
Vers plus de durabilité en maraîchage biologique

Synthèse du projet

2018-2021

PARTIE 2



Date : juillet 2021

Rédacteur(s) : Maët LE LAN, Marie CORDONNIER, Maureen GICQUEL

Station Expérimentale de Bretagne Sud, route du Bono – 56400, Auray

Téléphone: 02 97 46 30 80 – Email : maet.lelan@bretagne.chambagri.fr

Confrontée à des limites environnementales et économiques ainsi qu'aux attentes sociétales, la durabilité des systèmes maraîchers est remise en question. Dans sa définition la plus globale, la durabilité est « un mode de développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs » (Brundtland et *al.*, 1987). Elle repose sur trois grands piliers : l'économie, l'environnement et la dimension sociale. Ces trois piliers peuvent être déclinés à la production agricole, qui se doit d'être saine et équitable pour les producteurs tout en restant rentable économiquement (Bonny, 1994). Landais ajoute un quatrième pilier aux trois précédents : le lien intergénérationnel, qui se traduit par la transmissibilité de l'exploitation agricole (Landais, 1998).

Le développement de technologies innovantes pourrait apporter des éléments de réponse à cette problématique. L'innovation est définie comme un processus, ou un produit, nouveau ou amélioré qui est accessible au public. Avec l'objectif de proposer des systèmes de culture maraîchers plus durables grâce à des innovations, le projet national « Vers plus de durabilité en maraîchage bio », porté par la station expérimentale d'Auray, développe deux actions. Une première action évalue la durabilité d'un système de culture innovant sous abri, intégrant un tunnel mobile et fait l'objet du bilan présenté dans ce document.

La pénibilité du travail est définie comme l'exposition du travailleur à un ou plusieurs facteurs de risques, pendant des durées minimales et au-delà de certains seuils, pouvant laisser des traces durables, identifiables et irréversibles sur la santé » (Avenir Solutions, 2017). La pénibilité peut, entre autre, se traduire par des troubles musculosquelettiques (TMS). Ces derniers touchent les tissus mous à la périphérie des articulations, principalement les nerfs, les tendons et les muscles proches de la colonne vertébrale, du coude, du genou, de la cheville, du poignet et de l'épaule (Lemerle & Chicot, 2016). Ils sont à l'origine de douleurs et gênes dans les mouvements et représentent la première cause de maladies professionnelles pour le régime général et agricole (Lemerle & Chicot, 2016). En effet, le travail agricole fait appel à la force physique et implique plusieurs tâches manuelles comme la manutention de charges lourdes, des temps de travail importants dans les engins agricoles (exposition aux vibrations) ou à des accidents non prévisibles liés à la présence des animaux d'élevage. Ces tâches causent des TMS tels que l'arthrose ou le mal de dos, eux même responsables d'arrêts de travail mais aussi d'une potentielle diminution des revenus de l'exploitation. Entre 2011 et 2015, les TMS des actifs agricoles représentent ainsi 93,4% des maladies professionnelles (Lemerle & Chicot, 2016). Ces troubles, cause de maladies professionnelles, peuvent entraver la durabilité de l'emploi agricole et



Station Expérimentale de Bretagne Sud – Chambre d'agriculture de Bretagne

Ces informations ont été recueillies dans les conditions propres à chaque essai et ne constituent pas une préconisation ou une vulgarisation directe.

représenter un coût économique pour la Mutuelle Santé Agricole (MSA). Ainsi, la pénibilité du travail rejoint la dimension sociale de la durabilité.

1 Présentation du projet

Le projet national, intitulé « Vers plus de durabilité en maraîchage bio », est porté par la Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne (CRAB) entre 2018 et 2021. Il bénéficie de différentes sources de financements : France Agri Mer, le Conseil Régional de Bretagne et la CRAB.

Une des deux actions du projet est de chercher à désintensifier les systèmes de culture sous abri par l'utilisation d'un matériel innovant : le tunnel mobile. Dans cette action, il s'agit de comparer un système de culture de référence, incluant un tunnel fixe, à un système innovant, incluant un tunnel mobile et une succession culturale repensée. La problématique est la suivante : **en quoi l'intégration d'un matériel innovant, tel que le tunnel mobile, peut-elle accroître la durabilité des systèmes maraîchers bio sous abri ?** Les variables étudiées concernent la durabilité environnementale (conditions climatiques et consommation de ressources) et la durabilité économique (rentabilité du système). Un partenariat est établi avec le constructeur d'abris Debernard (www.debernard.fr, 49650 Allonnes).

2 Désintensifier les systèmes de culture sous abri par l'utilisation d'un matériel innovant : le tunnel mobile

2.1 Objectifs

- Désintensifier les successions culturales sous abri
- Diversifier les successions culturales sous abri
- Réaliser des économies en eau d'irrigation
- Réduire les intrants azotés en compensant par l'introduction de couverts végétaux (enfouissement de la biomasse végétale résiduelle)

2.2 Mise en place de l'expérimentation

Le système de référence inclut un tunnel fixe, comme ceux présents chez les producteurs maraîchers. Il couvre une surface totale de 156 m². La structure du tunnel est formée par dix arceaux à pieds droits, ancrés dans le sol par des vrilles enterrées à 80 cm de profondeur. Ces arceaux sont en tube d'acier galvanisé de 40 mm de diamètre. Sur cette structure repose une bâche en PE de 200 µ, incolore et traitée anti-UV. Pour limiter la prise au vent du tunnel, la bâche est enterrée à 30 cm de profondeur sur toute la longueur du tunnel. Deux ouvrants avec portes, de part et d'autre du tunnel, en permettent la ventilation. Ce tunnel est commercialisé par le constructeur partenaire à un coût de 22 €/m².



Figure 1 : Le tunnel fixe implanté à la station expérimentale d'Auray

Station Expérimentale de Bretagne Sud – Chambre d'agriculture de Bretagne
Ces informations ont été recueillies dans les conditions propres à chaque essai et ne constituent pas une préconisation ou une vulgarisation directe.

La succession culturale de ce système reflète une pratique maraîchère du secteur, reposant sur une alternance des Solanacées et Curcubitacées un an sur deux. Elle compte six espèces légumières qui sont la tomate, la laitue, la carotte, le concombre, la blette et la pomme de terre. En trois ans, huit périodes de culture se succèdent selon le calendrier maraîcher d'une conduite sous abri (Figure 2). Il impose un enchaînement rapide des cultures : la culture en place est obligatoirement détruite avant l'implantation de la suivante, quelques jours plus tard. La succession est continue et l'occupation du sol permanente, ce qui fragilise la durabilité du système.

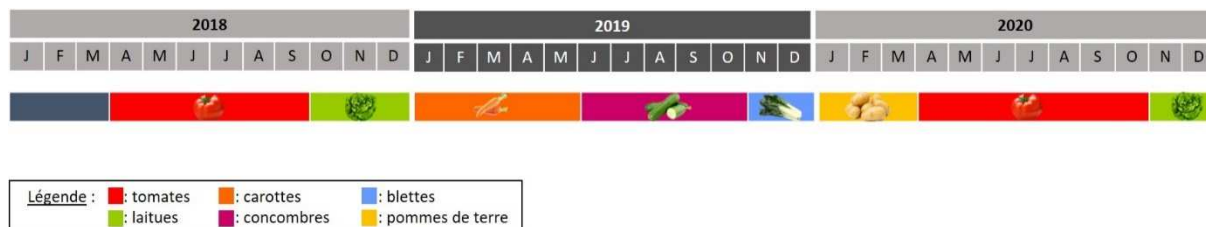


Figure 2 : Succession culturale mise en place sous le tunnel fixe

Tableau 1 : Espèces et variétés légumières communes aux deux systèmes

	Espèce végétale	Nom latin	Variété	Distributeur	Densité de plantation
Légumes	Blette	<i>Beta vulgaris</i>	Cardes blanches	BioSem	14 mottes/m ²
	Carotte	<i>Daucus carota subsp. sativus</i>	Napoli	Isitop	3 doubles rangs par planche
	Concombre	<i>Cucumis sativus</i>	Dreamliner greffé	BioSem	1,25 plant/m ²
	Laitue	<i>Lactuca sativa</i>	Ferega	Vitalis	14 mottes/m ²
	Pommes de terre	<i>Solanum tuberosum</i>	Margod	Payzons ferme	10 tubercules/ml
	Tomate	<i>Lycopersicum esculentum</i>	Cauralina greffée	Gautier Semences	1 plant tous les 50cm

Le système innovant intègre un tunnel mobile, dont les dimensions sont identiques à celles du tunnel fixe. La bâche et les matériaux utilisés sont également identiques au tunnel fixe. La mobilité du tunnel est permise grâce à des rails tubulaires, en acier galvanisé, sur lesquels circulent des roues à gorge, installées à la base de chaque arceau. Lors de la conception de ce tunnel, plusieurs critères ont été pris en compte par le constructeur Debernard. Le premier concernait la facilité de déplacement. Ainsi, le déplacement doit pouvoir s'effectuer sans outils de traction mais manuellement, par deux personnes, en moins d'une heure d'après le constructeur. Préalablement au déplacement, les points d'ancrage du tunnel sont retirés et les deux ouvrants sont maintenus en position ouverte. Cette opération fait l'objet d'observations au sein de l'expérimentation (temps de travaux et observation de la pénibilité). L'autre critère réside dans la rigidité de la structure. Pour s'en assurer, des renforts latéraux sont installés en bas de la structure et des croix de contreventements ajoutées en entrée et sortie de tunnel. La fixation du tunnel sur zone est assurée par des amarres à percussion. Il reste toutefois un espace entre le rail, posé sur le sol, et la bâche de couverture. Pour limiter la prise au vent du tunnel, le constructeur préconise de lester la bâche. A ces deux critères s'ajoutait celui du coût, imposé par l'équipe de la station. Le coût pour le tunnel mobile ne devait pas excéder le double de celui du tunnel fixe. En incluant les rails et roulettes nécessaires à la mobilité du tunnel ainsi que les renforts de la structure,

Station Expérimentale de Bretagne Sud – Chambre d'agriculture de Bretagne

Ces informations ont été recueillies dans les conditions propres à chaque essai et ne constituent pas une préconisation ou une vulgarisation directe.

le coût d'achat constructeur s'élève à 32 €/m². Le projet, d'une durée de trois ans, incluait trois zones pour le Système innovant. Toutefois, lors de la préparation de la parcelle expérimentale, une quatrième zone a pu être dégagée. La surface consacrée au système innovant compte ainsi quatre zones successives de 156 m², entre lesquelles est laissée une zone tampon de 15,6 m² pour faciliter la circulation, soit une surface totale de 670 m² linéaires (Figure 3).

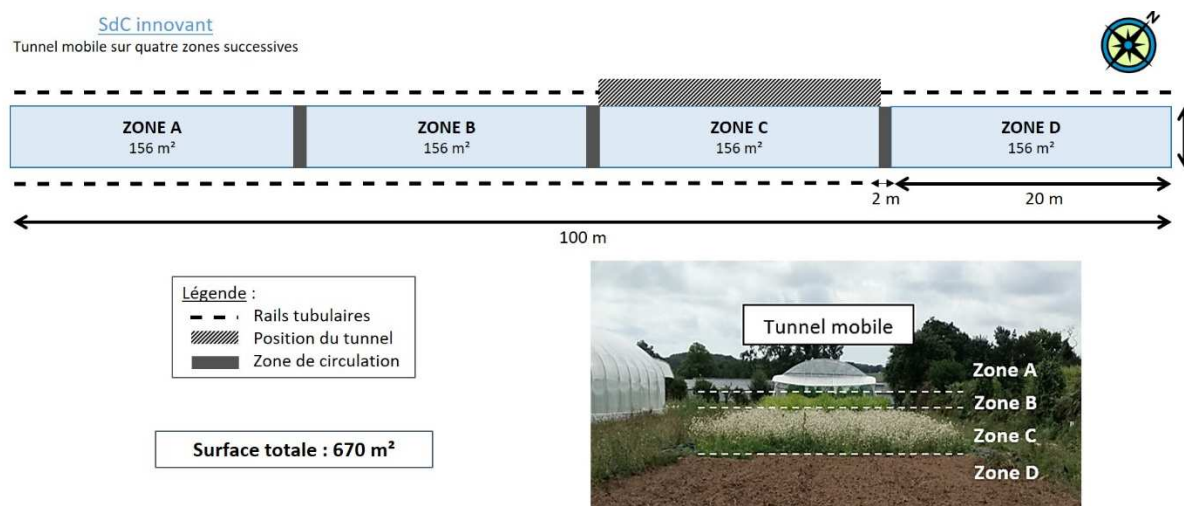


Figure 3 : Plan expérimental du système innovant, incluant 4 zones au tunnel mobile

Au démarrage du projet, la succession culturale du système innovant a été réfléchiée selon les objectifs de durabilité cités plus haut. Pour correspondre à la durée du projet, la succession est pensée sur trois ans et trois zones. Les itinéraires techniques et culturaux réalisés, par culture et par système, sont détaillés en Annexe I.

- **Désintensifier la succession culturale sous abri**

Le pilotage innovant reprend l'objectif de désintensification : une seule culture légumière est implantée par zone par an. Pour conserver l'intérêt de l'abri, des cultures d'été à fortes valeurs ajoutées sont implantées. En 2018, une tomate est implantée en zone C. Un concombre est implanté en zone D en 2019 alors qu'une seconde culture de tomates est implantée en 2020, en zone B.

- **Diversifier la succession culturale sous abri**

La mobilité du tunnel permet d'ajouter une culture supplémentaire de courgette en début de succession. De fait, la succession comprend les mêmes espèces légumières que le système de référence mais ajoute la courgette, comptant ainsi sept espèces et neuf périodes de culture.

Lorsque les zones ne sont pas cultivées, il est convenu que des cultures intermédiaires multiservices sont implantées. Six espèces sont choisies : l'avoine, le trèfle, la féverole, la phacélie, le sarrasin et le sorgho. Le choix de l'espèce implantée est discuté et arrêté en cours de projet selon la période et la durée de l'interculture. Les légumineuses sont associées à l'avoine en mélange d'espèces. L'avoine et le trèfle incarnat sont par exemple associés au semis dans des proportions respectives de 50 kg/ha et 15 kg/ha. Ces cultures sont semées à la volée puis enfouies sur place avant l'implantation de la culture légumière.

Tableau 2 : Espèces et variétés des cultures intermédiaires intégrées au système innovant

	Espèce végétale	Nom latin	Variété	Distributeur	Densité de plantation
Cultures intermédiaires	Avoine	<i>Avena sativa</i>	Duffy	AgroBio Pinault	50 kg/ha en mélange
	Féverole d'hiver	<i>Vicia faba</i>	Irena		90 kg/ha
	Phacélie	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	Natra		10 kg/ha
	Sarrasin	<i>Fagopyrum tataricum</i>	Kora		40 kg/ha
	Sorgho	<i>Sorghum sudane</i>	Piper		25 kg/ha
	Trèfle	<i>Trifolium incarnatum</i>	Rosa		15 kg/ha en mélange

Lorsqu'il s'agit d'engrais verts, comme le trèfle ou la féverole, l'intégration de couvert permet de revoir le pilotage de la fertilisation. Il est réalisé selon le principe suivant : apporter autant ou moins que dans le système de référence. Pour cela, la méthode du bilan azoté est utilisée. Des reliquats azotés sont réalisés avant l'implantation de chaque culture dans les deux systèmes. Si l'azote disponible dans le sol est plus important dans le système de référence, un apport d'intrants azotés peut être réalisé dans le système innovant. La quantité apportée est soit complémentaire à l'azote déjà disponible dans le sol, soit, au maximum, identique à celle apportée dans le système de référence.

- *Échelonner les périodes de production*

La possibilité de laisser la culture en place sur une zone avant la mise en culture de la suivante, sur une autre zone, est exploitée lors du pilotage. Dès que possible, la mise en culture est anticipée dans le système innovant par rapport au système de référence. Une exception réside dans la date de plantation de la tomate en 2018. En effet, cette culture nécessite la présence du tunnel sur lequel est fixé le support de culture. Or, en début de projet, une culture de courgettes est incluse à la succession culturale. Elle est implantée en mars 2018 en zone B, puis découverte fin avril. Le tunnel mobile est déplacé de la zone B à la zone C, qui reçoit les tomates, ne permettant pas d'anticiper la plantation. Les tomates des deux systèmes sont plantées avec un mois de décalage. A l'anticipation des dates de mise en culture s'ajoute le prolongement des périodes de récolte. Dans le système innovant, la culture est par principe laissée en place plus longtemps que dans le système de référence.

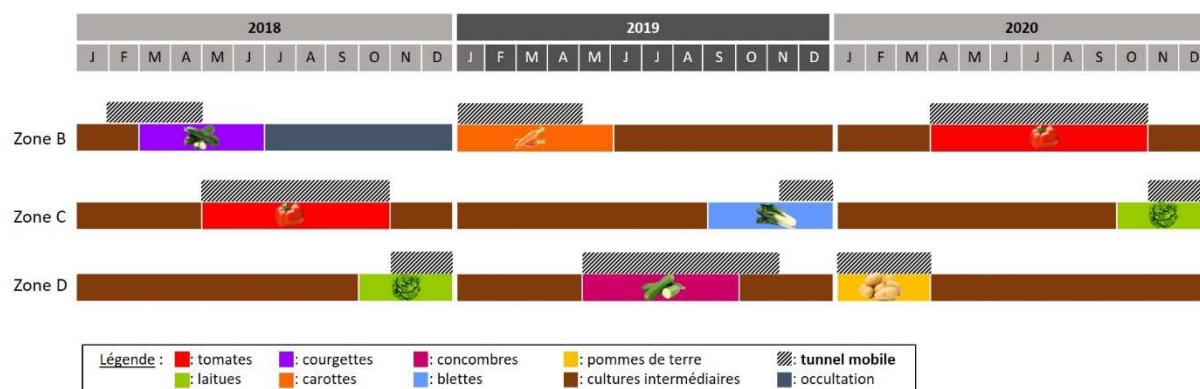


Figure 4 : Succession culturale sur trois ans dans le système innovant

Station Expérimentale de Bretagne Sud – Chambre d'agriculture de Bretagne
Ces informations ont été recueillies dans les conditions propres à chaque essai et ne constituent pas une préconisation ou une vulgarisation directe.

2.3 Relevés et mesures au cours des trois ans de projet

Pour répondre aux objectifs fixés, un panel de variables est suivi au cours des trois années de projet. L'ensemble des variables étudiées est listé ci-dessous et rattaché à la durabilité globale selon la carte mentale ci-dessous. Les choix d'indicateurs et leur lien avec les trois piliers de la durabilité sont discutables.

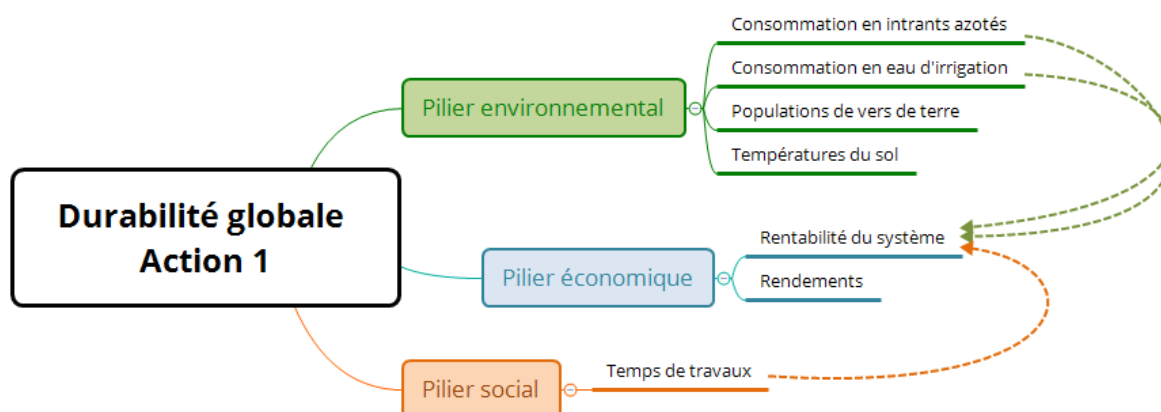


Figure 5 : Carte mentale de la durabilité globale et des indicateurs étudiés

- **Les rendements totaux des cultures**

Une variable de rendement commercialisable (kg/m^2) est utilisée pour comparer la production des deux systèmes. Ce rendement est calculé par culture, en divisant le poids commercialisable récolté total (kg) par la surface cultivée, soit 156 m^2 . A titre indicatif, un rendement de référence local est ajouté d'après le guide *Cultures maraîchères dans le Morbihan* (Calmet & Le Lan, 2019). Les rendements moyens du système innovant par culture sont aussi exprimés en pourcentage de ceux du système de référence. Cette conversion souligne l'importance des pertes ou gains de rendement pour le système innovant. Pour expliquer ces trois variables, l'échelonnement des périodes de production est décrit. Il est fonction de la succession culturale établie.

- **Les consommations en eau d'irrigation / pluviométrie**

Pour comparer la consommation en eau d'irrigation des deux systèmes, des compteurs sont installés à l'entrée de chaque tunnel. La quantité d'eau d'irrigation (mm) est ainsi relevée et suivie de manière hebdomadaire en 2018 et 2019 puis quotidiennement en 2020. Les pluviométries quotidiennes (mm) sont relevées par une station météo Sencrop. Elles sont totalisées par culture selon les dates de déplacement du tunnel. Par addition, la quantité totale d'eau (mm) par système est calculée.

- **Les consommations en intrants azotés**

La quantité totale d'azote fournie ($\text{kg N}/\text{ha}$) est calculée pour les deux Systèmes. Le calcul est réalisé en fonction du type d'apport et de la quantité apportée, exprimée en t/ha. Un coefficient d'efficacité est pris en compte. La quantité totale d'azote apportée par les intrants peut être estimée, par culture et au total. Parallèlement, dans le système innovant, la biomasse verte des couverts intermédiaires est mesurée à l'aide d'un quadrat d' 1 m^2 , disposé à trois reprises sur la zone de 156 m^2 . Pour chacun, la totalité du couvert est prélevée puis pesée de manière à obtenir une valeur moyenne de biomasse

verte, en g/m². Cette biomasse est ensuite renseignée dans l'outil MERCI, qui la converti en quantité d'azote disponible (kg N/ha). Cette quantité est ajoutée à celle fournie par les intrants azotés, lorsqu'il y en a, de manière à obtenir une quantité totale d'azote (kg N/ha) fournie pour le système innovant.

- ***Les populations de vers de terre***

Les populations de vers de terre sont comparées en début et fin de projet. Les prélèvements ont lieu le 23/03/2018 et le 14/04/2021. Pour réaliser les comptages, le protocole moutarde, conformément à la méthode fournie par l'Observatoire Participatif des Vers de Terre (OPVT), est appliqué sur trois placettes par système. La fiche de données est également fournie par l'OPVT : les vers de terre sont comptabilisés selon trois catégories fonctionnelles (épigés, anéciques, endogés) puis selon leur maturité (adulte/juvénile) en fonction de la présence du clitellum.

- ***Les températures du sol sous abri***

La température du sol (°C) sous abri est relevée en continu, heure par heure, par une sonde Tinytag. Deux électrodes sont plantées à 15 cm de profondeur, à 1 m l'une de l'autre, au milieu d'une des planches centrales des tunnels. Les données sont extraites sous forme de fichier Excel puis analysées. Une température moyenne par heure est d'abord calculée, puis moyennée pour obtenir la température journalière moyenne (°C). Ces relevés sont réalisés pour toutes les cultures des deux systèmes.

- ***Les temps de travaux***

Les temps de travaux ainsi que le nombre de personnes impliquées sont notés pour chaque opération culturale réalisée, par système. Le temps total, en minutes, est obtenu par multiplication. Il est intégré au pilier économique de la durabilité, bien qu'il intègre aussi le pilier social en termes de charge de travail. Par soucis de simplification, sept types d'opérations sont définis : travail du sol, fertilisation, semis/plantation, entretien de la culture, protection de celle-ci et fin de culture. Le déplacement du tunnel mobile, qui est une opération à part entière du système innovant, est comptabilisé. Pour ce système, les opérations liées à l'intégration des cultures intermédiaires sont incluses au temps de fertilisation. Les temps de récolte ne sont pas pris en compte dans cette analyse comparative car ils ne sont pas tous relevés et dépendent du rendement.

- ***Le bilan économique pour comparer la rentabilité des systèmes***

Il s'agit d'évaluer la rentabilité, comme indicateur de durabilité économique, du système innovant par rapport au système de référence. La comparaison est basée sur le calcul des produits d'exploitation dégagés et des charges engendrées par les deux systèmes.

Les produits d'exploitation proviennent de la vente de légumes. Par choix, la totalité de la production récoltée est considérée comme vendue. La perte liée aux délais de conservation entre la récolte et la vente n'est pas chiffrée car elle serait variable selon la semaine de commercialisation et complexifierait l'étude économique. Les chiffres d'affaires calculés sont donc surestimés. Les quantités totales de légumes produites par semaine sont calculées. Pour prendre en compte l'allongement des périodes de production du système innovant, les fluctuations hebdomadaires des prix de vente sont prises en compte selon les dates de récoltes indiquées pour chaque culture. Les prix de vente sont ceux du Marché d'Intérêt National Bio-Nantes, indiqués sur le site internet des Réseaux des Nouvelles des Marchés. Le chiffre d'affaires total (€) dégagé par culture est calculé, puis sommé pour obtenir le chiffre d'affaires total (€) par système.

Station Expérimentale de Bretagne Sud – Chambre d'agriculture de Bretagne

Ces informations ont été recueillies dans les conditions propres à chaque essai et ne constituent pas une préconisation ou une vulgarisation directe.

Les charges sont répertoriées selon six postes (Tableau 3). Les coûts d'achat des tunnels sont amortis sur dix ans de manière linéaire. Pour correspondre à la durée du projet, les montants de trois annuités sont sommés dans les charges de matériel. Des différences sont attendues sur les charges d'entretien des cultures, du fait de l'utilisation de matériaux biodégradables dans le système innovant, et sur les charges de plants et semences en raison de l'implantation de la courgette et des cultures intermédiaires. L'eau d'irrigation n'est pas incluse aux charges. Elle provient d'une retenue d'eau collinaire et n'est pas prélevée sur le réseau. Le matériel d'irrigation (goutte à goutte, asperseurs) est identique dans les deux systèmes donc les coûts associés ne sont pas comptabilisés. Les dépenses engagées pour les différents achats sont ramenées aux conditionnements, de manière à obtenir le coût unitaire hors taxe. Seules les quantités réellement utilisées pour les deux systèmes sont comptabilisées.

Tableau 3 : Descriptif des six postes de charges identifiés

Poste de charges	Descriptif
Charges de matériel	Coût d'achat des tunnels (Debernard), amorti sur dix ans selon un taux linéaire
Charges plants et semences	Plants légumiers (BioSem) Semences des cultures intermédiaires (AgroBioPinault)
Achats d'intrants azotés	Humibio 7-5-7 (Genetic Distribution) Arvor compost (Arvor compost)
Charges d'entretien de la culture	Paillages plastiques (CAMN) Ficelles support de culture (CAMN) Bâche d'occultation dans le système innovant (CAMN)
Charges de protection de la culture	Achat d'auxiliaires de culture (Biobest & Koppert) Traitements phytosanitaires (CAMN)
Coût du travail	Temps de travaux totaux, hors temps de récolte et temps de montage du tunnel, rapporté au SMIC : 10,15 €/h brut en août 2020.

2.4 Résultats de l'action 1 : Désintensifier les systèmes de culture sous abri par l'utilisation d'un matériel innovant : le tunnel mobile

- *Les rendements totaux par culture*

Les valeurs des rendements moyens par culture (kg/m²) sont présentées en Annexe II. Par rapport aux rendements moyens du secteur, les rendements obtenus sur les deux systèmes sont cohérents. Pour les deux cultures de tomates, le système innovant produit environ 4 kg/m² de moins que le système de référence, qui atteint lui une valeur haute par rapport au rendement du secteur. Le rendement dégagé sur pommes de terre est lui aussi inférieur d'1 kg/m².

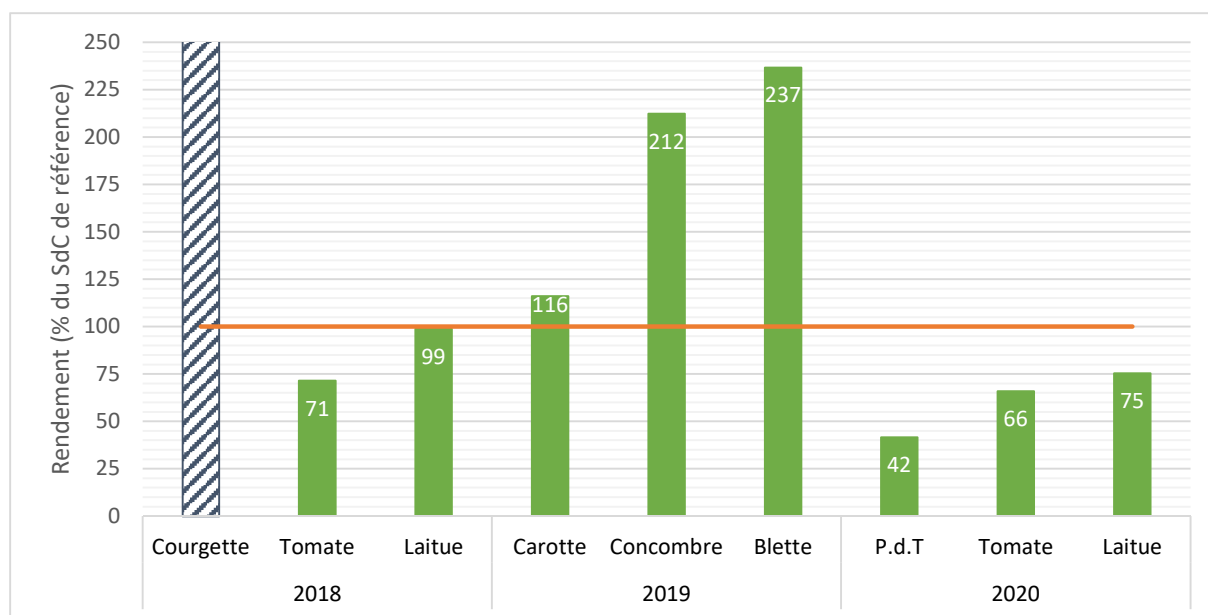


Figure 6 : Rendements du système innovant, exprimés en proportion du rendement du système de référence (%)

Les rendements du système innovant sont exprimés en proportion des rendements du système de référence en Figure 6. Cette représentation souligne le **gain de rendement pour trois des sept cultures qui sont la carotte (+ 16%), le concombre (+ 112%) et la blette (+ 137%)**. La perte observée la plus importante s'élève à 58 % pour la culture de pomme de terre. Il semblerait que l'année 2019 ait été favorable au système innovant alors qu'il a moins produit pour les cultures des autres années.

- *Les consommations en eau d'irrigation / pluviométries*

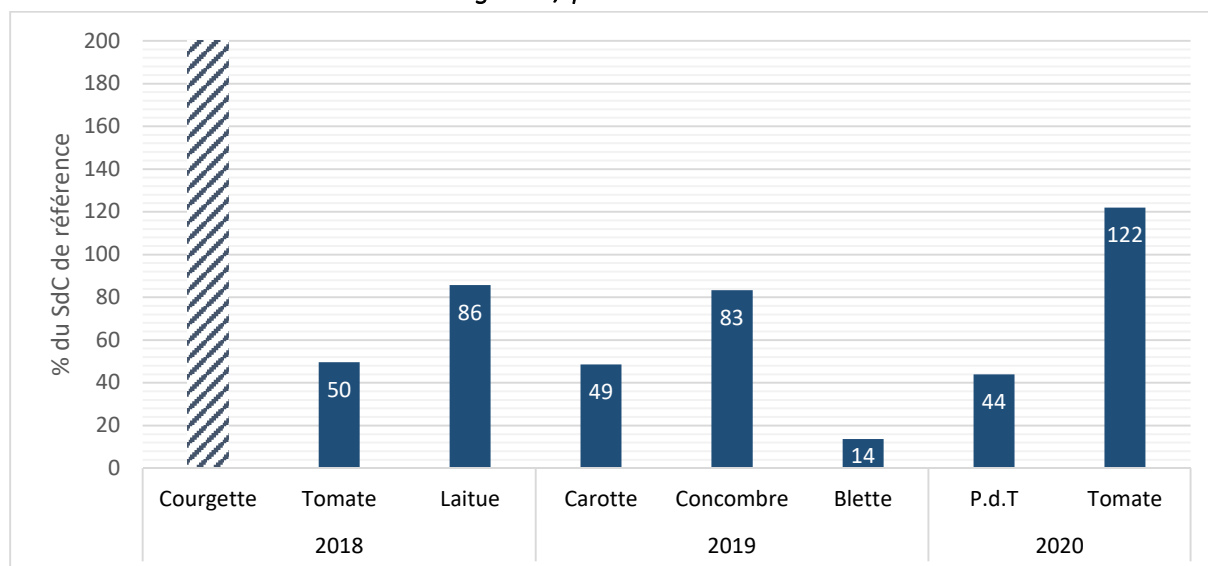


Figure 7 : Economies en eau d'irrigation en % du système témoin

Avec une approche système, la quantité d'eau d'irrigation totale est plus élevée dans le système innovant que dans le système de référence (+ 11 %). Cependant, l'analyse menée par culture a montré que, sans la huitième culture de courgettes, le système innovant a consommé 16 % d'eau d'irrigation en moins. Ces consommations en eau peuvent être ramenées aux rendements obtenus (Tableau 4).

Tableau 4 : Consommations en eau d'irrigation par kg de légumes produits pour chaque système

Année	Culture	Système de référence	Système innovant	Différence (L/kg) entre les deux systèmes
		Litres d'eau d'irrigation/kg de légumes produit	Litres d'eau d'irrigation/kg de légumes produit	
2018	Courgette	-	184.96	-
	Tomate	50.47	35.06	- 15.41
	Laitue	19.12	13.57	- 5.55
2019	Carotte	72.47	30.34	- 42.13
	Concombre	190.20	74.70	- 115.5
	Blette	12.78	0.74	- 12.04
2020	P.d.T	18.39	19.46	+ 1.07
	Tomate	49.26	109.34	+ 60.08

Les cultures de laitues (2018), carottes et blettes (2019) et pommes de terre (2020) bénéficient d'un apport d'eau complémentaire à l'irrigation grâce à la valorisation des précipitations. Ainsi, la culture de carottes sous tunnel mobile reçoit, en totalisant l'irrigation et les précipitations, autant d'eau que dans le système de référence.

- *Les consommations en intrants azotés*

Les apports totaux en azote (kg N/ha) sont illustrés par système en Figure 8. Par rapport au système de référence, les unités apportées par intrants azotés dans le système innovant sont toujours inférieures ou égales, conformément au principe de pilotage établi.

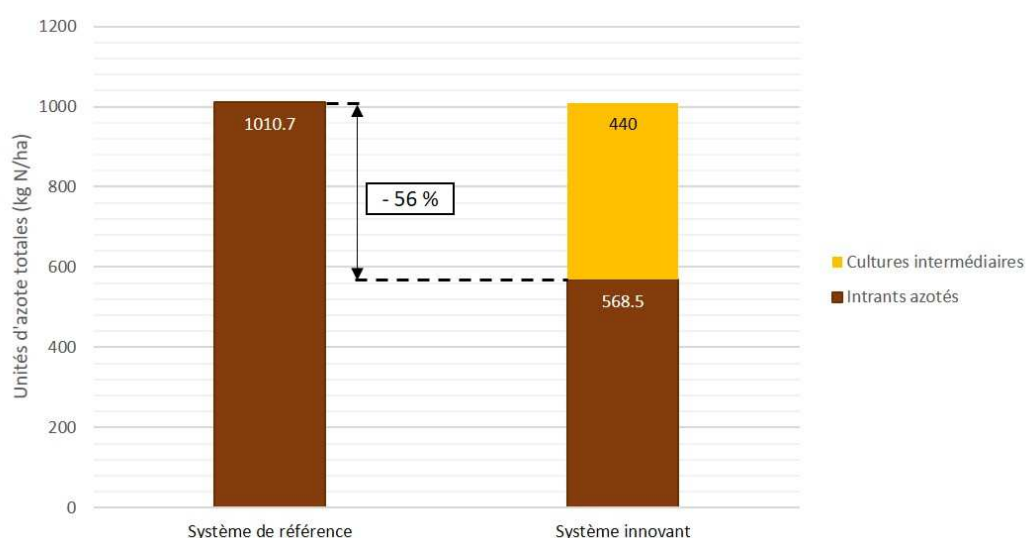


Figure 8 : Consommations en unités d'azote par système et leur origine

Le pourcentage d'économie total s'élève à 56 %. L'intégration des cultures intermédiaires et leur restitution estimée d'azote fournissent des unités supplémentaires (outil MERCI). Cet apport

complémentaire permet d'atteindre une fourniture d'azote équivalente à celle du système de référence et donc d'assurer la nutrition azotée des cultures.

- *Les populations de vers de terre*

Les résultats obtenus par le protocole moutarde ont révélé, pour les deux années comparées, des effectifs d'échantillons faibles et variables qui ne permettent pas de conclure sur la significativité des échantillons. Seule une tendance, en nombre moyen d'individus par système et par année, peut être interprétée (Figure 9).

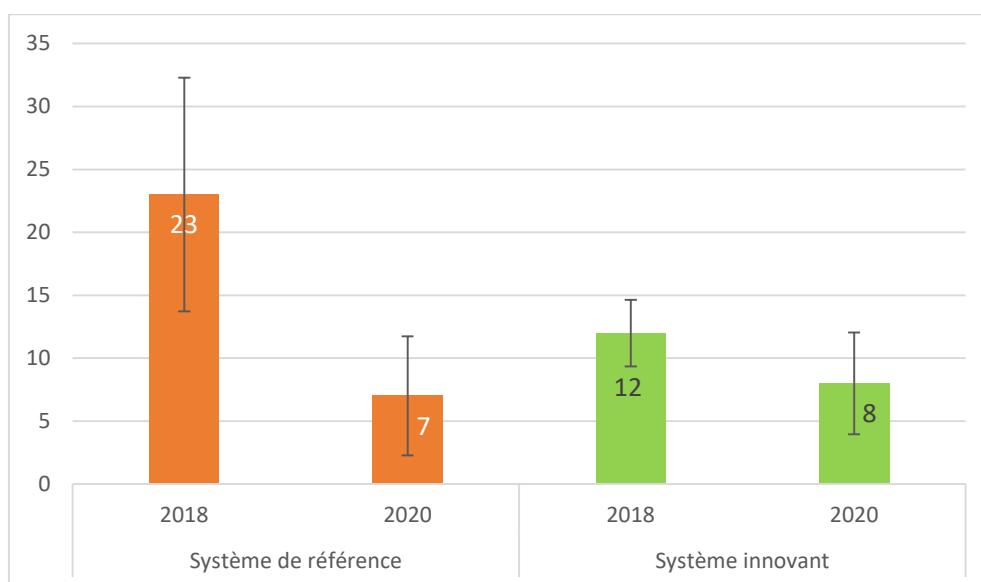


Figure 9 : Résultats des comptages de vers de terre pour les deux systèmes

En raison d'une trop forte variabilité au sein de chaque système, les différences relevées ne sont pas statistiquement interprétables. Bien qu'une diminution de l'effectif des vers de terre soit observé pour chaque système entre 2018 et 2020, les résultats ne permettent pas de conclure quant à une différence entre les deux systèmes ni sur l'évolution entre les deux années. Ces relevés seront reconduits sur le site de la station expérimentale d'Auray sur le long terme pour mettre en évidence une éventuelle évolution des communautés lombriciennes.

- *Les températures du sol sous abri*

De manière générale, les températures du sol sous les deux abris suivent les mêmes tendances, à quelques degrés près. Le sol sous tunnel mobile est généralement plus frais que celui du tunnel fixe.

Lorsque le tunnel arrive sur la zone, le sol se réchauffe progressivement mais n'atteint pas les températures sous tunnel fixe. Par exemple, la culture de laitues en 2018 est plantée le 24/09 en plein champ puis couverte par le tunnel mobile le 15/11, soit deux mois après plantation (Annexe I). Les températures du sol, 15 jours après déplacement du tunnel, sont représentées en Figure 11. La différence moyenne s'élève à 1°C sur cette période, le sol sous tunnel mobile restant plus frais que celui du tunnel fixe. La même observation a été réalisée pour les autres cultures : le sol du tunnel mobile, en passant de plein champ à couvert, se réchauffe plus lentement. Ces observations confirment l'anticipation nécessaire du déplacement du tunnel avant la mise en culture pour garantir un bon démarrage.

Station Expérimentale de Bretagne Sud – Chambre d'agriculture de Bretagne

Ces informations ont été recueillies dans les conditions propres à chaque essai et ne constituent pas une préconisation ou une vulgarisation directe.

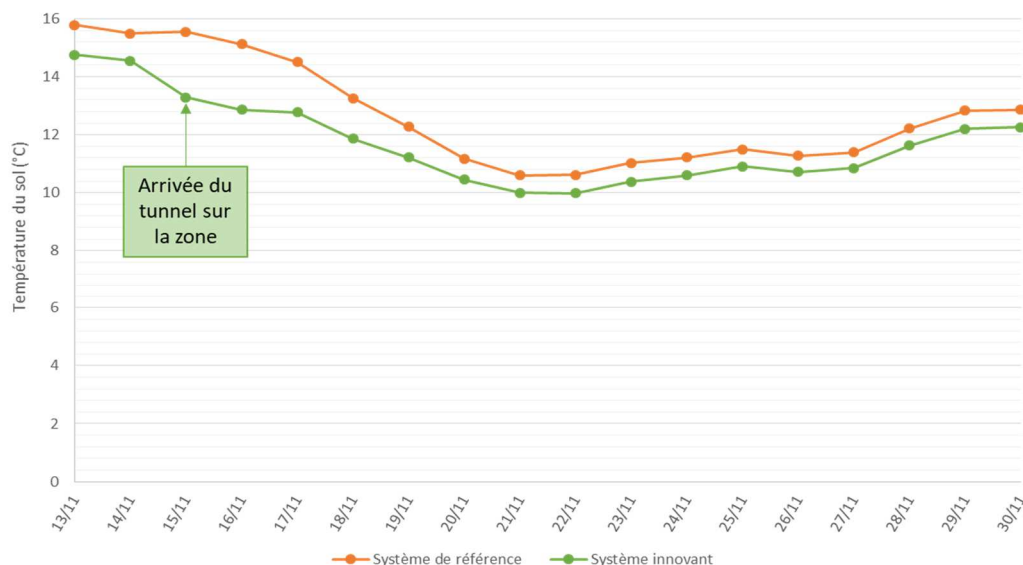


Figure 11 : Températures journalières moyennes du sol sous abri dans les deux systèmes pour la culture de laitues saison 2018 (jusqu'à 15 jours après plantation)

Des relevés complémentaires seront réalisés pour étudier l'effet du déplacement du tunnel sur les températures du sol de la zone mise à découvert.

- **Les temps de travaux**

Les temps de travaux, en minutes, sont représentés en Figure 12 pour les huit types d'opérations définis. De manière générale, pour les deux systèmes, les opérations d'entretien de la culture (palissage) sont de loin les plus chronophages, suivies des opérations de semis/plantation et de désherbage.

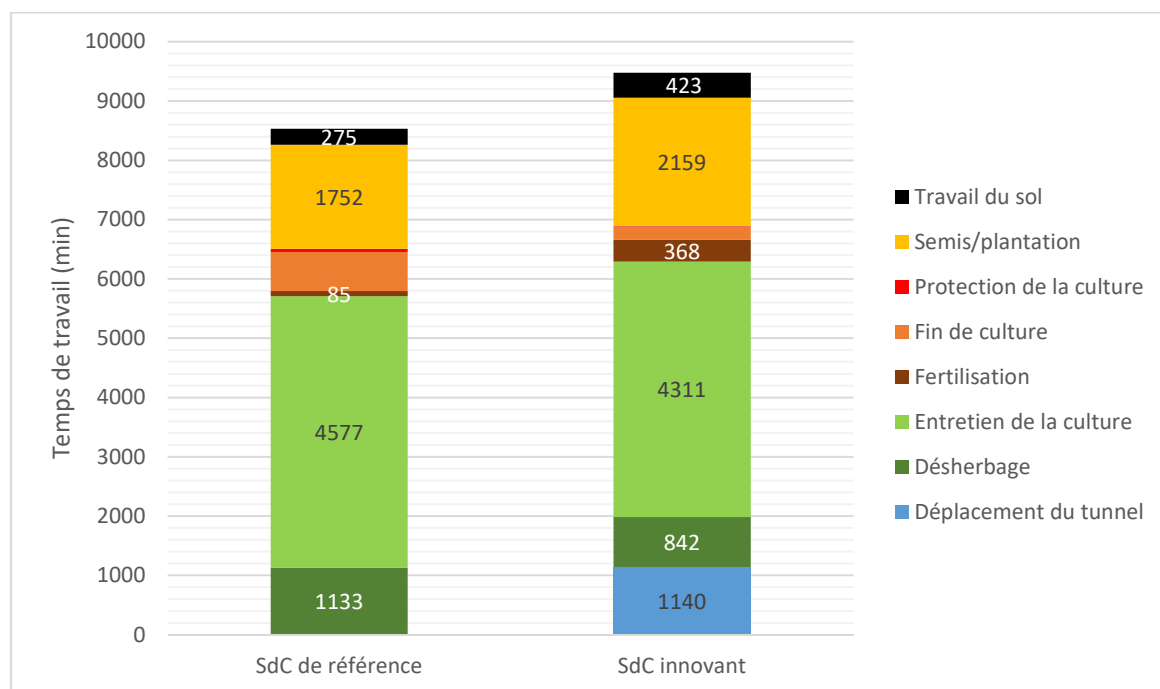


Figure 12 : Temps de travaux totaux (min), par opération, pour les deux systèmes

Station Expérimentale de Bretagne Sud – Chambre d'agriculture de Bretagne

Ces informations ont été recueillies dans les conditions propres à chaque essai et ne constituent pas une préconisation ou une vulgarisation directe.

Dans le système innovant, une augmentation des temps de travaux est observée sur les opérations de fertilisation (+ 304 %) et de travail du sol (+ 60 %). Les temps de fertilisation sont nettement supérieurs du fait de l'intégration des cultures intermédiaires. D'une part, ces cultures permettent une économie en intrants azotés mais impliquent d'autre part des opérations supplémentaires de semis et fauche. Le temps de travail supplémentaire dédié au travail du sol relève de l'exposition du sol aux conditions climatiques extérieures. La préparation du sol nécessite parfois plusieurs passages d'engins pour l'ameublir. Enfin, le temps alloué au déplacement du tunnel est à prendre en compte dans le système innovant (+ 1140 min). Il est compté environ 60 min à deux personnes pour le déplacement d'une zone à l'autre. **Au total, le temps de travail est supérieur de 10 % pour le système innovant (+ 814 min), ce qui correspond au temps de déplacement du tunnel.** Autrement dit, hormis ce temps de déplacement, les temps de travaux sont équivalents dans les deux systèmes, bien que leur répartition soit différente.

Lien vidéo du déplacement du tunnel mobile en 2020 :

<https://twitter.com/maetBzh/status/1401946636855746562?s=20>

- **Le bilan économique**

Tableau 5 : Bilan économique des deux systèmes sur les trois années de projet

CHARGES				PRODUITS			
	SdC de référence	SdC innovant	Différence (SdC _i -SdC _{ref})		SdC de référence	SdC innovant	Différence (SdC _i -SdC _{ref})
Charges matériel	1 039	1 541	502	Produits d'exploitation	25 114	22 812	-2 302
Coût du tunnel*	1 039	1 541	502	Vente de la production*	25 114	22 812	-2 302
Charges plants et semences	2 552	2 699	147				
Cultures légumières	2 552	2 682	130				
Cultures intermédiaires	0	17	17				
Achats d'intrants azotés	669	365	-304				
Humibio 7-5-7	84	40	-44				
Arvor compost	585	325	-260				
Charges d'entretien de la culture	194	384	189				
Paillages	36	107	70				
Ficelles	158	264	106				
Bâche d'occultation**	0	13	13				
Charges de protection de la culture	279	239	-40				
	279	239	-40				
Coût du travail	1 332	1 470	138				
Coût horaire	1 332	1 470	138				
TOTAL CHARGES :	6 066	6 698	632	TOTAL PRODUITS :	25 114	22 812	-2 302
		SOLDE SdC de référence :	19 048				
		SOLDE SdC innovant :	16 114				
				Δ = -2 934			

Le système innovant dégage un chiffre d'affaires supérieur pour trois cultures sur sept et ajoute un bénéfice supplémentaire grâce à la production de courgettes (Tableau 5). Malgré cela, **le chiffre d'affaires du système innovant est inférieur de 10 % à celui du système de référence.** Cette perte est notamment expliquée par les faibles rendements des deux cultures de tomates. Pour chacune, la perte s'élève à plus de 2 500 €. A l'inverse, la culture de concombres de 2019 est source d'un bénéfice supplémentaire dans le Système innovant car elle avait moins subi l'attaque de pucerons. Conformément aux faibles rendements obtenus, la culture de pommes de terre est soldée d'une perte

d'environ 935 €. Cette perte est compensée de moitié par le bénéfice de la culture de blettes. Enfin, pour les cultures de laitues et carottes, les chiffres d'affaires sont similaires.

Quatre postes de charges sont supérieurs dans le système innovant. Il s'agit de celui des charges de matériel, des achats de plants et semences, de l'entretien de la culture et du coût du travail. Le coût d'achat du tunnel mobile représente 1,5 fois celui du tunnel fixe (système de référence), ce qui explique la différence observée. Les coûts d'achat plants et semences sont supérieurs de 5 % en raison de l'implantation de la courgette et de l'intégration des cultures intermédiaires. Les charges d'entretien de la culture sont plus élevées car les paillages et ficelles sont choisis biodégradables. A quantité égale, leur coût est supérieur. A cela, s'ajoute la bâche d'occultation précédant la culture de carottes, qui n'est utilisée que dans le système innovant. Pour ce qui est du surcoût lié aux temps de travaux, il est à relier aux observations précédentes. Les charges dédiées aux achats d'intrants azotés sont réduites de 304 € du fait des 50 % d'économie réalisés.

Au total, **les charges du système innovant sont 10 % plus élevées que celles du système de référence.** Le bénéfice dégagé s'élève à 16 114 € dans le système innovant, soit 2 934 € (16 %) de moins que le système de référence sur les trois années de projet.

2.5 Discussions et perspectives

Discussion des résultats économiques

Lors de l'étude économique, plusieurs simplifications ont volontairement été réalisées. Concernant les produits d'exploitation, il a été considéré que la totalité des productions des deux tunnels était vendue. Or, il est possible que la production du système de référence ne soit pas vendue dans sa totalité. Avec des dates de récolte similaires à celle du secteur, la production est en concurrence sur le marché au moment où l'offre est importante ce qui pourrait dégager des invendus. Ces pertes éventuelles, non prises en compte, pourraient diminuer le chiffre d'affaires du système de référence.

Enfin, le coût d'immobilisation de la terre n'a pas été comptabilisé. Or, la surface est quatre fois supérieure dans le système innovant. Il pourrait être intéressant d'avoir un système, basé sur des références, comptant 156 m² sous tunnel associé à trois zones de plein champ de manière à avoir une idée de la production totale d'une surface de 670 m².

Discussion sur l'approche système

Dans le cadre du projet « Vers plus de durabilité en maraîchage bio », l'expérimentation système est pertinente car elle permet de prendre en compte les effets du tunnel mobile et de la succession innovante sur les divers aspects de la durabilité. Cependant, cette approche complique le dispositif expérimental, qui ne comprend pas de répétitions temporelles. L'analyse statistique des résultats est limitée. Des répétitions temporelles du système innovant seraient, en théorie, envisageables. Elles permettraient de s'affranchir des effets années liés aux conditions climatiques particulières. En pratique, ces répétitions mobiliseraient une surface trop importante et un protocole lourd de collecte des données.

Discussion sur la durabilité globale

Comme l'ont souligné les résultats, la durabilité a un coût financier. Chercher à améliorer un pilier n'est pas sans conséquence sur les autres car ils sont étroitement liés.

Le pilier social a d'ailleurs été moins évoqué. Il est difficile à quantifier mais une enquête pourrait par exemple estimer la satisfaction du producteur qui gagne en indépendance vis-à-vis des fournisseurs d'intrants azotés. Ce pilier est aussi représenté par le dégagement d'un revenu et donc d'un emploi sur une ferme.

De manière générale, le choix revient aux producteurs. Selon leurs objectifs de vie et de travail, l'intérêt pour le tunnel mobile est présent ou non. Si l'objectif est la durabilité environnementale, alors ce système peut apporter des éléments de réponse. Si la rentabilité du système est la priorité, alors le tunnel mobile n'est pas le plus approprié.

3 Conclusions

Objectifs atteints :

- Malgré des tempêtes hivernales puissantes, la structure du tunnel mobile a tenu. Elle a souffert de la même manière qu'un tunnel classique.
- La mobilité du tunnel a permis de repenser la succession culturale qui a été moins intense (respect du retour tous les 4 ans d'une Cucurbitacée/Solanacée sur la même zone).
- Réduction de 50 % des intrants fertilisants et diminution de l'eau d'irrigation utilisée sous le tunnel mobile.

Perspectives :

- Poursuivre l'utilisation du tunnel mobile, en envisageant un déplacement plus régulier pour valoriser les précipitations sur la zone couverte et l'intégration d'une zone dédiée à la culture d'un engrais vert.

Bibliographie et sources internet

Avenir Solutions. (2017). Evaluation de la pénibilité au travail de métiers de l'agriculture. Disponible à l'adresse : <https://agriculture.gouv.fr/evaluation-de-la-penibilite-au-travail-de-metiers-de-lagriculture-suivez-le-guide>

Bonny, S. (1994). Les possibilités d'un modèle de développement durable en agriculture : Le cas de la France. *Le courrier de l'environnement INRA*, 23, 12.

Bouchardie, A. (2017). Évaluation de l'impact de l'introduction d'un robot de désherbage sur les conditions de travail et la charge mentale des professionnels en exploitation maraîchère.

Brundtland, G., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S., & Chidzero, B. (1987). Our common future. *New York*, 8. Disponible à l'adresse : http://www.unece.org/fileadmin/DAM/ie/se/pp/EnCom15/28Nov/SustDev/HELD_SustDev_UNECE_EnComm15_2006_c.pdf

Calmet, J.P. & Le Lan, M. (2019). Calendriers culturaux et données techniques et économiques en Agriculture Biologique. *Cultures maraîchères dans le Morbihan*, 51.

Landais, E. (1998). Agriculture durable : Les fondements d'un nouveau contrat social ? *Courrier de l'environnement INRA*, 33, 18.

Lemerle, B. & Chicot, B. (2016). Bilan national 2012-2016. Observatoire des TMS des actifs agricoles. Disponible à l'adresse : <https://ssa.msa.fr/document/observatoire-des-troubles-musculo-squelettiques-des-actifs-agricoles/>

Supports audiovisuels

Lien vidéo du déplacement du tunnel mobile en 2020 (Action 1) : <https://twitter.com/maetBzh/status/1401946636855746562?s=20>

Lien vidéo pénibilité en maraîchage bio (Action 2) : <https://www.youtube.com/watch?v=IQY7Yy0eT38>

Annexe I : Itinéraires culturels de l'action 1 : évaluation d'un système innovant de tunnel mobile

Culture	Type d'opération	Détails de l'opération	Système de référence	Système innovant
Courgettes 2018	Travail du sol	Rotobèche	Pas de culture de courgettes	05/03/2018
		Canadien		23/02/2018
		Cultirateau		06/03/2018
	Fertilisation	Engrais		Humibio : 1,1 t/ha (77uN)
	Semis/plantation			12/03/2018
	Récoltes			Du 27/04 au 06/07
	Traitements phytosanitaires			Aucun
	Déplacement du tunnel			Le 07/05/2018
	Gestion de la fin de culture			Le 06/07/2018 puis occultation
	Tomates 2018	Travail du sol		Rotobèche
Canadien			27/03/2018	04/05/2018
Cultirateau			06/03/2018	04/05/2018
Fertilisation		Biomasse du couvert	-	Trèfle avoine : 1,5 kg/m²
		Engrais Compost	Humibio : 1 t/ha (70uN) Arvor compost : 10 t/ha (84uN)	Aucun
Semis/plantation		05/04/2018	09/05/2018	
Entretien de la culture		Effeuellages	29/05, 28/06, 04/07, 01/08, 08/08, 16/07, 19/09	19/07, 31/07, 21/08, 14/09, 17/09
		Enroulages ébourmandages	20/04, 23/04, 30/04, 11/05, 28/05, 05/07, 04/06, 14/06	14/05, 28/05, 04/06, 27/06, 04/07, 18/07, 31/07, 21/08, 10/10
		Etêtage des plants	29/08/2018	14/09/2019
Récoltes		Du 08/06 au 03/10	Du 28/06 au 14/11	
Traitements phytosanitaires		DIPEL DF 1 kg/ha	27/07 et 24/08/2018	27/07 et 24/08/2018
		Osiryl 20 L/ha	26/04/2018	-
Lâcher d'auxiliaires <i>Macrolophus pygmaeus</i> (1/m²)		17/05/2018	-	
Déplacement du tunnel		-	Le 15/11/2018	
Gestion de la fin de culture		Destruction le 10/10/2018	Le 14/11/2018 puis semis d'avoine féverole	
Laitues 2018	Travail du sol	Rotobèche	10/10/2018	-
		Canadien	10/10/2018	-
		Cultirateau	06/03/2018	24/09/2018
	Fertilisation	Biomasse du couvert	-	Trèfle avoine : 1,5 kg/m²
		Engrais	Humibio : 1,2 t/ha (84uN)	Humibio : 1 t/ha (70uN)
	Semis/plantation		12/10/2018	25/09/2018
	Récoltes		Du 10/12 au 17/12/2018	Du 05/12 au 17/12/2018
	Traitements phytosanitaires		Aucun	Aucun
	Déplacement du tunnel		-	Le 04/02/2019
	Gestion de la fin de culture		01/2019	En janvier 2019 puis semis d'avoine féverole

Culture	Type d'opération	Détails de l'opération	Système de référence	Système innovant
Carottes 2019	Travail du sol	Rotobèche	04/02/2019	10/07/2018
		Canadien	-	10/07/2018
		Cultirateur	04/02/2016	10/07/2018
	Fertilisation	Biomasse du couvert	-	Féverole : 5 kg/m ²
		Engrais	Humibio : 0,8 t/ha (56uN)	Aucun apport
	Semis/plantation		04/02/2019	04/02/2019
	Récoltes		Du 29/04 au 29/05/2019	Du 29/04 au 19/06/2019
	Traitements phytosanitaires		Aucun	Aucun
	Déplacement du tunnel		-	Le 14/05/2019
	Gestion de la fin de culture		29/05/2019	19/06/2019 puis semis de sorgho
Concombres 2019	Travail du sol	Rotobèche	31/05/2019	-
		Canadien	29/05/2019	13/05/2019
		Cultirateur	03/06/2019	13/05/2019
	Fertilisation	Biomasse du couvert	-	Avoine féverole : 5,0 kg/m ²
		Engrais Compost	Humibio : 1 t/ha (70uN) Arvor compost : 10 t/ha	Aucun
	Semis/plantation		06/06/2019	16/05/2019
	Entretien de la culture	Enroulages ébourmages	12/06, 19/06, 24/06, 28/06, 03/07, 04/07, 09/07, 18/07, 25/07, 07/08, 12/08, 27/08	28/05, 04/06, 11/06, 19/06, 25/06, 10/07, 18/07, 25/07, 08/08, 12/08, 27/08
		Descentes	17/07, 23/07, 31/07	17/07, 31/07, 08/08, 12/08
	Récoltes		Du 05/07 au 01/10	Du 18/06 au 11/10
	Traitements phytosanitaires	Flipper 16 L/ha	06/06 et 10/07/2019	-
		Armcarb 0,3 g/m ²	-	04/09/2019
	Lâchers d'auxiliaires	<i>Aphidoletes</i>	13/06 et 03/07/2019	13/06 et 03/07/2019
		<i>Aphidaxis</i>	13/06/2019	-
		Swirskii Breeding S	-	13/06/2019
		<i>Aphidius</i>	03/07/2019	03/07/2019
		Chrysope	03/07/2019	03/07/2019
	Déplacement du tunnel		-	Le 14/11/2019
	Gestion de la fin de culture		01/10/2019	Le 29/10/2019 puis semis d'avoine trèfle
Blettes 2019	Travail du sol	Rotobèche	02/10/2019	29/08/2019
		Canadien	01/10/2019	-
		Cultirateur	02/10/2019	29/08/2019
	Fertilisation	Biomasse du couvert	-	Féverole : 7,1 kg/m ² Sarrasin : 1,7 kg/m ²
		Engrais	Humibio : 1,2 t/ha (84uN)	Humibio : 1 t/ha (70uN)
	Semis/plantation		02/10/2019	29/08/2019
	Récoltes		Du 21/11 au 16/12/2019	Du 21/11 au 23/04/2020
	Traitements phytosanitaires		Aucun	Aucun
	Déplacement du tunnel		-	Le 06/01/2020
	Gestion de la fin de culture		21/01/2020	Le 27/04/2020 puis semis de sorgho

Station Expérimentale de Bretagne Sud – Chambre d'agriculture de Bretagne

Ces informations ont été recueillies dans les conditions propres à chaque essai et ne constituent pas une préconisation ou une vulgarisation directe.

Culture	Type d'opération	Détails de l'opération	Système de référence	Système innovant
Pommes de terre 2020	Travail du sol	Rotobèche	22/01/2020	20/01/2020
		Canadien	-	13/01/2020
		Cultirateur	-	-
	Fertilisation	Engrais	Humibio : 1 t/ha (70uN) 22/01/2020	Humibio : 0,5 t/ha (35uN) 20/01/2020
	Semis/plantation		23/01/2020	21/01/2020
	Récoltes		Le 06/04/2020	Le 15/04/2020
	Traitements phytosanitaires		Aucun	Aucun
	Déplacement du tunnel		-	Le 03/04/2020
	Gestion de la fin de culture		06/04/2020	Le 15/04 puis semis de sorgho
Tomates 2020	Travail du sol	Rotobèche	09/04/2020	30/03/2020 03/04/2020
		Canadien	09/04/2020	30/03/2020
		Cultirateur	09/04/2020	03/04/2020
	Fertilisation	Biomasse du couvert	-	Avoine fèverole : 4,0 kg/m ²
		Engrais Compost	Humibio : 1,3 t/ha (91uN) Arvor compost : 25 t/ha (211uN) 09/04/2020	Arvor compost : 25 t/ha (211uN) 02/04/2020
	Semis/plantation		09/04/2020	03/04/2020
	Entretien de la culture	Effeuellages	06/05, 28/05, 09/06, 01/07, 16/07	06/05, 17/06, 09/07
		Enroulages ébourdages	29/04, 06/05, 14/05, 04/06, 17/06, 03/07, 06/08	29/04, 06/05, 15/05, 28/05, 04/06, 17/06, 03/07, 09/07, 21/07, 06/08
	Récoltes		Du 11/06 au 12/10 2 passages par semaine	Du 03/06 au 02/11 2 passages par semaine
	Traitements phytosanitaires	Pherodis 1 dose	28/04 et 23/07/2020	28/04 et 23/07/2020
		Macc 80 jardin 5 kg/ha	03/07/2020	-
	Lâcher d'auxiliaires <i>Macrolophus pygmaeus</i> (1/m ²)		29/04 et 04/06/2020	29/04 et 04/06/2020
	Déplacement du tunnel		-	Le 09/11/2020
	Gestion de la fin de culture		Exportation des résidus de culture	Rotobèche le 10/11 puis semis avoine/fèverole
Laitues 2020	Travail du sol	Canadien	14/10/2020	17/09/2020 23/09/2020
		Rotobèche	14/10/2020	17/09/2020
		Rotavator	-	23/09/2020
		Cultirateur	15/10/2020	23/09/2020
	Fertilisation	Engrais	Humibio : 1,5 t/ha (105uN) 15/10/2020	Humibio : 1,5 t/ha (105uN) 23/09/2020
	Semis/plantation		16/10/2020	23/09/2020 en extérieur
	Récoltes		Du 24/11 au 08/12/2020	Du 21/12 au 12/01/2021
	Gestion de la fin de culture		19/01/2021	19/01/2021

Annexe II : Rendements des cultures pour les deux systèmes sous abri

Année	Culture	Rendement (kg/m ²) de référence*	SdC de référence	SdC innovant	Différence de rendement (kg/m ²)	Différence de rendement en % du SdC de référence
			Rendement moyen (kg/m ²)	Rendement moyen (kg/m ²)		
2018	Courgette	2 à 4	-	3.81	-	-
	Tomate	6 à 15	16.64	11.88	-4.75	-29
	Laitue	2 à 3,5**	10.88	10.75	-0.13	-1
2019	Carotte	1,5 à 3	3.10	3.59	0.50	16
	Concombre	8 à 10	4.38	9.30	4.92	112
	Blette	1,5 à 4	1.10	2.61	1.51	137
2020	P.d.T	1,5 à 2,5	1.74	0.72	-1.02	-58
	Tomate	6 à 15	12.87	8.47	-4.40	-34
	Laitue	2 à 3,5**	2.97	2.24	-0.73	-25
TOTAL :						20

*d'après le *Calendrier des cultures maraîchères*, (Le Lan & Calmet, 2019)

**rendement de référence exprimé en nombre de têtes/m² pour la laitue