Angibio : 1667 kg/ha soit 100 kgN/ha, 67 kgP/ha et 167 kgK/ha.
- Dix : 222 kg/ha soit 20 kgN/ha, 4 kgP/ha et 4 kgK/ha.

Cela correspond à des apports totaux de **120 kgN/ha, 71 kgP/ha et 171 kgK/ha** qui comblent les besoins de la courge butternut.

Modalités avec apports de matières organiques

L'Angibio étant très riche en potassium, le Dix est privilégié pour combler les manques liés aux apports de composts.

Compost de déchets verts

Le coefficient d'équivalence azote pour un compost de déchets verts de plus de 6 mois apporté au printemps est de 0,1. Il est de 0 pour un compost de déchets verts de moins de 6 mois (référence du COMIFER). Dans notre cas, le compost est de 6 mois, nous prendrons donc un KeqN de 0,05. Ces deux dernières années, le compost a apporté en moyenne 7,5kgN/t.

Pour une dose de 20 t/ha, suivant le calcul du COMIFER, l'effet direct du compost de déchets verts est estimé à $20 * 7,5 * 0,05 = 7,5$ kgN/ha. Il faut donc apporter des fertilisants pour atteindre les 84 kgN/ha efficaces.

Pour chaque surface de 40,5 m², il faut apporter **81 kg de compost de déchets verts et 4,9 kg de Dix 9 – 2 – 2**.

Pour une dose de 60 t/ha, suivant le calcul du COMIFER, l'effet direct du compost de déchets verts est estimé à $60 * 7,5 * 0,05 = 22,5$ kgN/ha. Il faut donc apporter des fertilisants pour atteindre les 84 kgN/ha efficaces.

Pour chaque surface de 40,5 m², il faut apporter **243 kg de compost de déchets verts et 4,0 kg de Dix 9 – 2 – 2**.

Compost de fumier de mouton

Le coefficient d'équivalence en azote pour un fumier de mouton est de 0,3. Ce dernier apporte en moyenne 9,6 kgN/t.

Pour une dose de 15 t/ha, suivant le calcul du COMIFER, l'effet direct du compost de fumier de mouton est estimé à : $15 * 9,6 * 0,3 = 43,2$ kg N/ha. Il faut donc apporter des fertilisants pour atteindre les 84 kgN/ha efficaces.

Pour chaque surface de 40,5 m², il faut apporter **60,75 kg de compost de fumier de mouton et 2,6 kg de Dix 9 – 2 – 2**.

Pour une dose de 30 t/ha, suivant le calcul du COMIFER, l'effet direct du compost de fumier de mouton est estimé à : $30 * 9,6 * 0,3 = 86,4$ kg N/ha. Les 84 kgN/ha efficaces sont donc atteints, il n'est pas nécessaire de compléter avec des fertilisants.

Pour une surface de 40,5 m², il faut apporter **121,5 kg de fumier de mouton**.

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020



Photo 3 : Epandage des composts sur les micro-parcelles de 40.5 m² le 02 juin 2020

Tableau 1 : Répartition des apports fertilisants selon le dispositif expérimental (Annexe 1)

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
Bloc A	60,8 kg de compost de fumier de mouton + 2,6 kg de Dix	121,5 kg de compost de fumier de mouton	81 kg de compost de déchets verts + 4,9 kg de Dix	243 kg de compost de déchets verts + 4 kg de Dix	0,9 kg de Dix + 6,8 kg d'Angibio
Bloc B	81 kg de compost de déchets verts + 4,9 kg de Dix	243 kg de compost de déchets verts + 4 kg de Dix	60,8 kg de compost de fumier de mouton + 2,6 kg de Dix	0,9 kg de Dix + 6,8 kg d'Angibio	121,5 kg de compost de fumier de mouton
Bloc C	121,5 kg de compost de fumier de mouton	60,8 kg de compost de fumier de mouton + 2,6 kg de Dix	0,9 kg de Dix + 6,8 kg d'Angibio	81 kg de compost de déchets verts + 4,9 kg de Dix	243 kg de compost de déchets verts + 4 kg de Dix

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

Tableau 2 : Quantité d'éléments fertilisants apportées en fonction des modalités

	Azote efficace apporté par le compost (kg/ha)	Azote efficace apporté par l'engrais (kg/ha)	Azote efficace total (kg/ha)	Phosphore total (kg/ha)	Potassium total (kg/ha)
Témoin	0	120	120	71	171
Compost déchets verts (20 t/ha)	7,5	108,89	116,5	72,5	146,7
Compost de déchets verts (60 t/ha)	22,5	88,9	111,4	169	446
Compost de fumier de mouton (15 t/ha)	43,2	57,8	101	75	262
Compost de fumier de mouton (30 t/ha)	86,4	0	86,4	126	501

Mise en place du paillage

Le paillage biodégradable utilisé est le biopolyane noir (1,4 m de large et 15 μ d'épaisseur). Il a été déroulé après la mise en place des deux lignes de goutteurs par butte de culture. Sa pose n'a pas présenté de difficultés majeures en raison d'une préparation de sol assez fine et homogène. La fragilité de ce type de paillage nécessite toutefois un travail à faible allure sans modifications de la tension du film.

En fin de culture ce paillage biodégradable a été broyé et enfoui selon les normes en vigueur.

Plantation

Les plants de courge ont été livrés le 03 juin 2020 en provenance du pépiniériste, ils étaient beaux et homogènes (stade 2 à 3 feuilles). Leur mise en attente dans un compartiment de pépinière en serre F1 à proximité immédiate d'un compartiment de tomates attaquées par des aleurodes a provoqué une infestation massive des jeunes plants par ce ravageur. Une intervention avec Naturalis a dû être réalisée avant plantation. Celle-ci a eu lieu le 05 juin 2020, tout comme le semis direct du maïs doux à raison de 2 grains / trou (un démarriage était prévu après levée si nécessaire).

Un arrosage conséquent à la lance a suivi la plantation, les consignes d'arrosage pour les deux réseaux indépendants ont été mises en place à partir du 08 juin 2020.

La reprise des plants a été bonne mais la culture (plants de courge et de maïs) a subi des dégâts causés par la visite de sangliers particulièrement présents sur le site cette saison. Les plants de courges altérés ou mangés ainsi que ceux de maïs ont été remplacés ou ressemés. Une clôture électrique a pu être positionnée le 16 juin 2020. Plus aucun dégât n'a alors été déploré en culture.

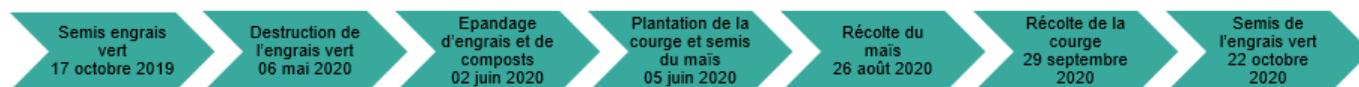


Figure 2 : Déroulé de l'essai MMBio pour la première année (2020)

e) Observations et mesures

Suivi climatique

Deux types de suivi climatique ont été réalisés pour cette saison : les enregistrements de la station météo Celsius sur le site et la pose de sondes Tinytag à 10 cm de profondeur dans le sol de chacune des modalités croisées (10 emplacements) dans le bloc B.

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

Suivi de l'irrigation/état hydrique du sol

Lors des prélèvements de sol pour réaliser les analyses Nitratecheck, l'humidité des parcelles courge et courge-maïs au niveau de l'horizon 0 - 30 cm était estimée « à la main » sur les boudins de sol prélevés à la tarière. Pour compléter ce suivi « tactile », une sonde Watermark (tensiomètre) a été positionnée le 10 juin 2020 à 25 - 30 cm de profondeur pour chacune des modalités « association de culture*apports de matières organiques » soit 10 sondes. Elles ont toutes été placées dans les parcelles du bloc B. Sur toute la saison de culture les relevés de ces deux méthodes de suivi n'ont jamais indiqué un déficit d'arrosage pour la courge seule ou la courge et le maïs en association. Les relevés des tensiomètres ont cependant permis de réagir rapidement à « l'assèchement » plus rapide des lignes de culture en association selon le barème ci-dessous (correspondance entre valeurs relevées sur les tensiomètres et l'état hydrique du sol).

Tableau 3 : Etat du sol (centibars/Kpa)

0 - 10	Sol saturé / risque d'asphyxie
10 - 20	Sol ressuyé
20 - 50	Confort hydrique
50 - 100	Etat hydrique différent en fonction des textures
100 - 200	Le réservoir - sol s'est beaucoup vidé

Les réseaux d'irrigation indépendants des lignes de culture étaient également équipés de compteurs volumétriques. Les relevés presque journaliers nous ont permis d'établir un graphique des arrosages réalisés sur la saison 2020.

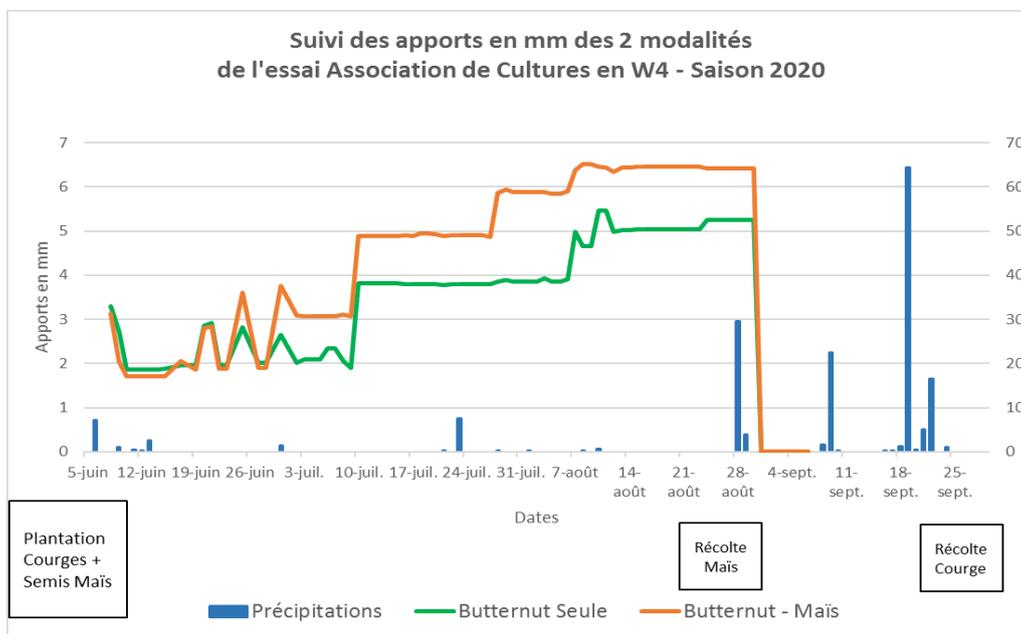


Figure 3 : Suivi des arrosages des deux modalités de culture du 05 mai 2020 au 29 septembre 2020

Les apports en eau ont été plus importants sur la modalité d'association de cultures courge + maïs en raison de la densification de culture sur cette modalité. Cependant, les apports suivent la même logique pour les deux modalités pendant la totalité de l'essai.

Suivi des paramètres du sol pendant la culture

Une analyse de terre complète (réalisée par le laboratoire Auréa) et les reliquats azotés ont été effectués avant la plantation des courges et le semis du maïs pour déterminer la stratégie de fertilisation.

En fin de culture ces mêmes analyses ont été effectuées sur les planches de courge et de courge + maïs pour évaluer l'impact de l'association de culture sur le sol.

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

Les teneurs en azote nitrique ont été suivi tout au long de la culture. Des prélèvements sur l'horizon 0 - 30 cm étaient effectués suivis d'analyses Nitrachek toutes les 3 semaines. Les prélèvements ont été faits à l'aide d'une tarière manuelle à raison de trois trous par micro-parcelle. Les échantillons des micro-parcelles ayant reçu la même conduite sont mélangés (10 analyses). Les premières analyses ont débuté le 02 juillet 2020.

Suivi de la culture

Suivi de l'azote nitrique pétiolaire

L'azote nitrique contenu dans le jus pétiolaire a été suivi pendant tout l'essai. Toutes les deux ou trois semaines, les prélèvements étaient effectués sur 30 pétioles de jeunes feuilles adultes de courge par modalité « croisée » puis analysés au Nitrachek (2 niveaux d'association de culture*5 niveaux apports de matières organiques = 10 échantillons). Les jeunes feuilles adultes correspondent à la 3^{ème}/ 4^{ème} feuille en partant de l'apex d'une tige. 30 feuilles (10 par parcelle élémentaire) sont nécessaires pour recueillir suffisamment de jus (1 ml) pour l'analyse Nitrachek. Les premières analyses sur pétioles ont débuté le 06 juillet 2020.

N.B : En raison d'une forte pression d'oïdium, pour les deux dernières mesures nous avons dû passer à 15 feuilles par micro-parcelle pour ne pas enlever trop de feuilles sur des plantes déjà fragilisées.

Suivi du stade de développement

Un suivi du stade de développement des plants et de la vigueur a été réalisé visuellement en cours de croissance des plantes.

Suivi phytosanitaire

Un suivi phytosanitaire hebdomadaire a été effectué : observations et notations des ravageurs et/ou maladies présents sur les deux cultures, déclenchement des interventions phytosanitaires en fonction de la pression de chacun d'entre eux. Ce suivi a abouti à quelques interventions de couverture présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Récapitulatif des interventions phytosanitaires réalisées

Semaines	Produit commercial	Dose à l'hectare Kg ou L	DAR	Application	DRE	Spécialité commerciale			Homologation	
						Composition en S. A.	Fonction	Formulation	Espèce cultivée	Cible
22	Ironmax pro	7	3	Généralisée	-	Phosphate ferrique	Molluscicide	Granulés	Butternut	Limaces
25	Essen'ciel	2	1	Généralisée	24h	Huile essentielle d'orange 60 g/L	Ins. Fong. Ac.	Micro-émulsion	Butternut	Oïdium
26	Essen'ciel	2	1	Généralisée	24h	Huile essentielle d'orange 60 g/L	Ins. Fong. Ac.	Micro-émulsion	Butternut	Oïdium
27	Essen'ciel	3	1	Généralisée	24h	Huile essentielle d'orange 60 g/L	Ins. Fong. Ac.	Micro-émulsion	Butternut	Oïdium
28	Fluidosoufre	20	3	Généralisée	48h	Soufre 99%	Fongicide	Poudre pour poudrage	Butternut	Acariens
32	Fluidosoufre	20	3	Généralisée	48h	Soufre 99%	Fongicide	Poudre pour poudrage	Butternut	Acariens
33	Armicarb	3	1	Généralisée	8h	Hydrogénocarbonate de potassium 850 g/kg	Fongicide	Poudre pour poudrage	Butternut	Oïdium
34	Success 4	0,2	3	Localisée	8h	Spinosad 480 g/L	Insecticide	Suspension concentrée	Mais	Pyrale
35	Thiovit Jet Microbilles	6	3	Généralisée	8h	Soufre 800 g/kg	Fongicide	Granulé dispersable	Butternut	Oïdium

N.B. : Dans le cadre d'un essai avec association de culture de familles différentes, la gestion phytosanitaire devient très délicate car les spécialités communes aux deux cultures sont rares.

Suivi des adventices

Un désherbage mécanique sur les inter-rangs et manuel sur le rang de courge a été effectué quand c'était nécessaire et possible.

Suivi de la productivité

Les courges et le maïs ont été récoltés sur trois parcelles élémentaires de chaque modalité. Les rendements bruts et commerciaux ont été évalués sur les fruits mûrs et sur les fruits verts.

Pour le maïs, l'ensemble des épis d'une micro-parcelle (y compris les déchets) a été pesé. Ils ont ensuite été triés en plusieurs catégories, sans parage, en fonction de leurs défauts (charbon, ravageurs, déformations, taille,...). Parmi les épis commercialisés, 10 ont été sélectionnés aléatoirement puis parés, pesés et d'éventuels problèmes ont été recherchés. Les épis de chaque catégorie ont été comptés et pesés. Parmi les commercialisables, les cinq plus petits et les cinq plus gros ont été pesés afin de déterminer le poids moyen minimum et maximum.

4. Résultats

a) Suivi des conditions climatiques

Suivi via la base de données Celsius

Les températures sous abris se sont maintenues en moyenne entre 18 et 28°C tout au long de la culture (figure 4). Entre la fin du mois de juillet et le début du mois d'août, elles ont été les plus élevées, entre 25 et 28°C. En revanche, à la fin de la culture elles ont chuté pour finalement atteindre 12°C le 26 septembre 2020.

Les précipitations ont été peu abondantes tout au long de l'essai. Ce n'est qu'à partir de la fin du mois d'août qu'elles sont réellement apparues, avec 28 mm le 29 août 2020 et même 58 mm le 19 septembre 2020. Ces précipitations coïncident avec la diminution des températures sur la fin de l'essai.

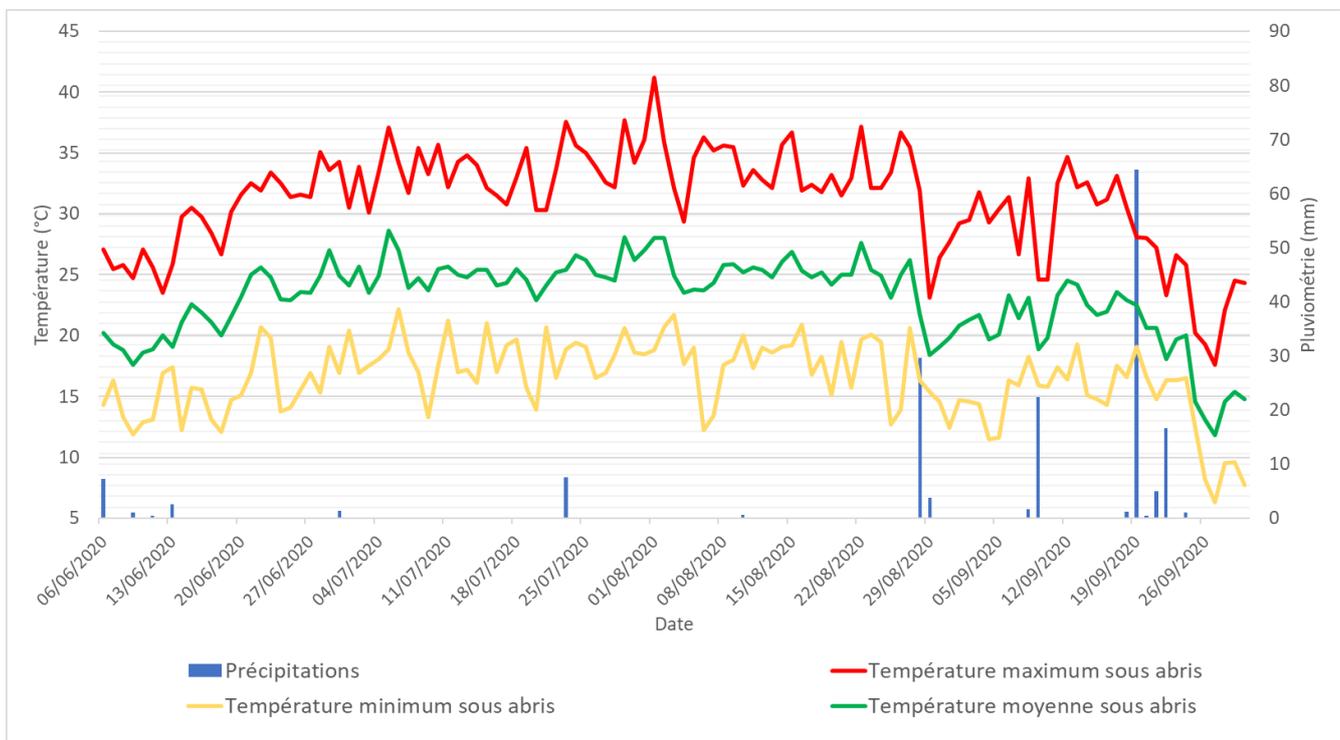


Figure 4 : Suivi climatique Celsius de la parcelle W4 du 06 juin 2020 au 29 septembre 2020

Suivi des températures de sol via les sondes Tinytag (positionnées le 16 juin 2020)

La température de sol est très homogène entre les différentes micro-parcelles (figure 5). Elle suit globalement la même évolution que la température sous abris, avec un point culminant sur les quinze premiers jours du mois d'août aux alentours de 28°C. De même, on constate une diminution de la température du sol en fin d'essai où elle atteint 18°C.

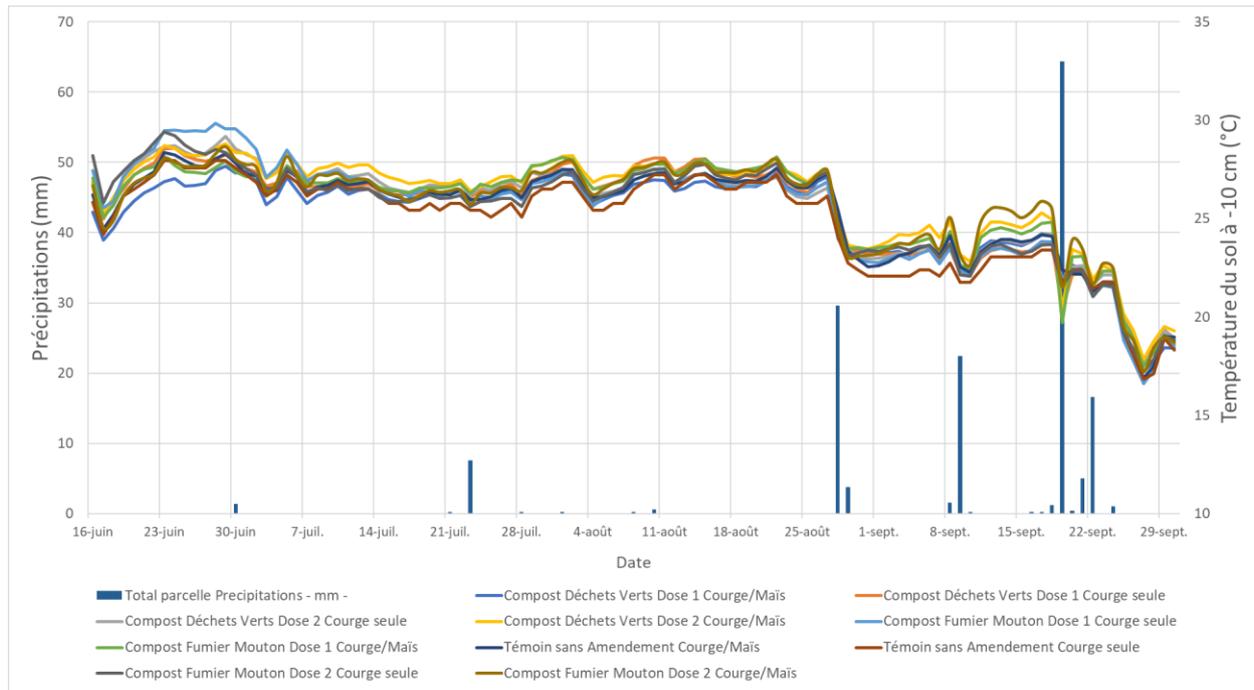


Figure 5 : Suivi des températures de sol par sondes Tinytag pour la parcelle W4 du 16 juin 2020 au 29 septembre 2020

b) Suivi de l'azote nitrique du sol

Au 12 mai 2020, la teneur initiale en azote est de 22.6 U d'après l'analyse du laboratoire Auréa (figure 6). Il s'en suit une hausse importante du taux d'azote pour les deux modalités, passant de 22.6 U d'azote à 140 U d'azote environ début juillet.

Une baisse de la teneur en azote nitrique est constatée entre le 03 juillet 2020 et le 28 juillet 2020, passant pour les parcelles de courge-maïs de 140 à 80 U et de 140 à 132 U pour les parcelles de courge uniquement. Cette phase est suivie d'une très légère hausse des teneurs en azote nitrique entre le 28 juillet 2020 et le 20 août 2020 pour les parcelles de courge + maïs (de 80 à 114 U).

Entre le 20 août 2020 et le 04 septembre 2020, on observe une hausse de la teneur en azote dans les parcelles de courge (de 105 U à 161 U) ainsi qu'une stagnation pour les parcelles de courge + maïs.

Lorsqu'on s'intéresse à la teneur du sol en azote nitrique pour les deux modalités d'association de culture confondues, on distingue quatre phases (figure 7).

Entre le 12 mai 2020 et le 03 juillet 2020, les teneurs en azote nitrique dans le sol augmentent. Le témoin est celui qui a l'augmentation la plus importante, passant de 22.6 à 217 U. Au contraire, la modalité de compost de fumier de mouton (15 t/ha) est celui qui augmente le moins, atteignant 86 U au 03 juillet 2020.

Lors de la deuxième phase, du 03 juillet 2020 au 28 juillet 2020, toutes les modalités voient leurs teneurs en azote nitrique diminuer, sauf le compost de fumier de mouton à 15 t/ha. Ce dernier continue son augmentation, atteignant 99 U à la fin de la période. En revanche, le compost de déchets verts (60 t/ha) est celui qui a les teneurs en azote nitrique les plus faibles, de 87 U au 28 juillet 2020.

Entre le 28 juillet 2020 et le 20 août 2020, la diminution se poursuit pour l'ensemble des modalités à l'exception du compost de déchets verts à 20 t/ha (de 93 à 96 U) et du fumier de mouton à 30 t/ha (de 121 à 169 U). Le compost de déchets verts (60 t/ha) est celui qui a la plus faible teneur en azote nitrique du sol au 20 août 2020 (72 U).

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

Enfin, entre le 20 août 2020 et le 04 septembre 2020, la tendance est à l'augmentation. La modalité témoin termine avec la plus forte teneur en azote nitrique dans le sol, de 228 U. La modalité de compost de fumier de mouton (30 t/ha) est la seule dont les teneurs en azote nitrique diminuent sur cette période, elles passent de 169 à 126 U.



Figure 6 : Evolution de la teneur en azote nitrique (kg/ha) du sol en fonction de la modalité d'association de cultures

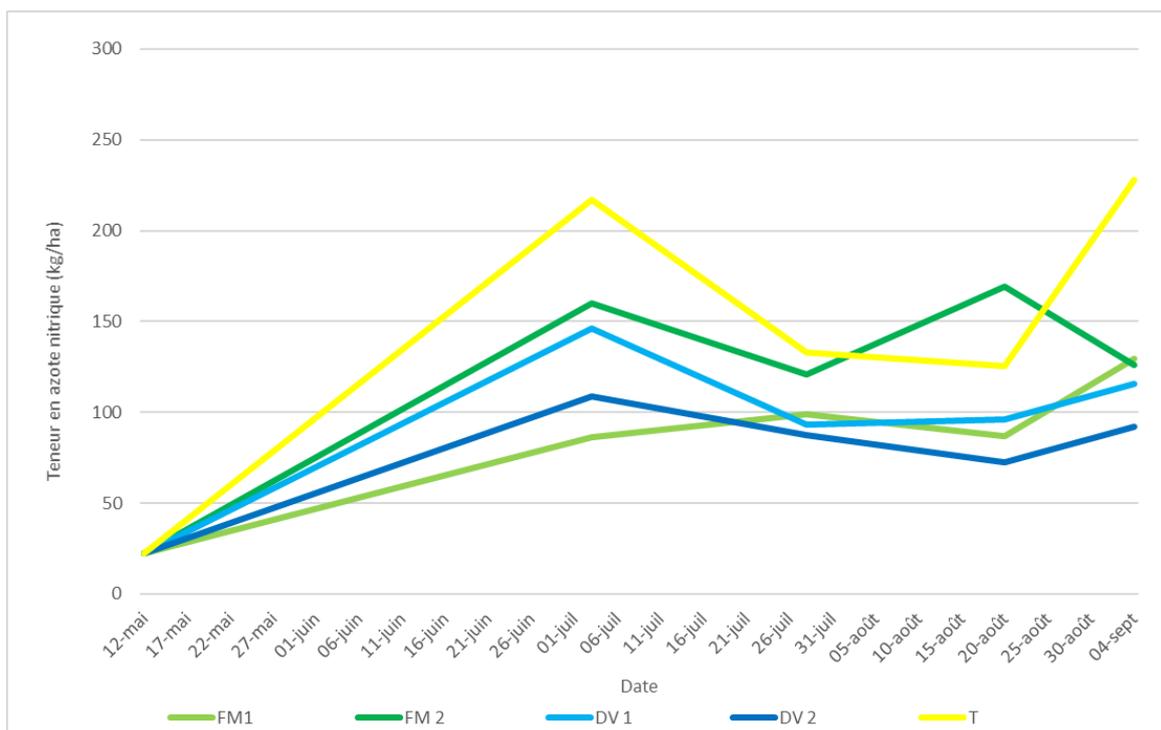


Figure 7 : Evolution de la teneur en azote nitrique (kg/ha) du sol en fonction de la modalité de fertilisation

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

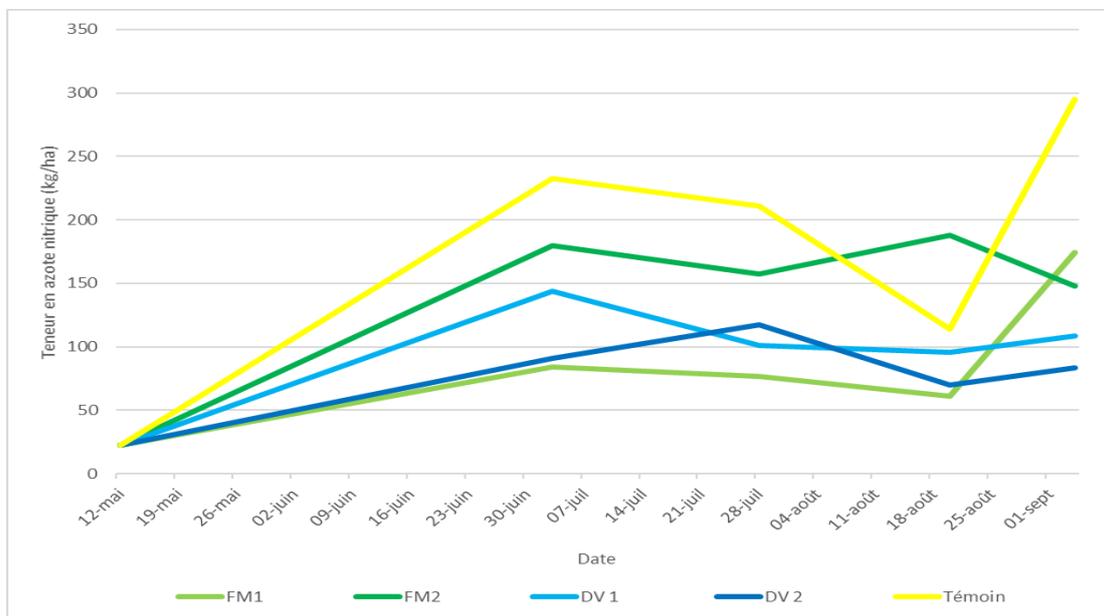


Figure 8 : Evolution de la teneur en azote nitrique (kg/ha) du sol dans les parcelles de courge seule

La tendance générale mesurée pour l'ensemble des modalités de fertilisation se retrouve lorsqu'on s'intéresse au détail (figure 8 et 9). Pour les parcelles de courge seule (figure 8) il y a une augmentation de la teneur en azote nitrique du sol entre le 12 mai 2020 et le 13 juillet 2020. La modalité témoin est celle qui a la plus forte augmentation (90 % d'azote nitrique en plus dans le sol) tandis que la modalité de compost fumier de mouton à 15 t/ha a la plus faible augmentation, avec 73 % seulement, très proche de celle du compost de déchets verts à 60 t/ha.

Entre le 03 et le 28 juillet, les modalités de fertilisation voient pour la plupart leur teneur en azote nitrique du sol diminuer. Le témoin reste supérieur aux autres avec une diminution de 232 à 211 U et la modalité de compost de fumier de mouton (15 t/ha) reste inférieure avec une baisse de 84 à 77 U. Cependant, ces diminutions ne sont pas significatives car elles s'inscrivent dans l'intervalle de précision de l'appareil Nitracheck®. En revanche, la modalité de compost de déchets verts (60 t/ha) est la seule à avoir une augmentation de sa teneur en azote nitrique sur cette période, de 91 à 118 U.

Entre le 28 juillet 2020 et le 20 août 2020 l'orientation des courbes est moins homogène : une baisse significative est notée pour le témoin (de 211 U à 114 U d'azote) et le compost de déchets verts (60 t/ha) (de 118 U à 70 U d'azote) tandis qu'une relative stagnation est remarquée pour les modalités compost de fumier de mouton (15 t/ha) et compost de déchets verts (20 t/ha). Une augmentation de la teneur en azote nitrique est observée pour la modalité compost de fumier de mouton (30 t/ha), de 157 U à 188 U.

Enfin, entre le 20 août 2020 et le 4 septembre 2020 les valeurs tendent à augmenter, de façon significative pour les modalités témoin (de 114 à 295 U) et compost de fumier de mouton à 15 t/ha (de 61 à 174 U). La teneur en azote de la modalité compost de fumier de mouton à 30 t/ha diminue, de 188 U à 148 U d'azote nitrique.

La tendance générale observée toutes modalités de fertilisation confondues se retrouve également pour les parcelles en association de culture (figure 9).

Entre le 12 mai 2020 et le 03 juillet 2020, une augmentation de la teneur en azote nitrique est observée pour l'ensemble des modalités. Le témoin est le plus élevé, passant de 22,6 à 201 U. La modalité de compost de fumier de mouton (15 t/ha) est la plus faible, avec une augmentation de 22,6 à 88 U.

Entre le 03 juillet 2020 et le 28 juillet 2020, seule la modalité de compost de fumier de mouton à 15 t/ha continue d'augmenter jusqu'à atteindre 121 U. Les autres modalités voient leur teneur en azote nitrique du sol diminuer. Le témoin a la plus forte baisse, de 200 à 55 U.

Entre le 28 juillet 2020 et le 20 août 2020, il y a de nouveau une phase d'augmentation de la teneur en azote nitrique, sauf pour la modalité compost de fumier de mouton (15 t/ha) qui diminue légèrement. Parmi les autres, la modalité compost de fumier de mouton à 30 t/ha se distingue, passant de 85 à 151 U. Le compost de déchets verts (60 t/ha) est celui qui a la teneur en azote nitrique la plus faible, avec 75 U à la fin de cette période.

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

Enfin, la dernière phase du 20 août 2020 au 04 septembre 2020 est plus variable selon les modalités. Les deux doses de compost de fumier de mouton voient leurs teneurs en azote nitrique diminuer tandis qu'elles augmentent pour les deux doses de compost de déchets verts, de même que le témoin. Ce dernier est le plus élevé, atteignant 161 U en fin de culture.

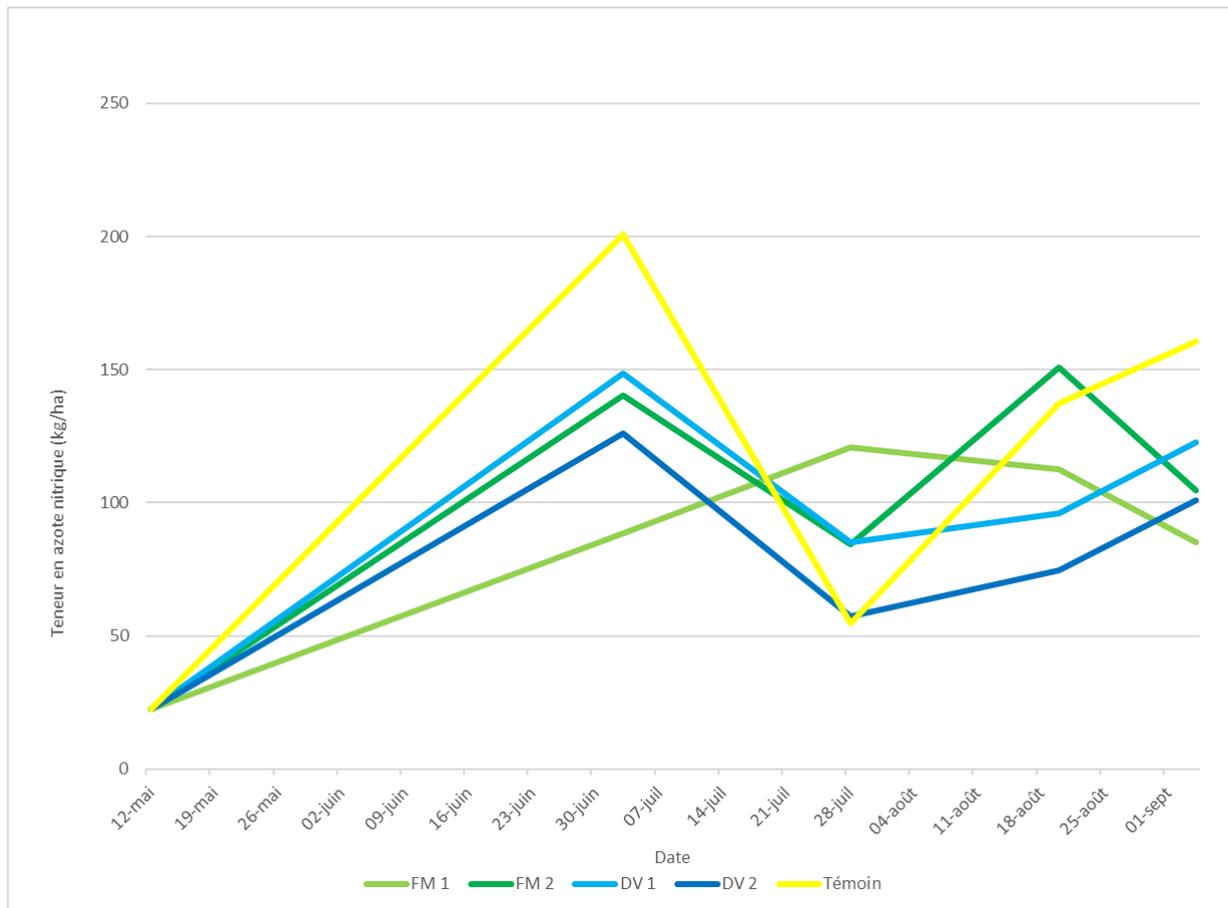


Figure 9 : Evolution de la teneur en azote nitrique (kg/ha) du sol dans les parcelles courge + maïs

L'augmentation de l'azote nitrique du sol constatée entre mai et début juillet 2020 correspond à la minéralisation de l'azote apporté grâce aux différents composts et engrais. Les besoins en azote de la courge butternut (120 U) sont plus ou moins satisfaits selon les modalités.

Entre le début et la fin du mois de juillet 2020, la quantité d'azote nitrique du sol diminue : l'azote minéralisé précédemment est maintenant consommé pour le développement de la culture. La plus forte diminution observée en association de culture s'explique par la présence du maïs, qui consomme également de l'azote afin d'assurer son développement.

Les pluies du 28 août 2020 ont apporté de l'humidité, qui a peut-être permis d'augmenter la minéralisation de l'azote en parcelles de courge seule en fin d'essai bien que les températures aient diminué. Cependant, cela n'explique pas pourquoi la teneur en azote nitrique n'a pas augmenté également sur les parcelles en association de culture. A moins que le couvert végétal plus abondant sur ces parcelles n'ait empêché une partie de l'eau de ruisseler jusqu'au sol.

Globalement, il est très étrange d'observer une augmentation de la teneur en azote nitrique dans le sol en fin d'essai. Cependant, lorsqu'on s'intéresse à la quantité d'azote issue de différentes sources (destruction de l'engrais vert, minéralisation du sol, teneur en nitrate du sol, apports de compost et d'engrais) on constate qu'ils s'élèvent à 150 kg/ha au total, soit 30 kg/ha en trop par rapport aux besoins de la culture. L'augmentation de la

teneur en azote nitrique en fin d'essai pourrait provenir de la minéralisation de l'azote, qui est longue notamment pour la destruction de l'engrais vert et pour les apports de matières organiques. L'azote n'est pas entièrement consommé par la culture et s'accumule dans le sol. Les pluies de la fin du mois d'août ont sûrement contribué à accélérer et faciliter ce phénomène.

La modalité compost de déchets verts à 60 t/ha présente toujours un azote nitrique du sol plus faible. Cette dose est la plus élevée étudiée pour ce compost : peut-être que cet apport massif a entraîné une saturation des micro-organismes du sol qui n'ont pas pu minéraliser correctement l'ensemble du compost, entraînant une plus faible concentration en azote nitrique.

Pour l'ensemble des deux modalités d'association de culture, le compost de fumier de mouton (15 t/ha) semble avoir une teneur en azote nitrique du sol plus stable que les autres modalités qui fluctuent davantage.

c) Suivi de l'azote nitrique pétiolaire

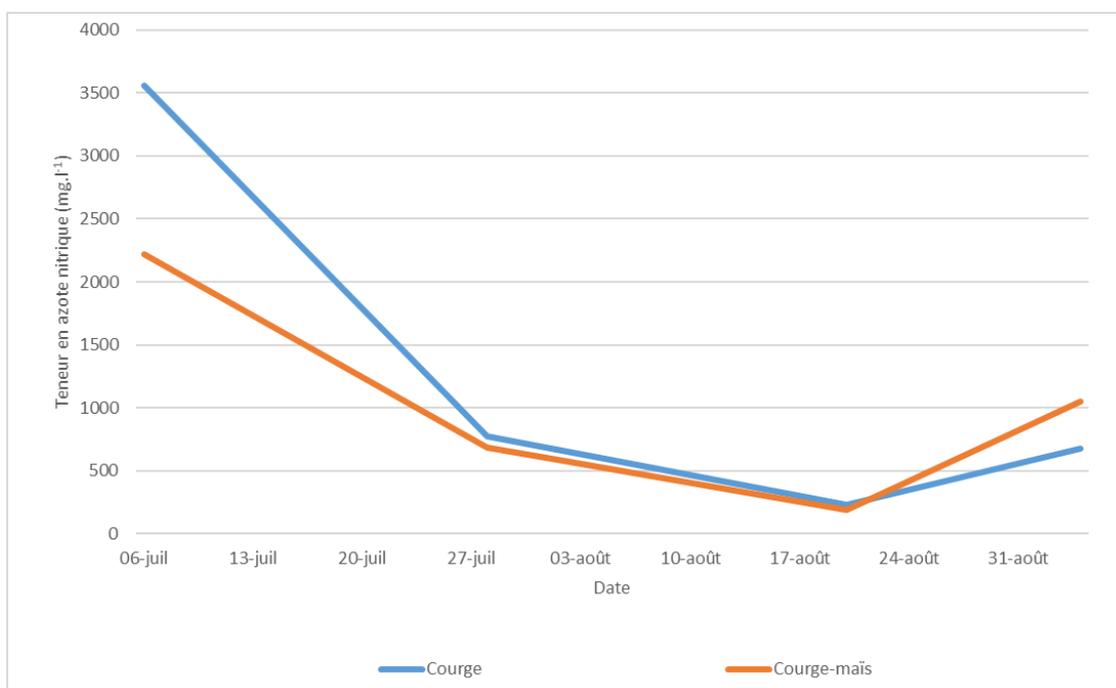


Figure 10 : Evolution de la teneur en azote nitrique (mg.l⁻¹) des pétioles de courge en fonction de la modalité d'association de culture

L'évolution de la teneur en azote nitrique dans les pétioles se découpe en trois phases (figure 10).

Entre le 06 juillet 2020 et le 28 juillet 2020, la teneur en azote nitrique dans les pétioles diminue. Ces teneurs passent de 3563 mg.l⁻¹ à 775 mg.l⁻¹ pour la courge seule et de 2221 à 685 mg.l⁻¹ pour l'association de cultures.

Entre le 28 juillet 2020 et le 20 août 2020, la diminution des teneurs en azote nitrique continue pour les deux modalités. Elles atteignent environ 200 mg.l⁻¹ à la fin de cette période.

Enfin, entre le 20 août 2020 et le 04 septembre 2020, il y a une phase d'augmentation des teneurs en azote nitrique dans les pétioles de courge. La modalité d'association de culture passe de 190 à 1053 mg.l⁻¹ tandis que la modalité de courge seule augmente de 228 à 681 mg.l⁻¹.

Lorsqu'on regarde les teneurs en azote nitrique des pétioles de courge toutes modalités d'association de culture confondues, on distingue trois phases (figure 11).

Du 06 juillet 2020 au 28 juillet 2020, les teneurs diminuent. La modalité compost de fumier de mouton (15 t/ha) est celle qui avait la plus forte teneur en azote nitrique pétiolaire le 06 juillet 2020 (3453 mg.l⁻¹).

Du 28 juillet 2020 au 20 août 2020, les teneurs continuent à diminuer mais moins fortement que pendant la première phase.

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

Enfin, du 20 août 2020 au 04 septembre 2020 les teneurs en azote nitrique des pétioles de courge augmentent. A la fin de l'essai la modalité de compost de fumier de mouton (15 t/ha) est la moins élevée avec 660 mg.l⁻¹.

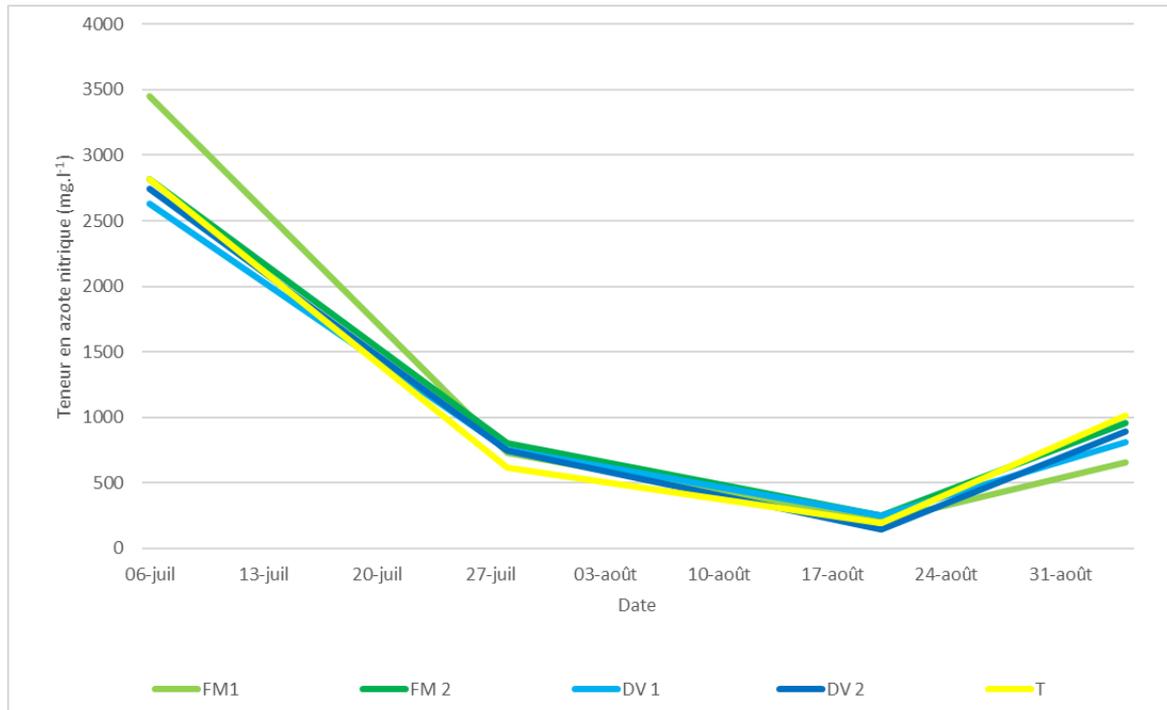


Figure 11 : Evolution de la teneur en azote nitrique (mg.l⁻¹) des pétioles de courge en fonction de la modalité de fertilisation

Lorsqu'on s'intéresse aux différentes modalités de fertilisation sur une parcelle de courge seule (figure 12), on constate que la dynamique d'évolution de la teneur en azote nitrique dans les pétioles est globalement la même que pour toutes modalités de fertilisation confondues.

Entre le 06 juillet 2020 et le 28 juillet 2020, il y a une forte diminution de la teneur en azote nitrique pétiolaire pour l'ensemble des modalités. Le compost de fumier de mouton à 15 t/ha est la plus élevée avec 4790 mg.l⁻¹ au départ et 800 mg.l⁻¹ à la fin de la période. Au contraire, la modalité témoin est la plus faible, avec 2810 mg.l⁻¹ au début et 590 mg.l⁻¹ à la fin.

Entre le 28 juillet 2020 et le 20 août 2020, la diminution continue mais plus faiblement. La modalité de compost de déchets verts à 20 t/ha est la plus élevée avec une baisse de 890 à 305 mg.l⁻¹. Au contraire, la modalité témoin a les plus faibles teneurs en azote nitrique pétiolaire avec une diminution de 590 à 205 mg.l⁻¹.

Enfin, entre le 20 août 2020 et le 04 septembre 2020 il y a une augmentation des teneurs en azote nitrique dans les pétioles des courges pour l'ensemble des modalités. En fin d'essai la modalité témoin est la plus élevée avec 745 mg.l⁻¹, suivie de peu du compost de fumier de mouton (30 t/ha) avec 740 mg.l⁻¹.

L'évolution des teneurs en azote nitrique pétiolaire est la même lorsqu'on s'intéresse à la modalité d'association de culture (figure 13) même si on distingue plutôt deux phases au lieu de trois.

Entre le 06 juillet 2020 et le 20 août 2020, il y a une forte diminution des teneurs en azote, quelle que soit la modalité de fertilisation. La modalité témoin est la plus élevée au départ, elle avait 2825 mg.l⁻¹ d'azote ; elle arrive à 185 mg.l⁻¹ à la fin de la période. Au contraire, la modalité de compost de déchets verts (20 t/ha) était au départ la plus faible (1980 mg.l⁻¹), elle atteint 190 mg.l⁻¹ à la fin. Au 20 août 2020, la modalité la plus faible est le compost de déchets verts à 60 t/ha, avec 90 mg.l⁻¹ d'azote nitrique pétiolaire.

Du 20 août 2020 au 04 septembre 2020, il y a une phase d'augmentation des teneurs en azote nitrique des pétioles des courges. A la fin de l'essai, la modalité témoin est de nouveau la plus élevée avec 1285 mg.l⁻¹. La modalité la plus faible est le compost de fumier de mouton (15 t/ha) à 690 mg.l⁻¹.

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

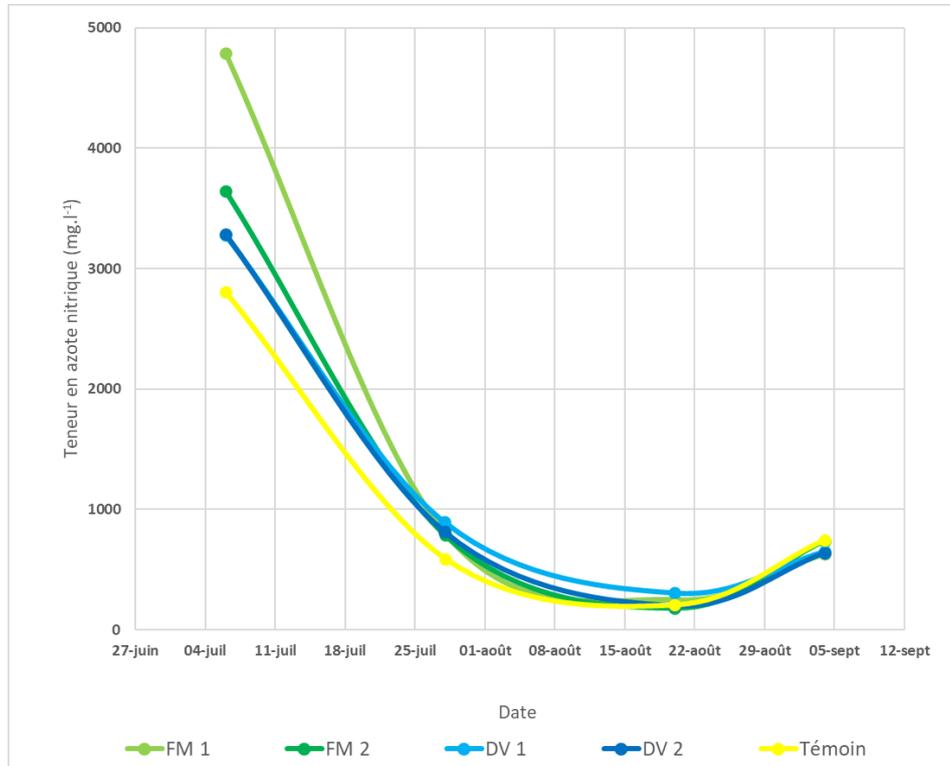


Figure 12 : Evolution de la teneur en azote nitrique (mg.l^{-1}) des pétiotes de courge dans les parcelles de courge seule

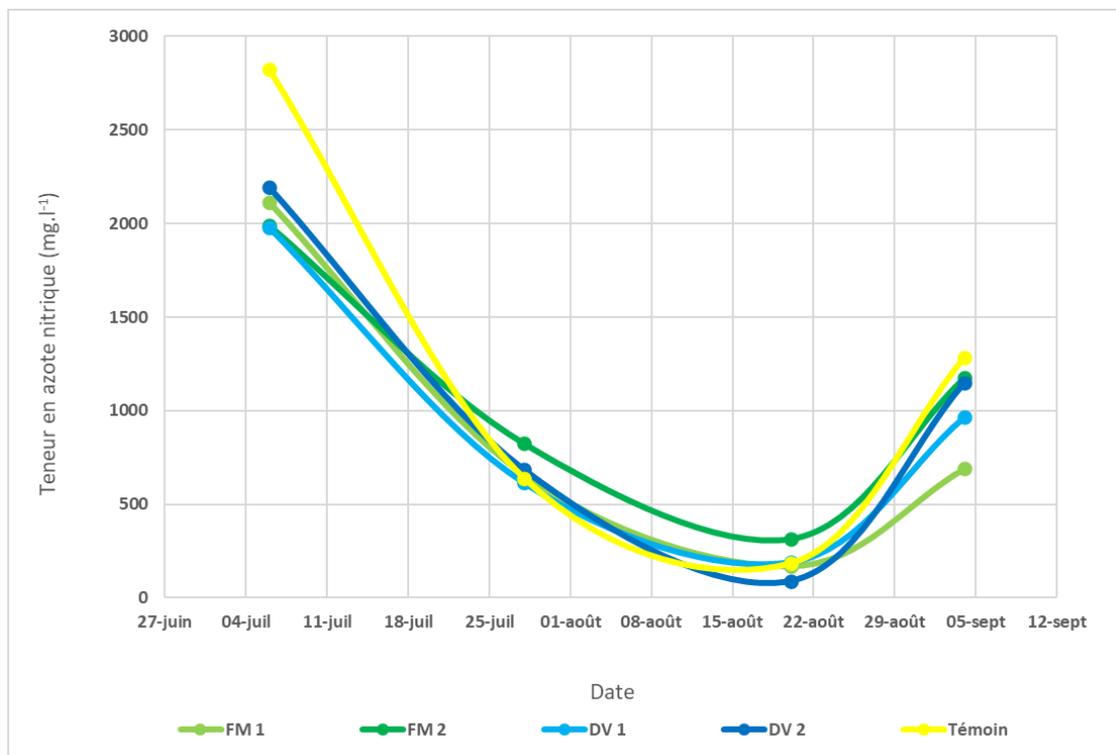


Figure 13 : Evolution de la teneur en azote (mg.l^{-1}) des pétiotes de courge dans les parcelles courge + maïs

Sur les différentes modalités d'association de culture, la diminution de l'azote nitrique pétiolaire observée au mois de juillet peut s'expliquer par une plus faible concentration en azote dans les plants au fil de leur développement. En effet, leur croissance est moins importante et ils consomment moins d'azote que de jeunes plants. Chez les plants plus vieux, l'azote est relocalisé dans d'autres parties de l'organisme. L'écart observé entre les deux modalités peut s'expliquer par la concurrence réalisée par le maïs, qui consomme une partie de l'azote disponible dans le sol au détriment de la courge. Les mesures commencent début juillet mais la culture est déjà en place depuis un mois et des différences ont eu le temps de se creuser entre les modalités.

L'augmentation de l'azote nitrique pétiolaire observée en fin de culture pourrait être expliquée grâce aux pluies de la fin du mois d'août qui pourraient avoir permis une minéralisation plus importante et une meilleure absorption par les courges. De plus, le maïs ayant été récolté le 26 août 2020, l'augmentation plus forte sur les modalités d'association de culture peut provenir de l'absence soudaine de concurrence vis-à-vis de la nutrition.

d) Suivi phytosanitaire

Fréquence des attaques d'oïdium

Les deux modalités d'association de culture sont globalement atteintes de la même manière par l'oïdium (à 66,7 % des plants pour la modalité courge + maïs et à 62,9 % des plants pour la courge seule ; figure 14).

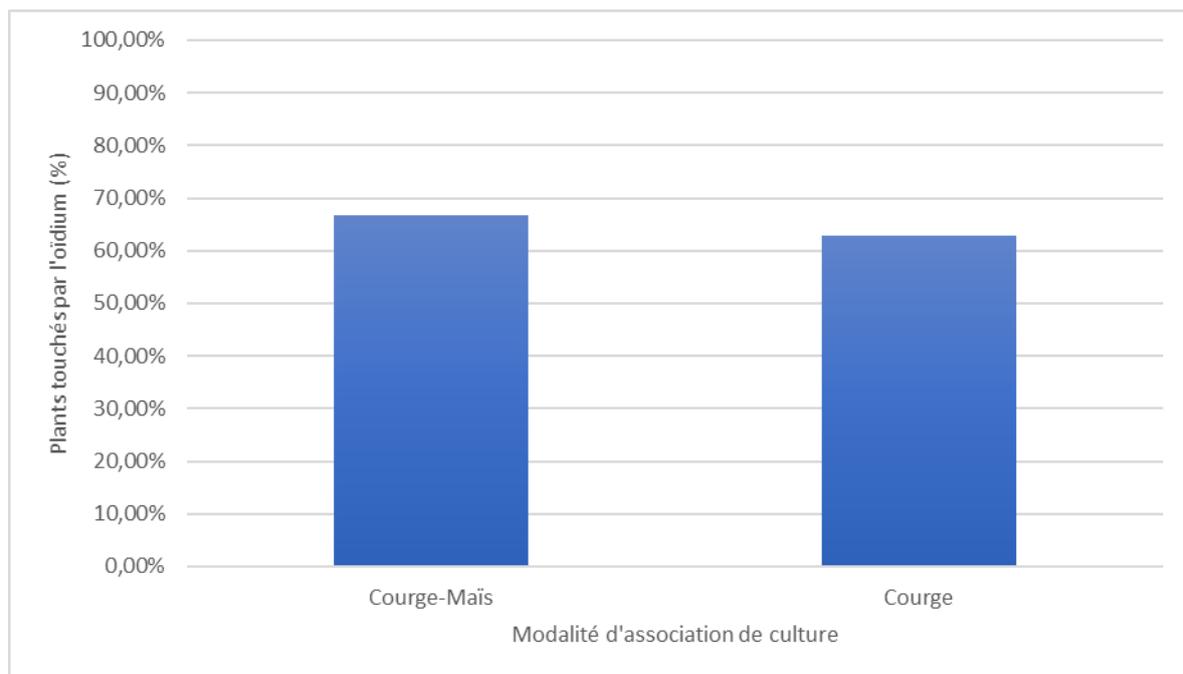


Figure 14 : Présence d'oïdium sur les plants de courge en fonction de la modalité d'association de culture (%)

Lorsqu'on s'intéresse au nombre de plants touchés par l'oïdium en fonction des modalités de fertilisation (figure 15), on s'aperçoit qu'il y a de très faibles différences. Les plants touchés varient de 62.5 % (compost de fumier de mouton à 15 t/ha) à 66.7 % (témoin).

Enfin, lorsqu'on regarde les attaques d'oïdium sur l'ensemble des modalités (figure 16) c'est l'association de culture fertilisée de manière classique (témoin) qui est la plus attaquée, avec 70.8 % de plants touchés. Au contraire, la modalité courge seule associée au compost de fumier de mouton (15 t/ha) est la moins touchée avec 58.3 % des plants malades. C'est cohérent avec nos observations précédentes.

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

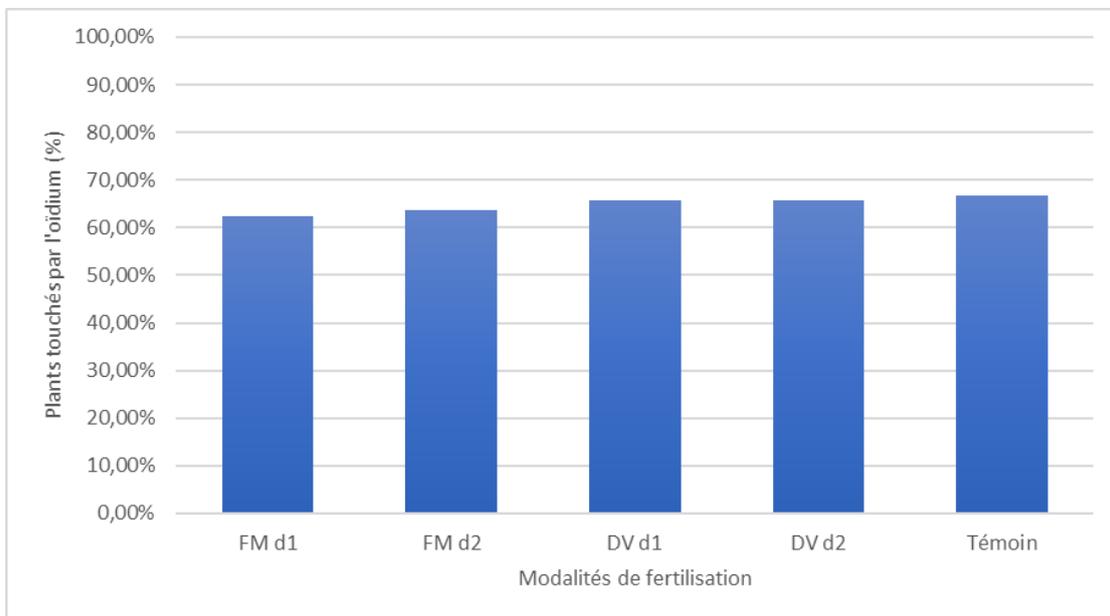


Figure 15 : Présence d'oidium sur les plants de courge en fonction de la modalité de fertilisation (%)

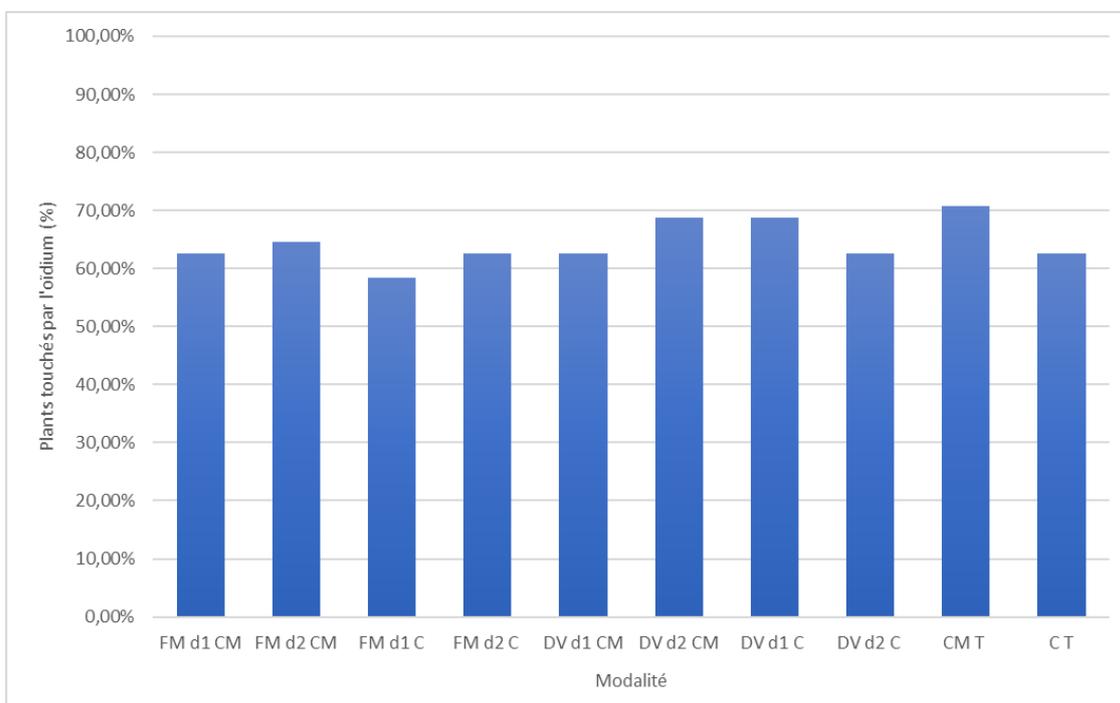


Figure 16 : Présence d'oidium sur les plants de courge en fonction de la modalité d'association de culture et de fertilisation (%)

Intensité des attaques d'oïdium

L'intensité des attaques d'oïdium augmente tout au long de la culture (figure 17). Elle débute respectivement à 1.2 et 1.3 en moyenne pour les modalités courge seule et courge + maïs en juin. En juillet, l'intensité d'attaque est égale à 1.5 pour les deux modalités d'association de culture. Enfin, en août, l'intensité augmente largement pour la modalité d'association de culture, atteignant 2 tandis qu'elle stagne pour la courge seule.

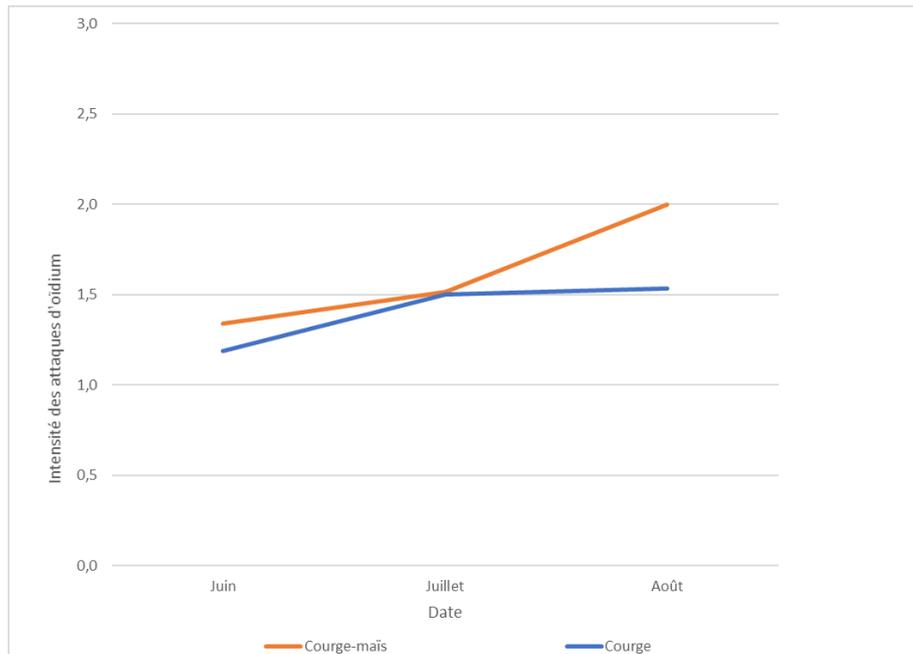


Figure 17 : Intensité des attaques d'oïdium sur les plants de courge en fonction de la date d'observation

L'intensité des attaques d'oïdium est assez homogène entre les mois de juin et juillet si on regarde les modalités de fertilisation (figure 18). Globalement, l'ensemble des modalités voit l'intensité des attaques d'oïdium augmenter tout au long de l'essai, même si en deuxième partie l'évolution est moins marquée pour certaines modalités.

La modalité compost de déchets verts (60 t/ha) est la moins touchée en juin avec une intensité de 1.1. Sur la deuxième période, de juillet à août, cette même modalité reste la moins touchée avec une intensité de 1.5 en fin d'essai. Au contraire, la modalité de compost de fumier de mouton à 15 t/ha se distingue avec l'intensité la plus forte (2.2) en août. Elle est suivie de la modalité témoin.

Entre les mois de juin et juillet, l'intensité des attaques augmente pour l'ensemble des modalités de fertilisation en courge seule (figure 19). La plus touchée est la modalité de compost de déchets verts (20 t/ha) qui a une intensité d'attaque de 1.6 en juillet.

Entre juillet et août, l'intensité des attaques augmente pour le compost de fumier de mouton (15 t/ha) qui passe de 1.5 à 2.7, pour le compost de déchets verts (20 t/ha) et pour le témoin. En revanche, les deux autres modalités ont une diminution ou une stagnation de l'intensité des attaques, notamment le compost de déchets verts à 60 t/ha (il passe de 1.5 à 1.2).

Pour la modalité en association de culture, la première période de juin à juillet s'est caractérisée par une augmentation globale de l'intensité des attaques d'oïdium (figure 20). La stratégie de fertilisation la plus impactée est le compost de déchets verts (20 t/ha) qui présentait des intensités d'attaques de 1.4 en juin puis 1.7 en juillet.

Entre juillet et août, l'intensité des attaques continue à augmenter bien que l'évolution soit moins nette. En fin d'essai, la modalité de compost de fumier de mouton à 15 t/ha est la plus marquée avec une intensité d'attaque de 2.7. Le compost de déchets verts (20 t/ha) se maintient à 1.7, rejoint par le compost de fumier de mouton à 30 t/ha.

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

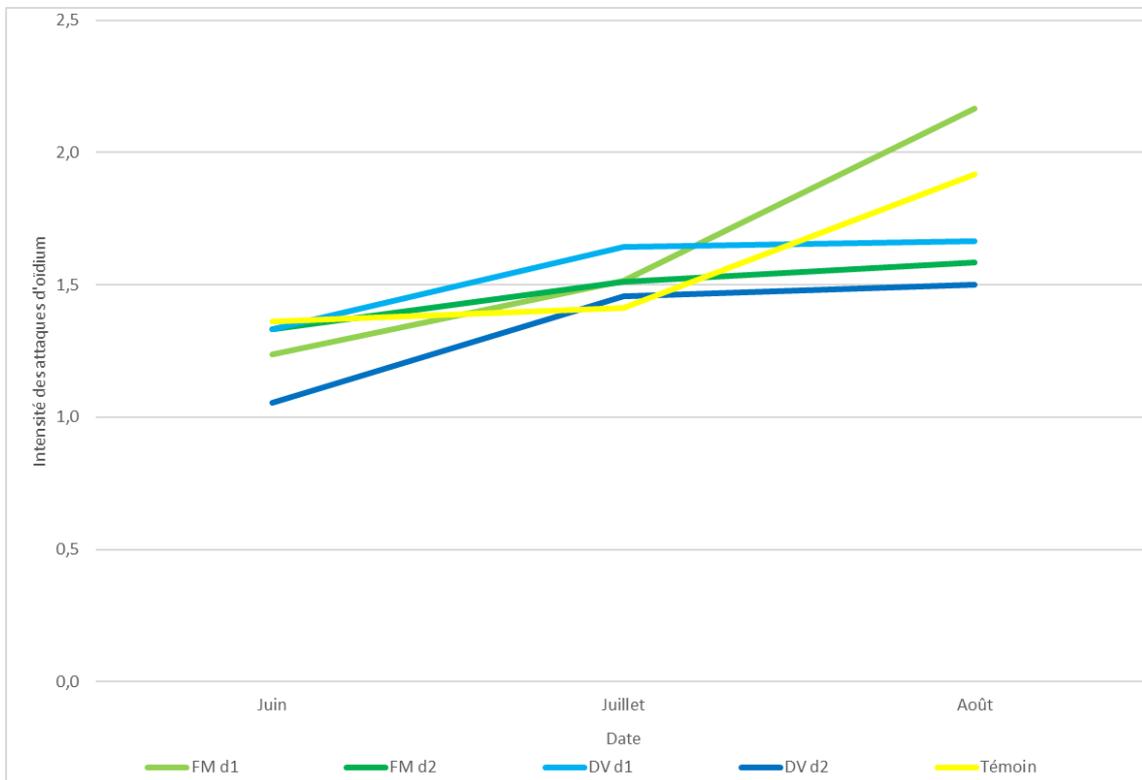


Figure 18 : Intensité des attaques d'oïdium sur les plants de courge en fonction de la date d'observation pour les modalités de fertilisation

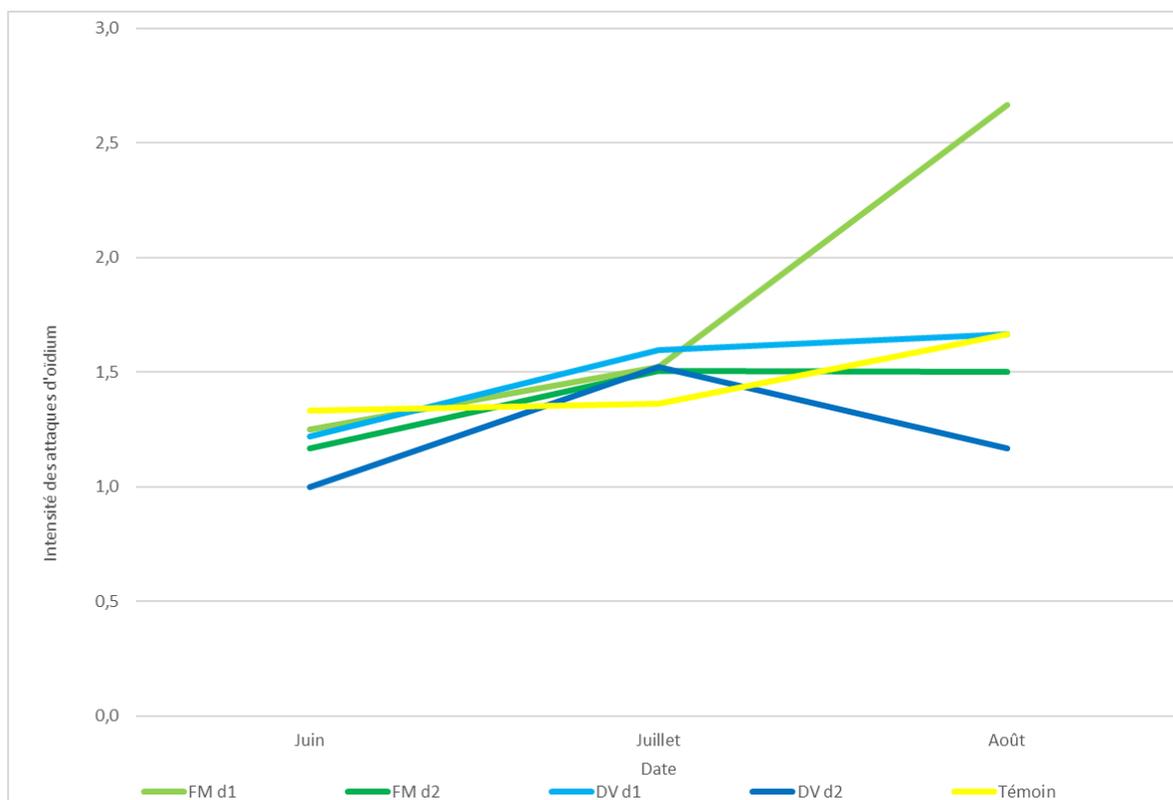


Figure 19 : Intensité des attaques d'oïdium sur les plants de courge en fonction de la date d'observation pour les modalités de fertilisation en parcelle de courge seule

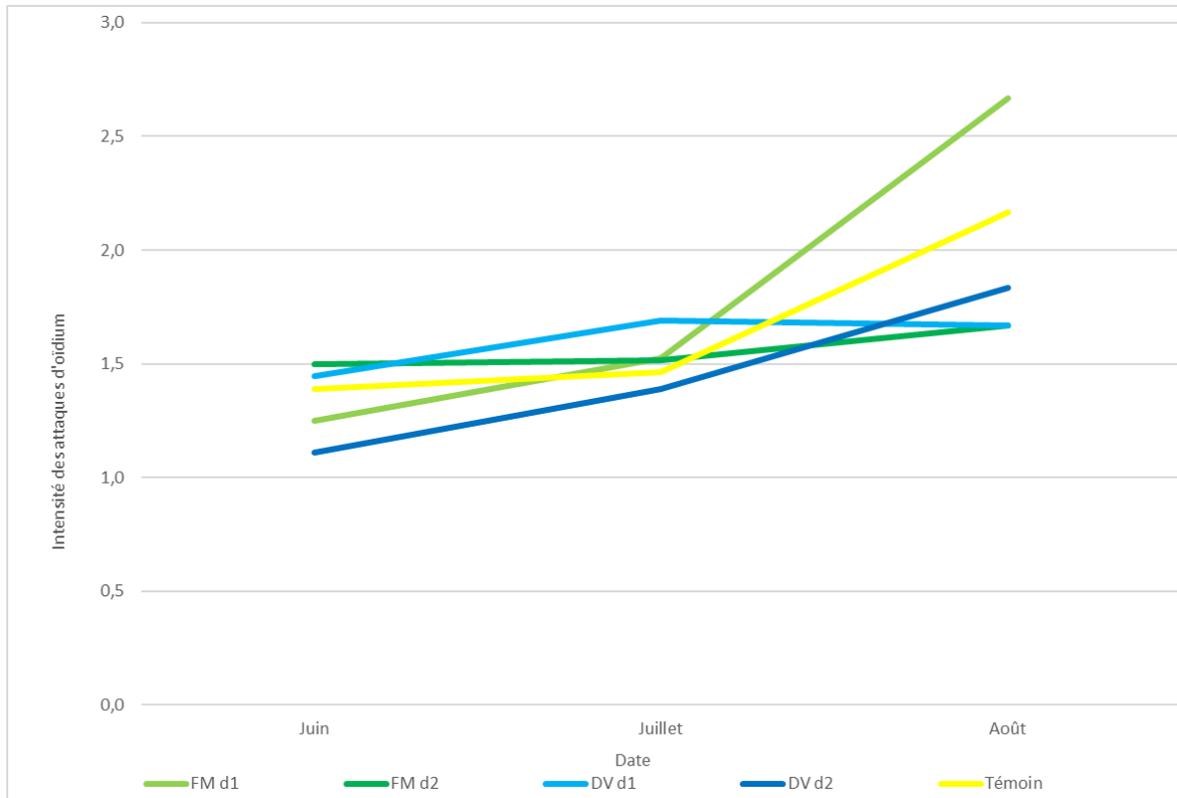


Figure 20 : Intensité des attaques d'oïdium sur les plants de courge en fonction de la date d'observation pour les modalités de fertilisation en parcelle de courge + maïs

Le taux d'humidité dans l'association de culture pouvant être plus élevé en raison de l'abondance de matériel végétal, cela pourrait expliquer l'impact légèrement plus marqué de l'oïdium sur la modalité d'association de culture.

Les écarts observés entre les modalités de fertilisation, bien que faibles, pourraient s'expliquer par la modification des communautés microbiennes du sol grâce aux apports de matières organiques, assurant une meilleure résistance aux plants de courge. Seul le compost de fumier de mouton (15 t/ha) semble davantage favoriser l'oïdium que le témoin.

e) Rendements de l'association de cultures

Rendement de la culture de courge butternut

Le rendement total (fruits verts et fruits mûrs) de la culture de courge est le plus élevé pour la modalité fumier de mouton (30 t/ha) avec la courge seule (figure 21). Il atteint 37,7 t/ha. Au contraire, il est le plus faible pour la modalité fumier de mouton à 15 t/ha associé à la courge et au maïs.

Lorsqu'on s'intéresse aux écarts de productivité en fonction de la modalité d'association de culture (figure 22), les résultats sont significativement différents les uns des autres. Ainsi, la productivité est significativement plus élevée pour les parcelles de courge seule que pour les parcelles d'association de cultures.

Les différences ne sont pas significatives lorsqu'on s'intéresse au rendement en fonction de la modalité de fertilisation (figure 23). Cependant, on peut noter que le compost de fumier de mouton à 30 t/ha semble avoir tendance à produire le rendement le plus élevé. Au contraire, le compost de fumier de mouton (15 t/ha) semble avoir tendance à produire le rendement le plus faible.

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

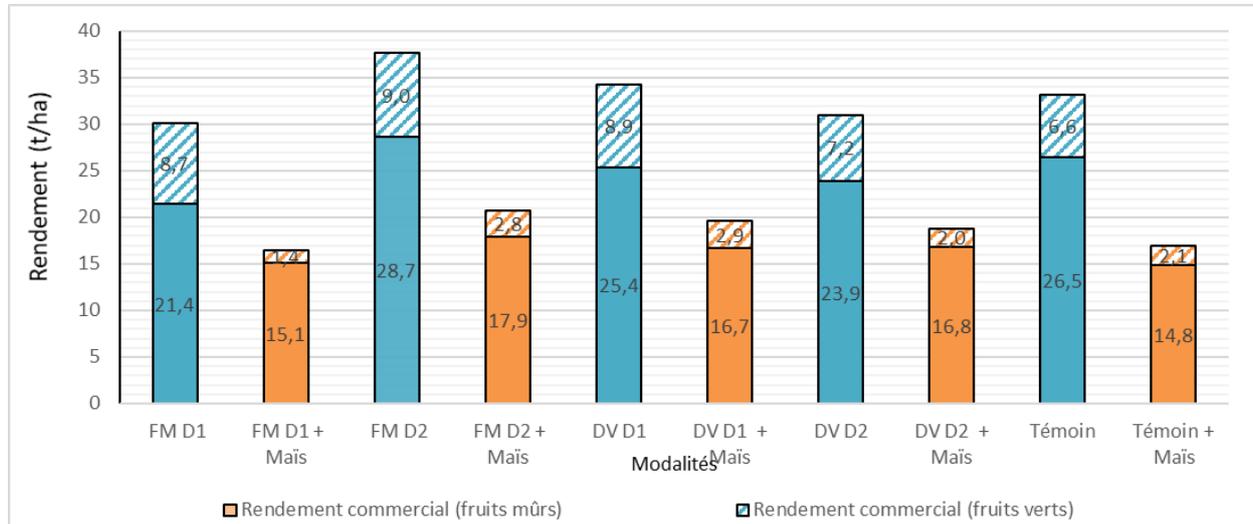


Figure 21 : Rendement (t/ha) des fruits mûrs et des fruits verts de courge butternut pour l'ensemble des modalités

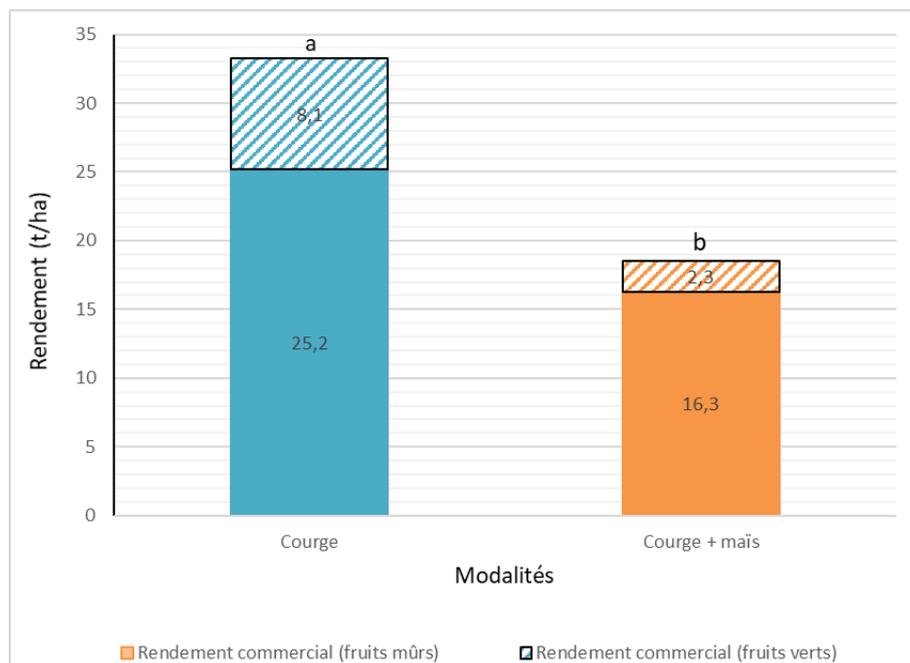


Figure 22 : Rendement (t/ha) des fruits mûrs et des fruits verts de courge butternut pour les modalités d'association de culture. Les groupes sont significativement différents au seuil de 5 %.

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

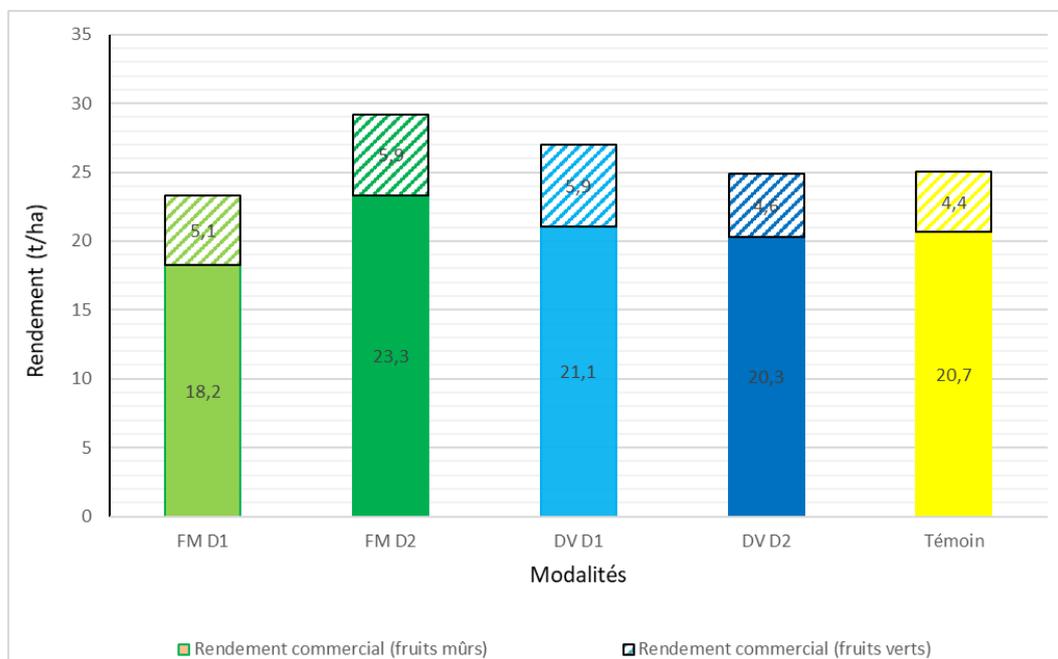


Figure 23 : Rendement (t/ha) des fruits mûrs et des fruits verts de courge butternut pour les modalités de fertilisation. Les différences ne sont pas significatives

Le nombre de fruits produits par mètre carré semble supérieur pour les modalités de courge seule (figure 24). Les modalités de compost de fumier de mouton (30 t/ha) et de déchets verts (20 t/ha) sont égales avec 3.1 fruits/m² (fruits mûrs et fruits verts). En revanche, la modalité compost de fumier de mouton à 15 t/ha en association de culture produit le nombre de fruits le plus faible (1.4 fruits/m², fruits mûrs et verts confondus). Il y a globalement peu de déchets dans l'essai, ils sont légèrement plus nombreux pour les modalités compost de fumier de mouton (15 t/ha) et témoin en culture de courge seule.

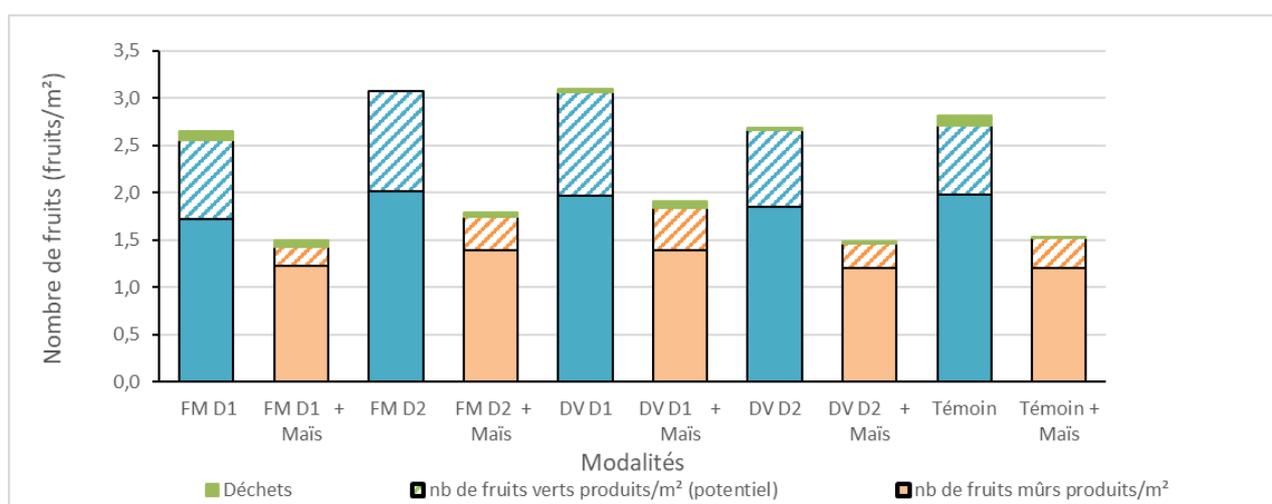


Figure 24 : Nombre de fruits produits (fruits/m²) mûrs et verts et les déchets pour l'ensemble des modalités.

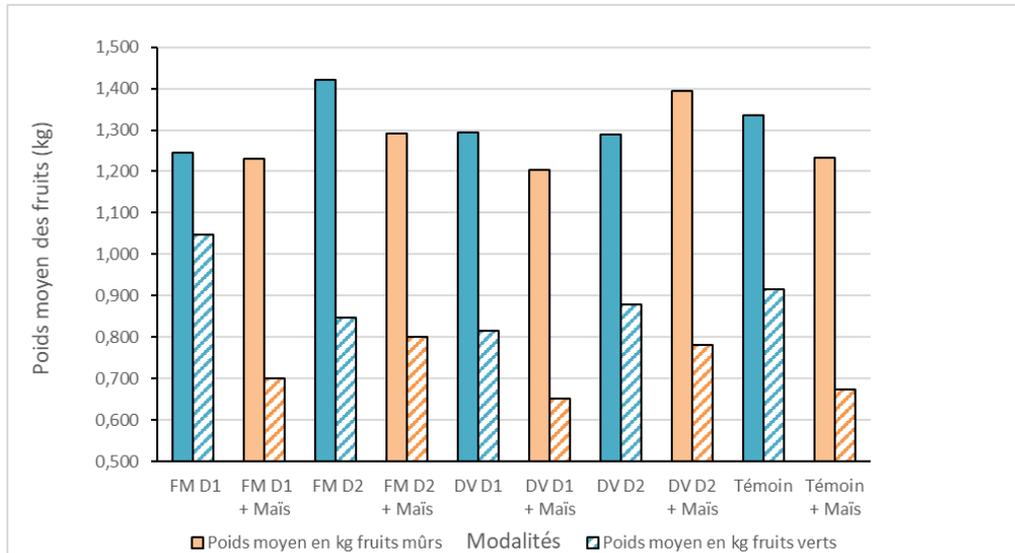


Figure 25 : Poids moyen des fruits (kg) mûrs et verts et les déchets pour l'ensemble des modalités.

Le poids des fruits est assez variable selon les modalités (figure 25). En ce qui concerne la courge seule et les fruits mûrs, la modalité de compost de fumier de mouton à 30 t/ha semble produire les fruits les plus gros, avec un poids moyen de 1.42 kg par fruit. Au contraire, la modalité de compost de fumier de mouton (15 t/ha) produit les fruits les plus petits (1.25 kg par fruit en moyenne).

Le poids moyen des fruits en association de culture est le plus élevé pour la modalité de compost de déchets verts à 60 t/ha avec 1.40 kg par fruit en moyenne. En revanche, le poids des fruits de la modalité compost de déchets verts à 20 t/ha est le plus faible (1.20 kg par fruit en moyenne).

Le poids moyen des fruits récoltés à maturité est de 1.32 kg pour la courge seule tandis qu'il est de 1.27 kg pour la modalité en association de cultures.

Lorsqu'on regarde les différents paramètres du rendement des courges, il y a une nette différence de productivité entre les modalités d'association de culture. Cet écart marqué peut être expliqué par la concurrence entre les cultures de courge et de maïs qui se gênent pour l'absorption de l'eau et des nutriments. En effet, les lignes cultivées sont proches et les racines doivent probablement être en contact dans le sol. Il pourrait également y avoir un effet d'ombrage provoqué par le maïs sur les rangs de courge du fait du positionnement à l'Est et à l'Ouest des rangs de maïs. Les plants pourraient donc avoir manqué de lumière et leur croissance et leur productivité en auraient été affectées. L'ensemble des paramètres d'évaluation du rendement sont impactés, bien que le poids moyen des fruits soit le moins sensible à cette concurrence.

Le rendement attendu en courge butternut biologique est de 15 à 20 t/ha. Nos rendements sont donc tout à fait satisfaisants, même pour la modalité d'association de culture qui est plus faible que la courge seule.

Rendement de la culture de maïs doux

Le rendement en maïs doux semble être le plus élevé pour la modalité de compost de fumier de mouton à 15 t/ha pour lequel il atteint 1.5 t/ha (figure 26). En revanche, il semble être le plus faible pour le compost de fumier de mouton (30 t/ha) qui est seulement de 1.11 t/ha.

Il y a une part assez importante de déchets, elle est la plus élevée pour la modalité témoin et la plus faible pour le compost de fumier de mouton à 30 t/ha.

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

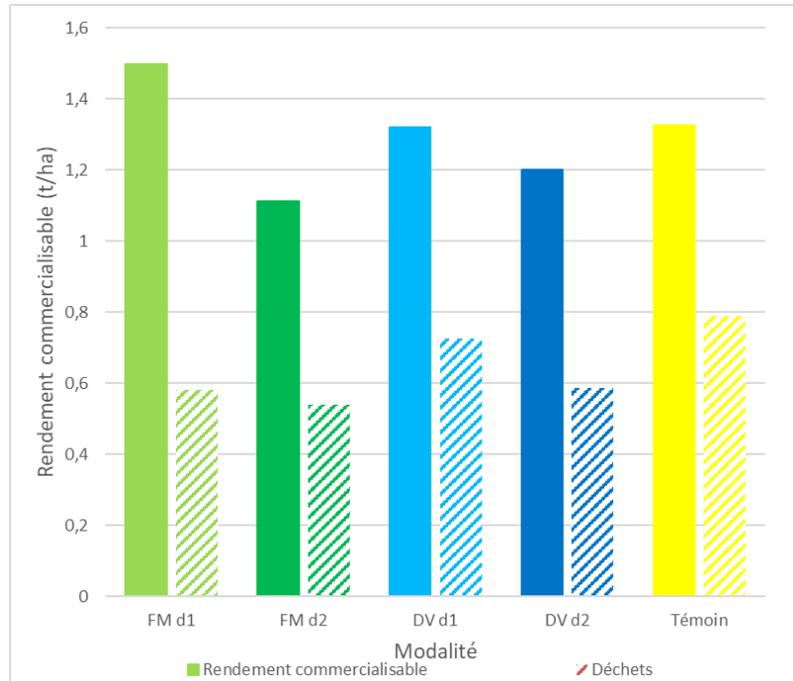


Figure 26 : Rendement commercialisable et déchets (t/ha) des épis de maïs selon les modalités de fertilisation.

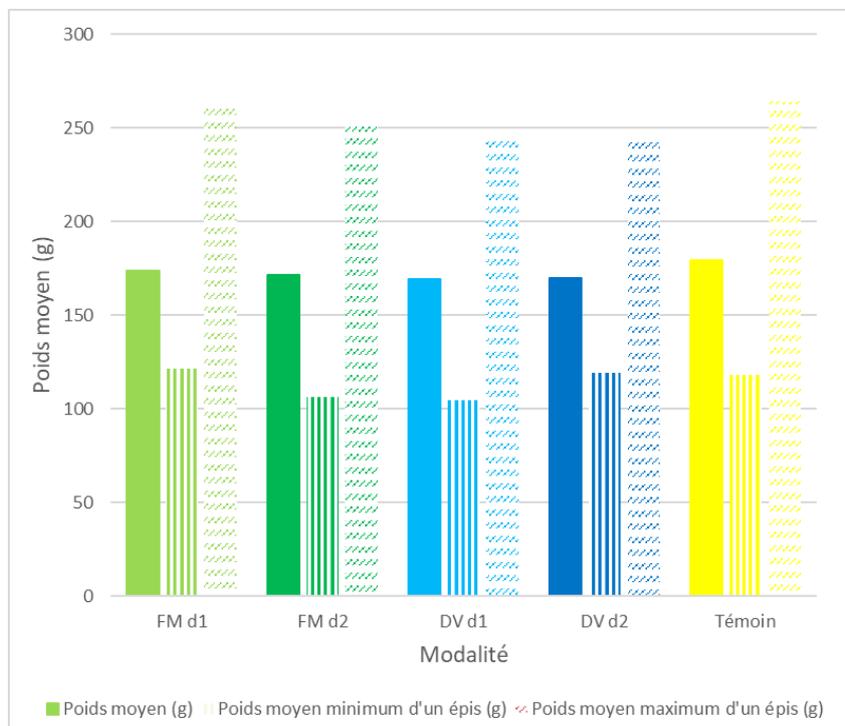


Figure 27 : Poids moyen (g) des épis de maïs doux en fonction de la modalité de fertilisation

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

Le poids moyen des épis est très proche selon les modalités de fertilisation (figure 27) bien qu'il soit légèrement plus élevé pour le témoin (179.2 g). Le plus faible est atteint pour la modalité de compost de déchets verts (20 t/ha) avec 168.9 g.

On observe légèrement plus de variation pour le poids moyen minimum et maximum d'un épi. Le poids moyen maximum est plus élevé pour la modalité témoin (263.7 g) et le plus faible pour le compost de déchets verts à 20 t/ha (244.7 g). Le poids moyen minimum d'un épi est le plus élevé pour la modalité de compost de fumier de mouton à 15 t/ha (121 g) et le plus faible pour le compost de déchets verts à 20 t/ha (104 g).

Cette dernière modalité semble produire des épis ayant des calibres inférieurs à ceux des autres modalités.

Le nombre de déchets est important car il y a eu de nombreux dégâts de bio-agresseurs sur le maïs, diminuant le nombre d'épis commercialisables.

Le rendement moyen en maïs doux biologique est de 11 t/ha, soit environ 10 fois plus que le rendement de cet essai. Les difficultés de gestion phytosanitaire et les paramètres de la culture (fertilisation, irrigation) basés sur les besoins de la courge butternut peuvent expliquer ce très faible rendement.

Calcul du Land Equivalent Ratio (LER)

Le Land Equivalent Ratio (LER) est un indicateur qui compare la surface nécessaire pour produire une monoculture et celle nécessaire pour produire une polyculture. Il se calcule comme suit (Ebel *et al.*, 2017) (où n représente le nombre de cultures associées, CP_i le rendement d'une culture associée à l'hectare et CM_i le rendement de cette même espèce en monoculture). Un LER supérieur à 1 présente un avantage de productivité supérieur pour la polyculture.

$$LER = \sum_{i=1}^n \frac{CP_i}{CM_i}$$

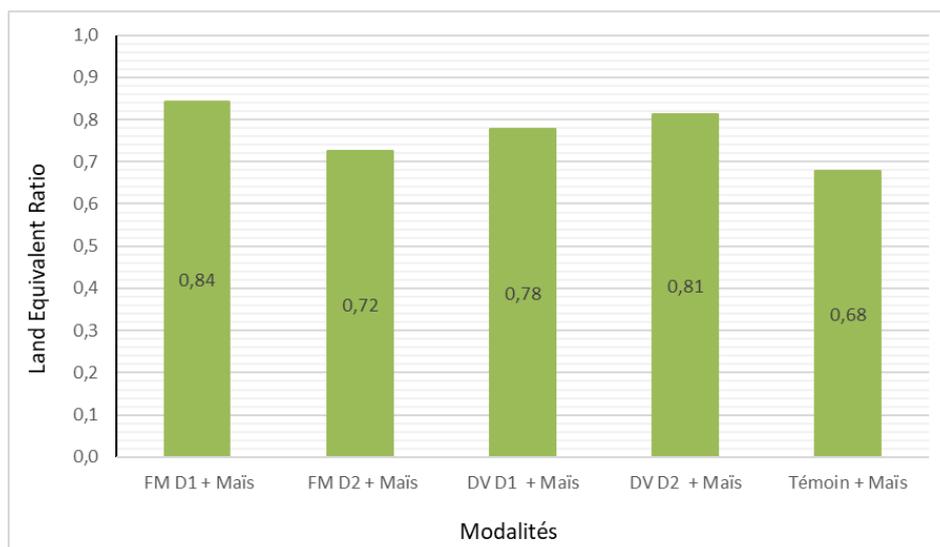


Figure 28 : Land Equivalent Ratio selon les modalités de fertilisation.

Parmi les modalités de fertilisation, le compost de fumier de mouton à 15 t/ha a le LER le plus élevé (0.84) en comparaison du témoin qui est le plus faible (0.68).



Projet MMBio 2019 / 2023 Compte-rendu d'essai 2020

L'association de culture courge butternut et maïs doux est désavantageuse en comparaison de cultures pures car le LER est inférieur à 1. Cependant, le rendement en maïs a été extrêmement faible en comparaison de ce qui est attendu en culture pure, probablement en raison des nombreux déchets liés à des attaques de ravageurs. Le LER en est donc impacté, sans pour autant que ce soit l'association de culture qui soit responsable de cette baisse si nette du rendement.

f) Valorisation économique

Entre août 2021 et mars 2022, la courge butternut biologique d'origine France a été vendue en moyenne à 1.58 € HT/kg sur le Marché d'Intérêt National de Rungis¹. Le maïs doux en épis frais semble pouvoir être vendu à hauteur de 1.05 €/épi sur les marchés de gros².

Tableau 5 : Valorisation économique estimée des productions issues de cette expérimentation

	Maïs (€)	Courge (€)	Courge associée au maïs (€)	Total association de cultures (€)
Fumier de mouton 15 t/ha	9 046.54	47 663.33	26 037.81	35 084.35
Fumier de mouton 30 t/ha	6 816.97	59 467.98	32 809.87	39 626.84
Déchets verts 20 t/ha	8 200.73	54 220.33	30 987.02	39 187.75
Déchets verts 60 t/ha	7 426.19	49 016.57	29 736.19	37 162.38
Témoin	7 760.95	52 300.93	26 786.85	34 547.80

Les prix de vente élevés du maïs doux en épis frais (tableau 5) ne suffisent pas à compenser la diminution de la productivité de la courge butternut lorsqu'elle est cultivée en association de cultures.

5. Conclusion

Cet essai est le premier mis en place dans le cadre du projet MMBio. Il vise à étudier les pratiques innovantes identifiées parmi les micro-fermes maraîchères sondées grâce aux enquêtes. Dans cette expérimentation, les facteurs étudiés étaient une association de culture ainsi que diverses stratégies de fertilisation. La productivité était le principal paramètre évalué.

La teneur en azote nitrique du sol suit la même évolution pour l'ensemble des modalités. La fertilisation a été basée sur les besoins de la courge et ceux-ci ont été respectés. L'augmentation de ces teneurs en fin d'essais sont très étranges. Peut-être qu'elle correspond aux apports qui n'ont pas été consommés par les cultures (car ils étaient plus élevés que 120 kg/ha, les besoins de la courge) et se minéralisent sur le long terme. La teneur en azote nitrique du sol semble plus stable pour le compost de fumier de mouton à 15 t/ha.

La diminution de la concentration en azote nitrique dans les pétioles de courge s'explique par le vieillissement des plants. Les jeunes plants ont une forte croissance, nécessitant beaucoup d'azote pour se développer tandis que les concentrations diminuent chez les plants plus vieux. L'azote est relocalisé ailleurs.

L'oïdium a été présent sur les courges pendant toute la durée de l'essai. Son impact légèrement plus marqué sur la modalité en association de culture pourrait s'expliquer par un taux d'humidité un peu plus élevé dû à la concentration de matériel végétal. Les apports de matières organiques semblent diminuer l'impact de l'oïdium, peut-être grâce à l'apport de communautés microbiennes nouvelles.

La modalité en association de culture a un rendement en courge butternut significativement plus faible que la courge seule. Il y a une concurrence nutritive et/ou lumineuse avec le maïs, qui semble nuire au développement de la culture. Cependant, pour les deux modalités les rendements correspondent à ce qui est attendu en production biologique et sont même supérieurs dans le cas de la courge seule.

¹ Réseau des Nouvelles des Marchés, 2022. Prix moyens mensuels des courges entre le 01 avril 2021 et le 31 mars 2022.

² Prix de vente Carrefour : deux épis AB à 2.99 €. Tenir compte de 30 % de marge.



Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

Le maïs doux a un rendement très faible, qui s'explique par de très importants dégâts liés à des bio-agresseurs. De nombreux épis ne sont donc pas commercialisables. Le compost de déchets verts à 20 t/ha semble produire des épis de poids plus faible que les autres modalités.

Le LER met en avant une perte de productivité de notre association de culture en comparaison de monocultures de maïs doux et de courge butternut. La valorisation économique du maïs doux ne suffit pas à compenser ces pertes de productivité.

Il faut noter la difficulté de gestion phytosanitaire d'une association de cultures, dans laquelle les produits de traitement utilisés doivent être homologués sur les deux cultures. Par ailleurs, le mélange de deux cultures de strates différentes complique les travaux d'entretien des plantes.

6. Perspectives

Cette première année d'essai dans le cadre du projet MMBio a mis en avant les difficultés de gestion d'une association de cultures au regard des traitements phytosanitaires et de la gestion des cultures. Afin de consolider les références déjà acquises, il est pertinent de garder cette association de culture pour l'essai à venir en 2021. Cependant, afin d'améliorer le dispositif il faudrait envisager de modifier la disposition des rangs de courge et de maïs afin de faciliter l'entretien mais également de limiter la compétition entre les deux espèces. De nombreux bio-agresseurs ayant attaqué les cultures en 2020, les rendements en ont été impactés et il faut acquérir des références sur une année plus calme.

De plus, il est intéressant de réaliser une deuxième année d'étude qui permettra de calculer de nouveaux LER sur une culture de maïs doux qui sera peut-être plus propre qu'en 2020 et donc plus représentative de la réalité.

Par ailleurs, les apports de matières organiques ont des effets à long terme sur le sol. Il faut donc garder le même dispositif d'apports pour l'année 2021 afin de bénéficier des résidus apportés en 2020. Mener l'essai sur deux ans permettra de tenir compte des précédents apports dans la mise en place de la stratégie de fertilisation et dans l'analyse des résultats de productivité des cultures.

Certaines techniques mentionnées dans le présent compte rendu ont été utilisées uniquement à des fins de recherche et peuvent ne pas être autorisées dans un autre cadre.

Il appartient aux praticiens de se référer aux cadres réglementaires en vigueur et relatifs aux pratiques autorisées en conditions professionnelles.

Par ailleurs, les résultats d'expérimentation ne peuvent être considérés comme des préconisations.

7. Bibliographie

Ebel, R., Pozas, Cárdenas, J. G., Soria Miranda, F. et Cruz González, J., 2017. Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*. Vol. 35, (2), p. 149 – 160

Projet MMBio 2019 / 2023

Compte-rendu d'essai 2020

Annexe 1 : Dispositif expérimental

