

Rapport technique d'expérimentation - Maraîchage - 2021

Maraîchage Petites surfaces : étude de l'apport massif de compost de déchets verts et de l'association courge-maïs

Hélène VEDIE – Abderraouf SASSI – Baptiste GAZAGNES

Résumé :

En 2021, nous avons renouvelé l'essai réalisé en 2020 sur l'intérêt d'un paillage organique de compost de déchets verts, en couche de surface de 6 cm d'épaisseur, sur une culture de courges butternut, en plein champ. Nous avons également évalué l'intérêt de l'association de la courge avec le maïs doux.

Le compost a permis de réduire l'utilisation d'eau par rapport au témoin sol nu, et assuré la maîtrise quasi totale des adventices, avec un rendement supérieur. L'association avec le maïs s'est en revanche avérée compétitive, avec une réduction du rendement de la courge de 18%.

L'utilisation massive de compost se traduit par une hausse rapide du taux de MO et de la teneur en nutriments du sol, mais n'a pas d'impact sur l'importance de la biomasse microbienne au bout de 2 ans d'apports.

1- CONTEXTE ET OBJECTIFS :

Le projet MMBio (Casdar 2019-2022), piloté par l'ITAB, vise à évaluer l'effet de systèmes de culture maraîchers sur petites surfaces. Les partenaires de l'axe « expérimentation » du projet ont décidé d'étudier certains des leviers principalement utilisés dans ces systèmes par rapport aux systèmes sur plus grandes surfaces : l'association et la densification des cultures et les apports massifs de matières organiques. L'ambition du projet est d'apporter des éléments de réponse à la demande croissante de références sur le maraîchage « bio-intensif ».

Sur le site expérimental du GRAB, l'essai mis en place en plein champ en 2020 vise à étudier 1) l'apport massif (de l'ordre de 200 t/ha) de compost de déchets verts épandu sur le sol et non incorporé par le travail du sol (apport de MO + maîtrise des adventices) et 2) l'association d'une culture de courge et du maïs doux. Le dispositif expérimental est répété en 2021, avec les mêmes modalités aux mêmes emplacements, pour évaluer un éventuel effet cumulatif des pratiques au cours du temps.

2- MATERIEL ET METHODES

2.1 Dispositif expérimental :

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

Sol limono-argileux calcaire profond

Surface de l'essai : 400 m² (8 m x 50 m)

Dispositif : Essai à 2 facteurs croisés et 4 répétitions en blocs : voir plan d'essai en annexe 1.

- Facteur Association de culture : 2 niveaux
 - Courge seule
 - Courge + Maïs doux
- Facteur Apport de Matière organique : 2 niveaux
 - Compost de déchets verts disposé en surface sur 6 cm d'épaisseur (environ 210t/ha)
 - Témoin sans apport : sol nu

Taille des parcelles élémentaires : 2m x 10m (20 m²) soit 20 plantes

2.2 Conditions de culture :

- Travail du sol : Formation de planches de 1,2 m de large au cultirâteau. Epandage du compost le 1^{er} juin
- Semis maïs : 1^{er} juin ; Plantation courges : 10 juin 2021
- Culture : * **courge variété Havana AB** en mottes (plaques de 60). Rangs distants de 2 m et plantes tous les 50 cm sur le rang : densité de 1 plant/m²
 - * **maïs doux variété 3951 (Syngenta).** 1 rangs à 25 cm du rang de courge, environ 5 graines par mètre linéaire
- Fertilisation : 2,5 t/ha de 4-8-10 (ABFlor) soient 100 N / 200 P2O5 / 250 K2O
- Irrigation goutte à goutte (2 rampes/rang de courge + 1 rampe par ligne de maïs)
- Récoltes : Maïs : 2 septembre ; Courges : 15 septembre 2021

Le compost de déchets verts est épandu à l'épandeur à fumier après travail du sol et avant plantation.

2.3 Mesures et observations :

Caractérisation du compost de déchets verts

Analysé de la valeur agronomique (C, N, P, K...) + teneurs en éléments traces métalliques (ETM)

Suivi Sol :

- **Mesure de la température du sol :** sondes hobo disposées à 10 cm de profondeur, mesures horaires, 2 répétitions par modalité.
- **Mesure de l'humidité du sol :** Tensiomètres watermark disposés à 15, 30 et 45 cm de profondeur, mesures horaires ; Enregistrement volumes d'eau par irrigation
- **Mesures de l'azote minéral du sol :**
Azote nitrique sur 0-25 cm : échantillons composites de 10 prélèvements par parcelle élémentaire (soit 4 répétitions par modalité) toutes les 3 semaines. Dosage au nitracheck + mesure du taux d'humidité.
- **Analyses de sol de laboratoires** (AUREA et Celesta-Lab) le 28/09/2021 : 4 répétitions sur modalités courge seule.

Analyse chimique, Teneurs en Eléments Traces Métalliques (7 ETM) et Biomasse microbienne.

Suivi des performances des cultures :

- Suivi du développement des plantes et de la vigueur au cours de la croissance
- Indicateur de nutrition azotée des courges : *Azote nitrique du jus pétioinaire*, Mesures tous les 15 jours sur 12 pétioles de jeunes feuilles adultes/culture prélevés par parcelle élémentaire sur les modalités courge seule uniquement. Dosage au nitracheck
- Courge : Mesures des rendements en fruits sur 4 placettes de mesures de 10 plantes par modalité
- Maïs : Mesures du rendement sur 5 mètres linéaires par modalité

Suivi des adventices :

- Densité adventices par espèces 12 jours après plantation : 2 quadrats de 0,25 m² par parcelle élémentaire sur modalité sol nu, soit 8 répétitions ; dénombrement sur la totalité de la surface de la planche de culture par parcelle élémentaire (12 m²) sur la modalité compost, soit 4 répétitions.
- Appréciation globale de la présence d'adventices pendant la culture



Vue de l'essai le 10 juin 2021, jour de la plantation

3- RESULTATS :

3.1 Caractérisation du compost de déchets verts :

Le compost contient 24% de matières organiques et a un rapport C/N de 14,1. La composition en nutriments figure dans le tableau 1. La teneur en N-P-K en kg/t du compost est de 8,5-4,4-6. Pour la dose importante épandue, de 210 t/ha environ sur la planche de culture (65% de la surface totale), correspondant à une couche de 6 cm de hauteur, les quantités de nutriments apportées sont très élevées, mais inférieures à celles apportées en 2020 car le compost est moins concentré en éléments minéraux. Mais la cinétique de libération de ce produit composté devrait être assez lente.

En ce qui concerne le risque métaux lourds, le compost respecte la réglementation en vigueur, avec des valeurs inférieures aux limites fixées par la norme NFU 44-051 (tableau 2). La teneur en cuivre est néanmoins assez élevée et dépasse la norme de qualité du label Ecofert. Il est donc nécessaire de surveiller l'évolution des teneurs en ces éléments dans les sols si cette pratique est renouvelée régulièrement sur une même parcelle. Les teneurs en métaux lourds sont moins élevées dans le compost de 2021 que dans celui utilisé en 2020.

Tableau 1 : Caractéristiques agronomiques du compost (analyse AUREA) et quantités de nutriments apportées

	Composition (g/kg)		2021 Quantité apportée pour 210 t/ha (kg/ha)	2020
	Sur produit sec (g/kgMS)	Sur produit brut (g/kg)		
%MS		59,6		
%MO		23,9	50 t	70t
N minéral	0,22	0,13	27	8
N organique	14	8,34	1751	1692
N total	14,22	8,47	1779	1700
C/N		14,1		
K2O	10,1	6,02	1264	3880
P2O5	7,4	4,41	926	1157
MgO	9,72	5,8	1218	1542
CaO	112,3	188,5	39585	22456

Tableau 2 : Teneurs en ETM (analyse AUREA) et situation vis-à-vis de différentes normes

Teneur (mg/kgMS)	2021	Valeur NFU 44-051	Ecofert	2020
Arsenic	4,4	18		8,9
Cadmium	0,36	3	1,5	1,6
Chrome	20,4	120	65	25,7
Cuivre	183	300	70	172,3
Mercure	0,1	2	0,6	0,08
Nickel	14,2	60	40	14,2
Plomb	29,4	180	65	92,1
Selenium	<3,11	12		<3,1
Zinc	167	600	210	367,3

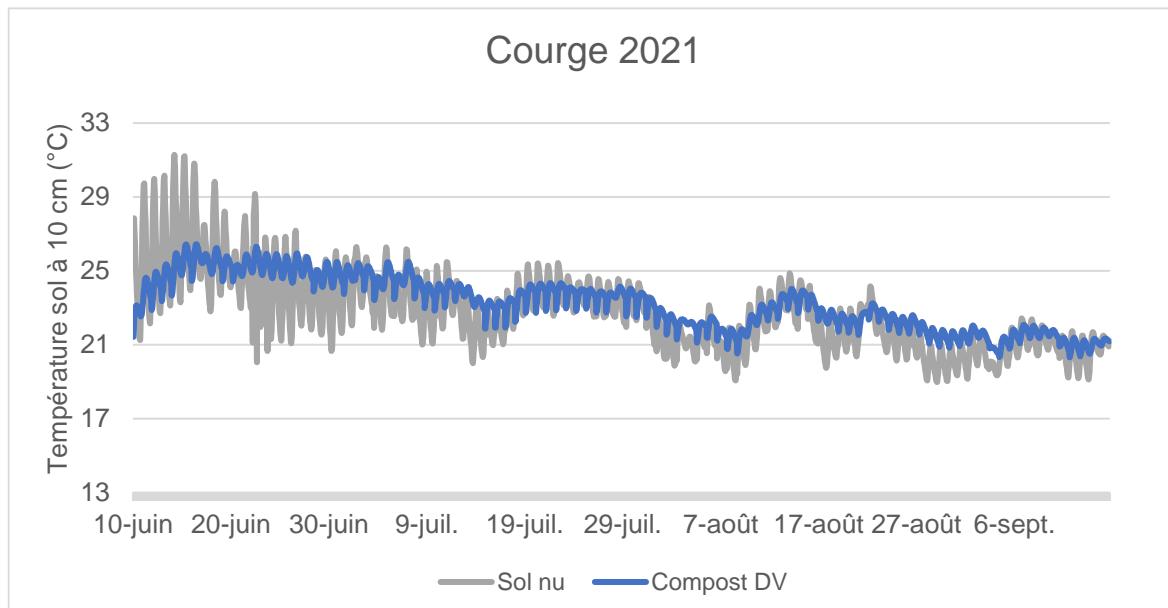
3.1 Indicateurs sol :

3.1.1 Températures du sol :

Le compost de déchets verts limite à la fois les températures maximales et minimales par rapport au sol nu (graphique 1) et a ainsi un effet isolant. Les différences sont peu marquées en milieu de culture, entre le 15 juillet et la fin août, correspondant à la période la plus chaude, mais l'effet tampon du compost sur la

température est net en début de culture, et à partir de la fin août où les propriétés isolantes du compost permettent de conserver la chaleur et de limiter l'impact de températures minimales plus basses visibles sur le sol nu.

Sur la durée de la culture, la température moyenne à 10 cm de profondeur est légèrement plus élevée sous compost que sous sol nu, avec 23,3 °C et 22,8°C respectivement.

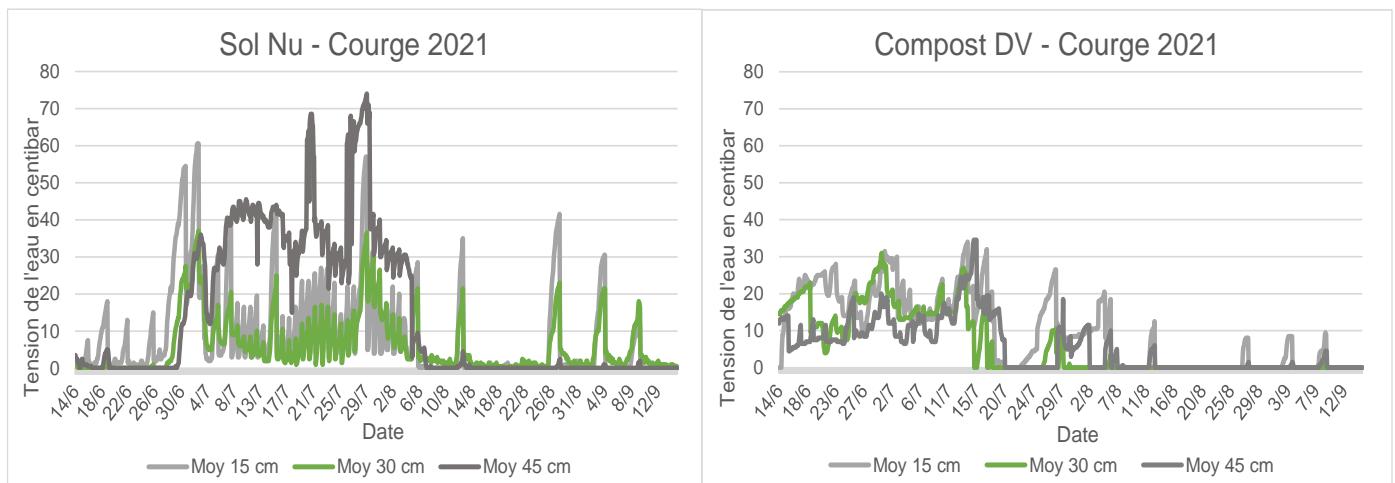


Graphique 1 : Températures sol à 10 cm sous compost et sol nu

3.1.2 Humidité du sol et irrigation :

L'utilisation de sondes Watermark pour piloter l'irrigation nous a conduits à adapter les apports d'eau sur la modalité témoin sol nu, qui était plus sèche, avec un 2^{ème} réseau d'irrigation goutte à goutte de façon à pouvoir apporter de l'eau sur les parcelles témoin uniquement lorsque cela était nécessaire. Au total, 275 mm d'eau ont été apportés sur la modalité compost de déchets verts et 290 mm sur le témoin sol nu pour la culture de courge seule. Logiquement, la quantité a été augmentée de 50% (3 lignes de goutte à goutte contre 2 dans les courges seules), mais avec le même écart sur les modalités courge+maïs. L'économie d'eau n'a donc été que de 5% avec le compost, mais au vu des courbes tensiométriques (graphique 2), les apports auraient pu être limités davantage dans cette modalité car les tensions ont été beaucoup plus basses tout le mois de juillet, notamment en profondeur. A partir du 6 août, les tensions sont très basses dans les 2 modalités, signifiant que les apports d'eau par irrigation auraient pu être réduits.

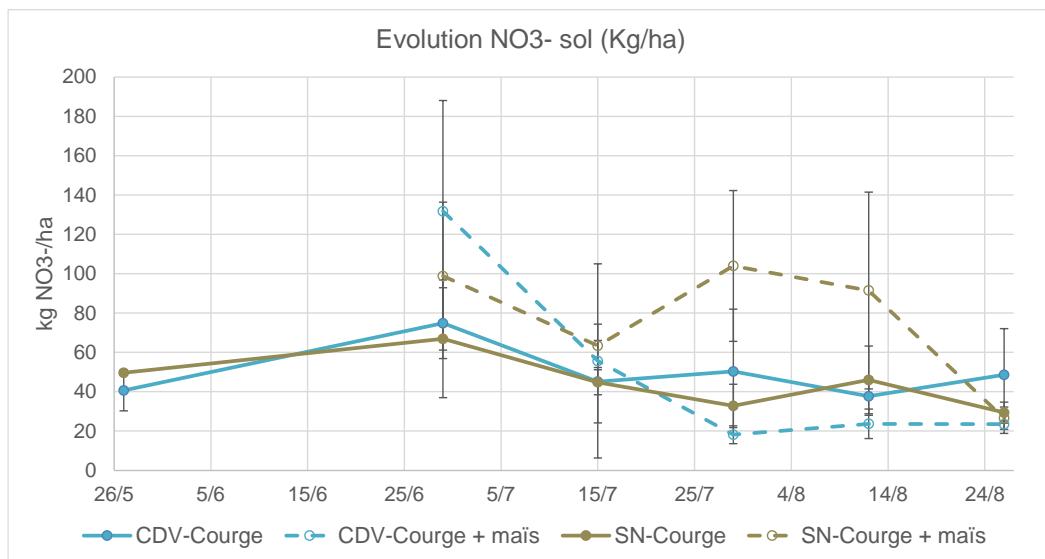
La couche de 6 cm de compost de déchets verts permet donc de tamponner et de conserver l'humidité du sol.



Graphique 2 : Suivis tensiomètres à 15, 30 et 45 cm de profondeur sur modalités CDV et Sol nu

3.1.3 Mesures de l'azote minéral du sol : Azote nitrique sur 0-25 cm

Les mesures d'azote nitrique dans l'horizon supérieur réalisées de façon régulière pendant la culture (graphique 3) révèlent peu de différences entre les différentes modalités, et l'hétérogénéité forte des résultats en fonction des parcelles élémentaires (écart-types importants). Sur la culture de courge seule, les valeurs de quantités d'azote nitrique sont similaires entre compost et sol nu, alors que sur l'association de courge + maïs, les quantités d'azote nitrique sont plutôt supérieures sur compost de la mi-juillet à la mi-août. Il n'y a cependant de différence statistiquement significative à aucune date de mesure, ni de l'effet compost, ni de l'effet association de culture.



Graphique 3 : Quantité d'azote nitrique du sol (kg/ha) dans l'horizon 0-25 cm pendant la culture de courge. La barre d'erreur représente l'écart-type. CDV : compost de déchets verts ; SN : sol nu

3.1.4 Résultats des analyses de sol de laboratoire sur 0-25 cm

Les analyses, réalisées en fin de culture de courges après 2 années de pratiques (tableau 3), montrent quelques tendances de teneurs entre le sol nu (SN) et la modalité compost de déchets verts (CDV) :

- Les teneurs en matière organique, phosphore Olsen, potassium, magnésium et sodium sont très significativement supérieures sur la modalité CDV, ce qui est logique vues les quantités apportées avec 210 t/ha de compost 2 années consécutives (tableau 1). Le pH KCl semble légèrement supérieur sur CDV, traduisant l'alcalinisation du sol, mais cette tendance est à confirmer car l'incertitude sur la mesure du laboratoire est de 0,2 unités, comme l'est la différence...
- La biomasse microbienne semble plus forte en valeur absolue, mais pas en valeur relative, et il n'y a pas de différences significatives sur ces 2 paramètres car la variabilité est importante.
- Il n'y a aucune différence de teneurs en métaux lourds du sol entre les 2 modalités.

Les analyses de sol montrent donc une augmentation très rapide des teneurs en éléments nutritifs dans le sol avec les apports massifs de compost de déchets verts. Pour autant, la matière organique du compost, si elle augmente la teneur en MO totale mesurée dans le sol, ne semble pas augmenter à court terme l'activité microbienne, ni même la Capacité d'Echange Cationique (CEC), signifiant qu'elle se dégrade et évolue lentement.

L'augmentation de la teneur en sodium, significative sur les analyses réalisées, doit être surveillée pour voir si la pratique d'apport massif présente un risque de salinisation du sol. De même, l'évolution des teneurs en ETM, non visible dans les analyses au bout de 2 ans, doit être surveillée à plus long terme en cas d'adoption de ce type de pratique.

Tableau 3 : Analyses chimiques, teneurs en ETM, et biomasse microbienne (AUREA) – septembre 2021 – (CDV : Compost de Déchets Verts ; SN : sol nu) – moyenne (\pm écart-type) de 4 analyses de sol.

	Modalité	CDV	SN
Analyse chimique	MO (%)	3,6 ($\pm 0,4$)*	2,9 ($\pm 0,2$)*
	pH eau	8,4 ($\pm 0,05$)	8,3 ($\pm 0,05$)
	pH KCl	8,2 ($\pm 0,05$)*	8,0 ($\pm 0,05$)*
	CEC Metson (cmol+/100g)	10,3 ($\pm 1,0$)	9,5 ($\pm 0,5$)
Eléments nutritifs	P2O5 Olsen (g/kg)	0,045 ($\pm 0,004$)*	0,029 ($\pm 0,007$)*
	K2O échangeable (g/kg)	0,77 ($\pm 0,02$)*	0,40 ($\pm 0,07$)*
	MgO échangeable (g/kg)	0,46 ($\pm 0,05$)*	0,40 ($\pm 0,02$)*
	CaO échangeable (g/kg)	12,3 ($\pm 0,28$)	12,5 ($\pm 0,22$)
	Na2O échangeable (g/kg)	0,061 ($\pm 0,006$)*	0,035 ($\pm 0,002$)*
Biomasse Microbienne	BM totale (mgC/kg)	526,5 ($\pm 54,5$)	484,3 ($\pm 57,9$)
	BM relative (%C)	2,55 ($\pm 0,3$)	2,92 ($\pm 0,3$)
Eléments Traces Métalliques (ETM)	Cadmium (mg/kg)	0,42 ($\pm 0,03$)	0,44 ($\pm 0,02$)
	Chrome (mg/kg)	33,0 ($\pm 3,2$)	33,3 ($\pm 2,1$)
	Cuivre (mg/kg)	48,5 ($\pm 1,3$)	50 ($\pm 3,2$)
	Mercure (mg/kg)	0,047 ($\pm 0,006$)	0,059 ($\pm 0,01$)
	Nickel (mg/kg)	31,0 ($\pm 1,4$)	33,3 ($\pm 0,5$)
	Plomb (mg/kg)	22,3 ($\pm 1,0$)	23,3 ($\pm 0,5$)
	Zinc (mg/kg)	73,0 ($\pm 2,2$)	71,5 ($\pm 3,1$)

* : différence statistiquement significative au seuil de 5%

3.2 Performances culturales :

3.2.1 Croissance des cultures

Culture de courge :

Le tableau 4 résume les notations de vigueur sur une échelle de 1 à 5 effectuées sur les plantes de courges au cours de leur croissance en juillet et août :

- 1) L'effet du compost se traduit par un gain de vigueur net par rapport au sol nu pendant le mois de juillet, mais la différence s'amenuise progressivement pour avoir des vigueurs similaires en août.
- 2) L'effet de l'association avec le maïs est positif sur la vigueur des courges pendant le mois de juillet, sans doute en lien avec des apports d'eau plus importants sur les planches associées (3 lignes de goutte à goutte au lieu de 2). A partir du mois d'août, alors que le maïs devient très haut et vigoureux, l'effet de l'association devient négatif sur la vigueur des courges et s'accentue avec le temps. L'effet de compétition entre les 2 cultures, déjà observé en 2020, est donc significatif sur la 2^{ème} partie du cycle cultural.

Culture de maïs associé :

Contrairement à ce qui avait été observé en 2020, le compost a eu cette année un effet positif sur la levée des plantules de maïs : il y a eu plus de plantes que sur sol nu. Pendant le développement de la culture, l'effet du compost est également positif, avec des plantes 20 cm plus hautes et un

développement homogène, alors que la culture est assez hétérogène et plus basse sur les modalités sol nu.

Tableau 4 : Evolution de la vigueur des courges (échelle de 1 à 5) en fonction des modalités. Moyenne de 4 répétitions (± écart-type)

Modalité	8 juillet	22 juillet	5 août	19 août
CDV-Courge	4,5 (±0,7)	4,5 (±0,6)	4,4 (±0,5)	3,1 (±0,9)
CDV-Courge+Maïs	5,0 (±0)	4,8 (±0,3)	4,1 (±0,3)	2,5 (±0,9)
SN-Courge	3,6 (±0,3)	4,0 (±0,9)	4,3 (±1,0)	3,0 (±0,8)
SN-Courge+Maïs	4,4 (±0,3)	4,5 (±0,4)	3,9 (±1,0)	2,3 (±1,0)

Photos des cultures



Vu de l'essai à la plantation- 10 juin 2021



Modalité courge+maïs sur compost – 29 juin



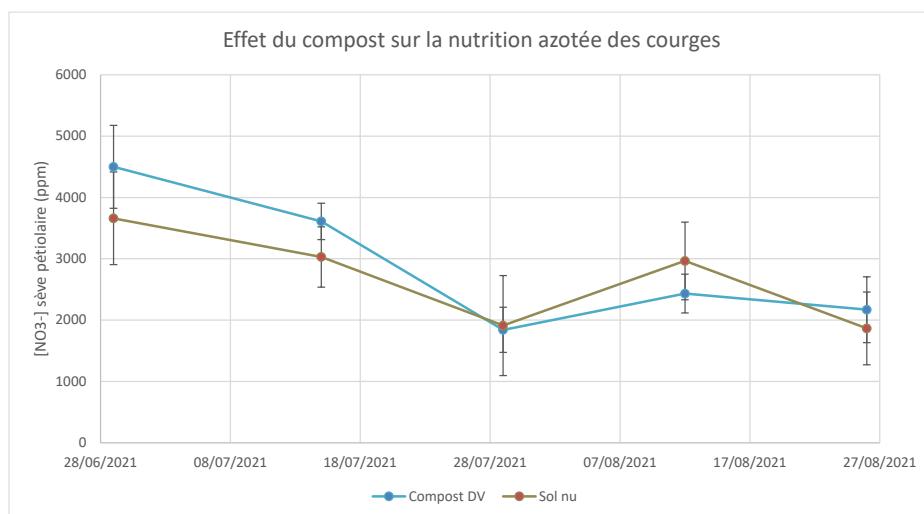
Courge + maïs (D) et courge seule (G) le 10 août



Courge grimpant sur le maïs – 5 août

3.2.2 Azote nitrique du jus pétioinaire

Cette mesure, basée sur la méthodologie PILAzo, reflète le statut de nutrition azotée des plantes. Elle a été réalisée à 5 dates. En tendance, le compost de déchets a un effet positif sur la nutrition azotée des courges au début de la culture, mais il n'y a plus de différence à partir de fin juillet (graphique 4), ce qui est cohérent avec les résultats de mesures de vigueur (tableau 4), plus importante sur compost au mois de juillet. Les différences de teneur en azote nitrique de la sève pétioinaire ne sont cependant statistiquement significatives à aucune date de mesure.



Graphique 4 : Concentration en azote nitrique (ppm) de la sève pétioinaire des plantes pendant la culture.
Les barres d'erreur représentent l'écart-type de la mesure (4 répétitions)

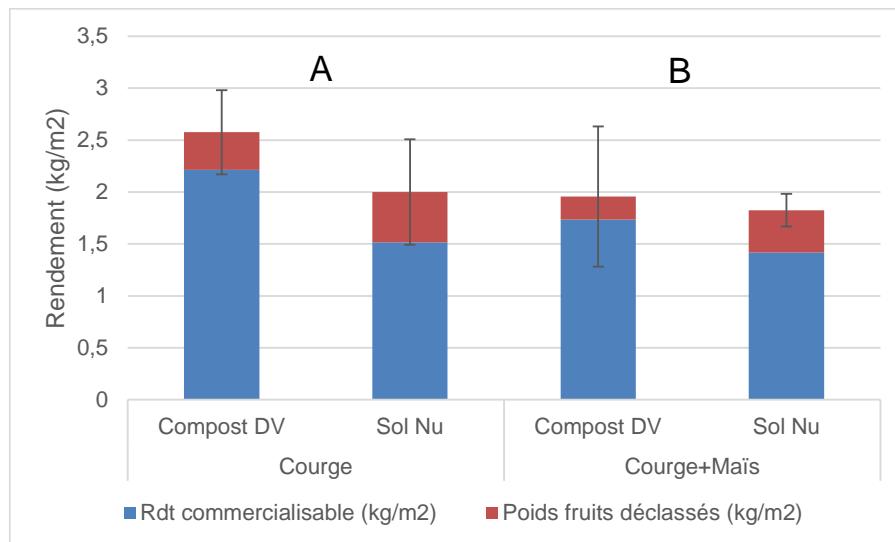
3.2.3 Rendement

Rendement de la courge

Le poids total de courges récoltées est statistiquement supérieur sur les modalités Courge seule (2,3 kg/m² en moyenne) que sur les modalités courge + maïs (1,9 kg/m² en moyenne) [graphique 5]. L'association a donc eu un effet négatif sur le rendement, résultant notamment d'un nombre de fruits légèrement inférieur, qui pourrait être dû à un effet compétition pour les ressources. Les suivis des teneurs en azote du sol (graphique 3) ne montrent pas d'effet visible sur la disponibilité de l'azote nitrique selon que la culture est seule (Co) ou associée (CoMa). L'hypothèse pourrait donc être une compétition pour la lumière liée au fait que le rang de courge soit proche d'un rang de maïs haut de plus d'un mètre dès juillet. Cet effet de compétition avait également été observé en 2020, de façon accrue (rendements de 2,6 et 1,7 kg/m² sur Co et CoMa respectivement) car 2 rangs de maïs encadraient le rang de courge (cf CR L20-PACA-1103).

L'effet du compost est en tendance positif sur le poids total (2,3 kg/m² sur CDV en moyenne contre 1,9 kg/m² sur sol nu), mais la différence n'est significative qu'au seuil de 10% (p=0,065). La différence est par contre statistiquement significative sur le rendement commercialisable, avec 2 kg/m² sur CDV et 1,5 kg/m² sur sol nu. Cette différence résulte d'un nombre de fruits supérieur sur compost (1,6 fruits/m² contre 1,2 sur sol nu) et d'une proportion de déchets supérieure sur sol nu : les fruits verts, n'ayant pas atteint la maturité, représentent 4,5% du poids total sur compost, et 11,2% sur sol nu. Ce dernier résultat est contraire à celui obtenu en 2020 où la proportion de fruits verts était supérieure sur compost.

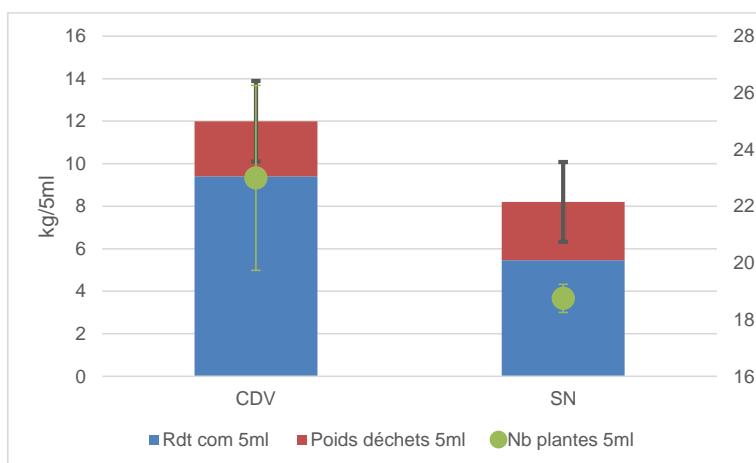
L'association de la courge avec le maïs diminue en tendance (p=0,057) la proportion de fruits verts, ce qui était aussi le cas l'année dernière.



Graphique 5 : Rendements totaux et commercialisables des courges sur les différentes modalités
Les barres d'erreur représentent l'écart-type de la mesure de rendement total (4 répétitions), les lettres, des groupes statistiques différents selon le Test de Newman Keuls au seuil de $p=0,05$

Rendement du maïs

Le compost de déchets verts a un effet positif statistiquement significatif sur le rendement du maïs par unité de surface, avec 12,1 kg/5 ml contre 8,2 pour la modalité sol nu (graphique 6). Cette différence résulte essentiellement d'un nombre de plantes supérieur sur le compost (23 plantes/5ml, contre 18,8 sur sol nu), en lien avec une meilleure germination du maïs sur cette modalité (cf 3.2.1). Les résultats par plante sont légèrement supérieurs sur la modalité « compost », avec 530 grammes épis/plante (dont 410 à priori commercialisables), contre 440 (dont 290 g à priori commercialisables sur sol nu) mais les différences ne sont pas significatives du fait d'une variabilité importante. Les observations plus poussées sur 10 épis par parcelle élémentaire, avec mesures des poids bruts, nets et du pourcentage d'épis commercialisables ne donne pas non plus de différences significatives entre la modalité compost et la modalité sol nu.



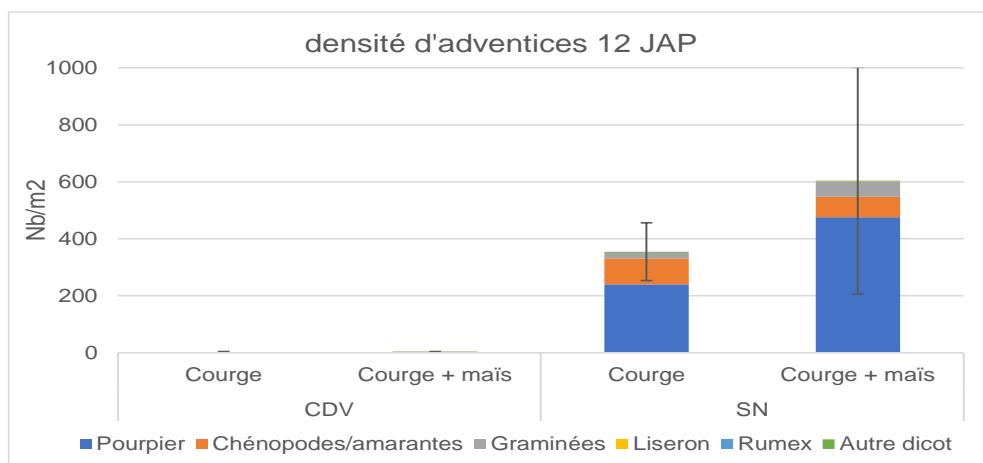
Graphique 6 : Rendements totaux et commercialisables et nombre de plantes de maïs sur compost et sol nu. Les barres d'erreur représentent l'écart-type des mesures (4 répétitions)

3.3 Gestion des adventices :

Le compost de déchets verts a créé une barrière physique efficace contre la levée des adventices, en réduisant de quasiment 100% le nombre de plantules 12 jours après plantation (graphique 7).

Sur sol nu, le nombre d'adventices est plus important sur l'association courge+maïs où l'irrigation est augmentée : on dénombre sur ces modalités 600 plantules/m², contre 350 pour les modalités courge seule.

La communauté d'adventices est essentiellement composée de pourpier, ainsi que d'amarantes, chénopodes et graminées.



Graphique 7 : Densité d'adventices et répartition par espèces 12 jours après plantation. Les barres d'erreur représentent l'écart-type des mesures (4 répétitions)

CONCLUSION :

Les résultats de l'essai 2021 sont assez proches de ceux obtenus en 2020.

Utilisé en paillage de cultures d'été en plein champ, le compost de déchets verts a permis de tamponner la température du sol, de réduire un peu (et potentiellement plus) les quantités d'eau d'irrigation par rapport à un sol nu, et de limiter très efficacement les adventices, tout en permettant l'obtention d'un rendement plutôt supérieur. Il semble par ailleurs libérer une partie de son azote au début de la culture et améliorer ainsi la nutrition azotée des courges.

L'association de la courge avec le maïs, bien que revue à la baisse par rapport à 2020, a un impact négatif sur le rendement, sans doute par compétition pour la lumière.

Les résultats plutôt négatifs de l'association courge et maïs doux obtenus sur l'essai conduit au GRAB ont été également observés sur un essai « miroir » conduit au Ctifl de Balandran dans le cadre du projet MMBio. Les gains limités obtenus avec le maïs produit ne compensent par la perte de productivité de la courge.

DIFFUSION :

Articles :

- Résumé de l'essai dans le rapport d'activité 2021 du GRAB
- Diffusion du Compte-rendu sur le site internet www.grab.fr à venir

Visites :

- Visite de l'essai le 8 juillet 2021, lors de la journée Portes Ouvertes de la station du GRAB à Avignon
 - 50 Participants

Etude réalisée avec le concours financier de l'agence du Casdar et de la région Sud



ANNEE DE MISE EN PLACE : 2020 - ANNEE DE FIN D 'ACTION : 2021

ACTION : nouvelle O

en cours •

en projet O

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 : Maraîchage – Agriculture Biologique – Petites surfaces - Compost de déchets verts – Association de cultures

Date de création de cette fiche : mai 2022

Annexe 1 : Plan de l'essai MMBio 2021

