Convention n°18PAC0067 (ADEME)

Convention n°18_09630 (Région Sud)

Convention n°21_13948 (Région sud)

Projet RAFU Sud

RAPPORT TECHNIQUE FINAL

Synthèse des enquêtes paillage laitue

Rapport d'élaboration des prototypes (abri et plein-champ)

Validation du prototype d'abri au champ

Communication, valorisation, diffusion

Synthèse des enquêtes sur les pratiques de pose et de dépose des films de paillage en culture de laitue

Rapport final septembre 2022

Contexte

Dans la production maraîchère, l'utilisation de paillage agricole est incontournable pour le producteur. En utilisant du plastique, le maraîcher est à même de produire plus et mieux, tout en réduisant l'impact environnemental de la production agricole.

Chaque année, 5 000 tonnes de paillage conventionnels sont utilisées en France par les maraîchers pour leur production légumière. Le gisement de films neufs utilisés en Région SUD est estimé à 1200 tonnes. Posés sur la plante ou à même le sol, ces plastiques permettent de :

- Protéger la structure du sol, maintenir son potentiel, favorise le développement racinaire, foliaire et des fruits,
- Réduire la consommation d'eau, de produits phytopharmaceutiques et de fertilisants.
- Améliorer la précocité et augmenter la production.

Les capacités de recyclage du polyéthylène notamment, étant insuffisante pour recycler l'ensemble de notre production de déchets, la concurrence se fait rude à l'entrée des usines de recyclage. Ainsi, depuis 2011 le programme RAFU vise à développer des solutions techniques concrètes pour garantir le recyclage des films agricoles usagés et surtout améliorer leur compétitivité au sein de la filière de recyclage européenne. L'objectif est de réduire les volumes de FAU – Films Agricoles Usagés- afin de réduire les quantités collectées et transportées mais aussi d'améliorer la qualité du produit en fin de vie.

L'objectif est de garantir un taux de souillure des FAU inférieur à 50% (soit un coefficient de souillure de 2).

Pour chaque projet, l'intégralité des acteurs de la filière collaborent pour définir les priorités et les stratégies de développement : station d'expérimentation, organisations de producteurs, fabricants de films de paillage, machinistes agricoles, collecteurs et recycleurs des produits en fin de vie.

Dans le contexte de l'appel à projet Filidéchet, l'APREL et le Comité français des Plastiques en Agriculture se sont rapprochés pour améliorer la gestion des plastiques agricoles usagés en Région SUD. Le projet RAFU [Recyclage Agriculture Films Usagés] Région SUD porte plus spécifiquement sur les plastiques de paillage utilisés pour les cultures en salade plein champ et salade sous abri.

Enquête N° 1 : Laitue sous abri

Entre Novembre 2018 et Avril 2019, 10 exploitations productrices de laitues sous abris ont été enquêtées sur leurs pratiques de pose et de dépose des films de paillage par l'ingénieur responsable de la filière salade, Justine Garnodier (Ctifl/Aprel). Dans chaque exploitation enquêtée, ADIVALOR est venu réaliser un prélèvement de plastique souillé afin de mesurer le taux de souillure du paillage. La mise en relation des résultats des enquêtes avec les résultats des analyses du pourcentage de souillure a pour but de comprendre l'incidence des pratiques de pose et de dépose sur ce dernier facteur. Elle permettra à terme de mettre au point une fiche de bonne pratique à destination des producteurs.

1. Description des exploitations enquêtées

Les exploitations ont été choisies parmi celles qui participent au réseau d'essais variétaux laitue de l'APREL situées dans le Vaucluse et les Bouches du Rhône.

Tableau 1 : Caractéristiques des exploitations enquêtées

Exploitation	Exploitant	Localisation	Surface de laitue développée sur l'exploitation (ha)
EARL les jardins	Gilbert Laville	Saint Rémy de Provence	4.8
EARL des près	Didier Bernard	Eyragues	3.3
EARL Flament	Alexandre Flament	Berre L'Etang	2.0
EARL Les blés d'or	David Dublé	Berre L'Etang	7.8
/	François Sanchez	L'Isle sur la Sorgues	6.0
EARL Les Thorades	Vincent Aymes	Graveson	2.1
EARL de la coupe d'or	Jean François Cartoux	Avignon	3.0
EARL Lou Pesquier	Fréderic Souille	Monteux	3.8
/	Eric Brés	Saint Rémy de Provence	3.3
EARL les Arènes	Aurélien Bouchet	Eyragues	4.2

2. Caractéristiques des outils de production

Les producteurs enquêtés possèdent des tunnels de taille variable ainsi que des bi-tunnels (1 producteur), et des multi-chapelles (5 producteurs). La taille de ces outils de production entraine des répercussions sur les largeurs de paillage utilisées pour la production de laitue. En moyenne, la longueur des tunnels est variable de 60 à 160 m. La plupart de ces abris mesurent entre 100 et 120 mètres. Près de 65% des outils rencontrés au cours des enquêtes ont une largeur de 8m mais varient de 6.4m à 9.3m.

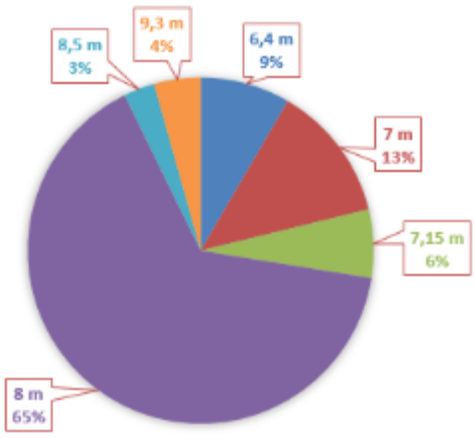


Figure 1 : Pourcentage de répartition des largeurs de chapelles ou tunnels

3. Choix des références de films de paillage

En culture de laitue, les producteurs utilisent du film de paillage noir macro perforé et micro perforé. Une des particularités de cette culture sous abris est la possibilité de réaliser plusieurs cycles sur la même saison. Par exemple, certains producteurs parviennent à enchainer jusqu'à 4 cycles de laitues, avec des plantations débutant au 1er septembre et des récoltes pouvant aller jusqu'au mois de mai.

Chez les producteurs réalisant plusieurs rotations, il est courant que le plastique soit réutilisé d'un créneau à l'autre. Cette enquête a permis de mettre en évidence qu'environ 50% des producteurs avaient recours à cette pratique. Les producteurs qui plantent à la machine ne réutilisent jamais le plastique pour des raisons de praticité et de rapidité. Seul un producteur ré-enroule les films de paillages afin de repositionner le rouleau pour les plantations suivantes. Dans ce cas, le producteur parvient même à garder son film d'une année sur l'autre lorsque le paillage est peu usé. Dans le cas des autres producteurs qui posent le paillage manuellement, la limite de la réutilisation est le risque de contamination accrue par les champignons en cas de réutilisation sur la deuxième rotation. En moyenne, le paillage est réutilisé une à deux fois maximum.

Tableau 3 : Références des paillages utilisés dans les exploitations enquêtées :

Marque	Epaisseur (µm)	Largeur (m)
Sotrafa noir	25	2
Sotrafa noir / blanc	30	4
Solplast noir	22	2
	22	1.5
	22	3.5
Case noir	25	2
	25	4

Le choix du film de paillage est dans la majorité des cas réalisé en fonction du prix d'achat. Néanmoins, le critère de la qualité du film pour la culture est également important pour la moitié des agriculteurs enquêtés. En revanche, les paramètres liés à la facilité de pose et de dépose des films de paillage sont moins mis en avant par les producteurs. La plupart de ceux qui réutilisent les paillages accordent un peu d'importance sur ce critère, mais ce n'est pas celui qui prévaut dans le choix de la référence.

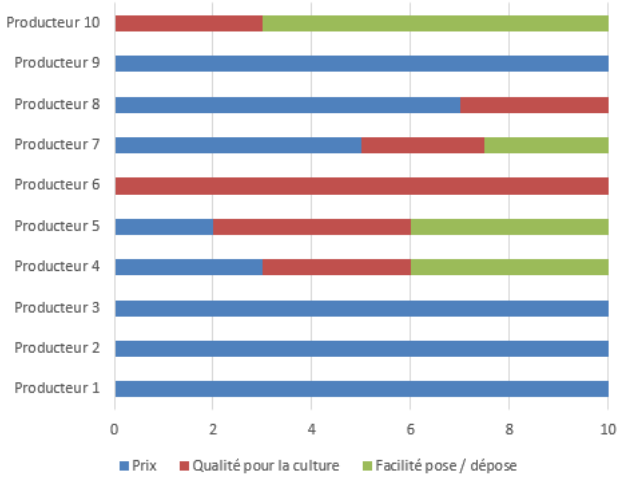


Figure 2 : Critères de choix de la référence du film de paillage

4. Pratiques de pose des paillages

Pour les exploitations enquêtées, la pose des films de paillage est réalisée dans 50% des cas manuellement et dans 50% des cas mécaniquement. L'importance de la surface de laitue développée sur l'exploitation n'est pas un facteur explicatif de ce choix technique.

Tableau 2 : Evaluation de la main d'œuvre nécessaire pour la pose des paillages

Temps de pose (h/ha)	Type de pose	Nombre de personnes impliquées dans la pose	Moyenne de temps de pose / ha / personne
30	Mécanique	4	22.5
15		3	
18		3	
15		3	
30		4	
13	Manuelle	2	12.2
5		2	
10		2	
7		2	
26		2	

Le temps de pose des paillages est très variable. Il est en moyenne près de deux fois plus élevé pour la pose à la machine car cette opération s'accompagne dans le même temps de la plantation. La pose à la machine implique également un besoin en main d'œuvre accru puisqu'il est nécessaire que deux ouvriers plantent tandis qu'un tractoriste conduit le tracteur.

L'objectif principal donné à l'opération de pose est **la qualité pour la culture**, qui est un critère important pour 90% des producteurs enquêtés. Ensuite, **la rapidité de pose** est le second critère le plus cité, il présente un intérêt pour 7 producteurs sur 10. La qualité de la pose pour anticiper la dépose semble être moins importante car c'est un critère cité par 3 producteurs.

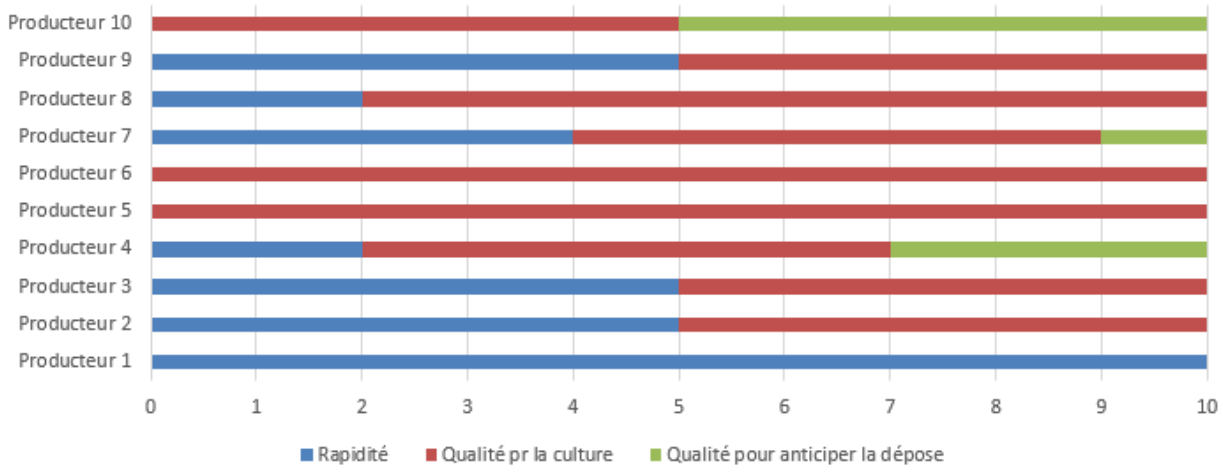


Figure 3 : Objectifs donnés à la pose des films de paillage

5. Pratique de dépose des paillages

La majorité des producteurs passe avec du matériel sur le paillage au cours de la récolte pour la sortie des caisses. Afin de préserver le sol et la qualité du paillage, notamment pour ceux qui le réutilisent, les producteurs utilisent des microtracteurs généralement montés avec des pneus basse pression. Malgré ces précautions, lorsque le sol est humide il n'est pas rare de voir le tracteur s'enfoncer et déchirer le paillage.

Avant l'opération de dépose, certains producteurs préparent le film du paillage en le secouant et en le laissant sécher. La principale limite de cette étape est le temps, puisque les producteurs sont souvent pressés de déposer pour pouvoir mettre en place rapidement la culture suivante. Par conséquent, la durée du séchage est souvent raccourcie voire supprimée.

Tableau 4 : Main d'oeuvre nécessaire à la dépose des films de paillage

Réutilisation	Temps dépose (h/ha)	Nombre de personnes impliquées dans la dépose
Non	4	2
	20	2
	4	1
	10	1
	8	2
Oui	2	2
	8	1
	5	2
	2	2
	8	4

La durée de stockage des films de paillage est très variable (15 jours à 1.5 ans). Dans la majorité des cas, les paillages sont conservés pour une durée inférieure à 6 mois, au sol sur des surfaces non bâchées.

La durée de stockage de ces films est fortement dépendante des conditions de reprise des films. En effet, dans le Vaucluse, les producteurs sont organisés avec Recupagri qui permet dans 100% des cas une récupération des films de paillage en un mois maximum. En revanche, dans les Bouches du Rhône, le stockage est souvent égal à 6 mois ou plus.

Les objectifs donnés à l'opération de dépose sont dans la majorité des cas liés à la rapidité de dépose. L'optimisation de la qualité des plastiques déposés apparaît comme le critère le plus important dans 20% des exploitations. En revanche, la préservation de la structure du sol ne semble pas être un facteur d'intérêt pour les producteurs puisque c'est un critère qui ressort seulement une fois dans l'enquête.

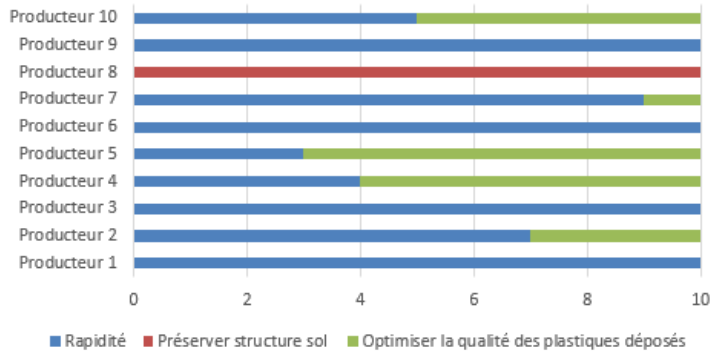


Figure 4 : Objectifs donnés à la dépose des films de paillage

6. Des taux de souillures très disparates

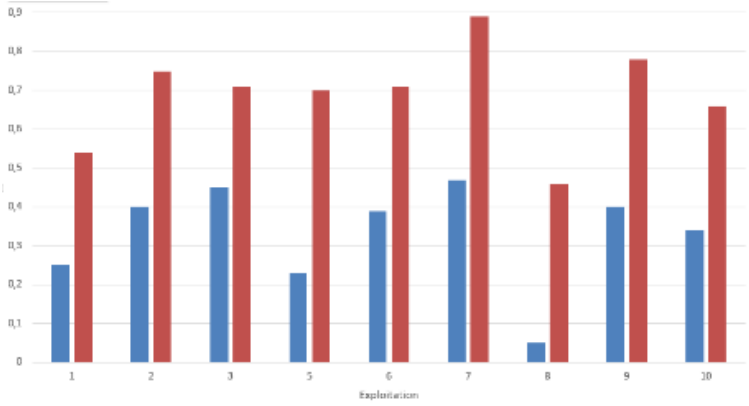


Figure 5 : Taux de souillure moyen (rouge) et teneurs en eau moyennes (bleu) des films de paillage échantillonnés dans les 10 exploitations (sources ADIVALOR)

Sur la campagne d'abris 2018-2019, les taux de souillure varient de 46% à 89%. Dans la majorité des cas, 50% de cette souillure est expliqué par l'humidité renfermée dans le paillage (présence de boue, ou de résidus de salades). Ces résultats sont plutôt encourageants puisqu'ils mettent en avant le fait que laisser sécher son plastique avant de le retirer permettrait de réduire par 2 la souillure à la dépose.
Il semblerait que ces résultats mettent en évidence un **impact des conditions de stockage** sur le pourcentage de souillure des films de paillage. En effet, pour les exploitations enquêtées, la teneur en eau des films de paillages stockés sur une dalle bâchée est en moyenne de 23% contre 40% pour les films stockés à même le sol.
Ensuite, les enquêtes ont permis de mettre en évidence que les producteurs qui parvenaient à leur objectif concernant la préparation du sol à la plantation étaient ceux qui avaient le plus faible taux de souillure. En effet, il est de 26% en moyenne contre 41% pour ceux dont les objectifs sont atteints plus rarement.
Cette enquête ne met en évidence aucune différence de souillure entre les producteurs qui réutilisent le paillage et ceux qui s'en servent une seule fois.

7. Attentes sur les films de paillage

La plupart des producteurs enquêtés souhaite que le paillage puisse être récupéré plus rapidement, afin d'éviter qu'il ne reste sur l'exploitation. D'autant que dans la majorité des cas, les films de paillage sont entreposés à même le sol et ne sont pas bâchés. Les producteurs regrettent l'image que cela renvoie à l'extérieur, notamment par épisodes de grand vent, lorsque les paillages s'envolent dans les arbres.
Certains producteurs se préoccupent du devenir des films de paillage après leur récupération. Ces derniers regrettent qu'il ne puisse pas être recyclé, et souhaiteraient pouvoir faire recycler ces matières premières.
Enfin, d'autres producteurs ne semblent plus intéressés par l'utilisation des films de paillage classiques, et souhaiteraient tester les nouvelles références de films de paillage biodégradables.

Concernant la potentielle utilisation d'une machine de dépose des paillages, il semblerait que la plupart des producteurs soit peu intéressés. Plusieurs limites à l'utilisation d'une telle machine ont été soulevées :

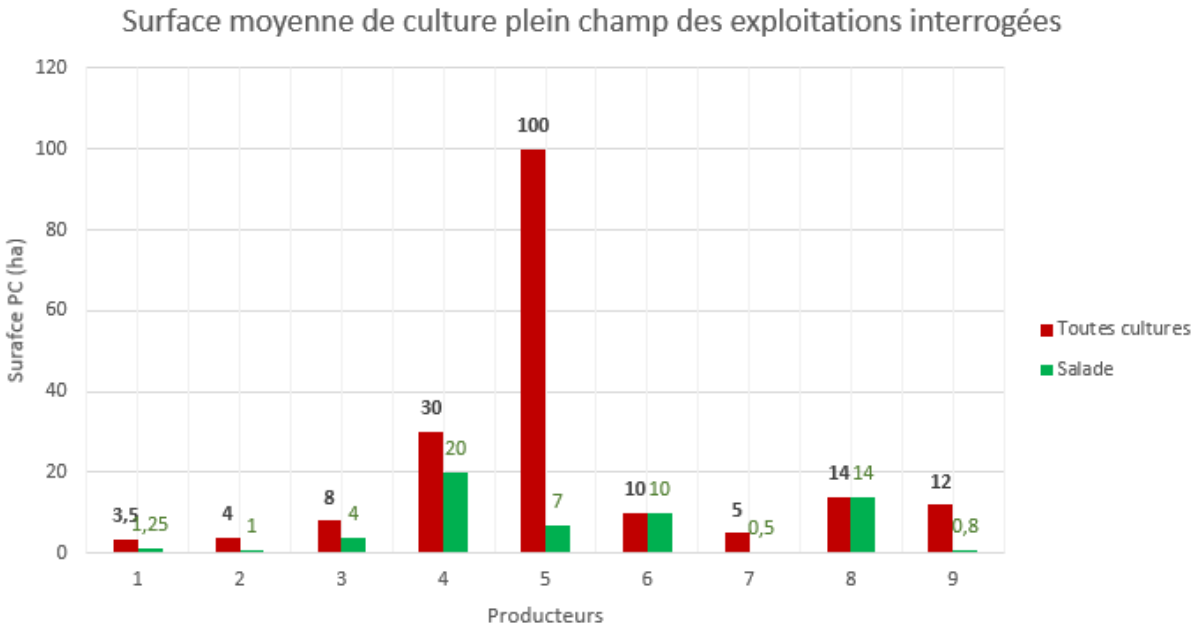
- Dans certaines exploitations, la configuration des serres (vielles serres verres basse) entraine une utilisation limitée de certains outils.
- Afin de faire sécher le sol le plus rapidement possible, certains producteurs découpent le paillage au fur et à mesure des récoltes de laitue.

Enquête N°2 : Laitue plein champ

En 2020, 10 exploitations productrices de laitues plein champ situées dans le Vaucluse et les Bouches du Rhône ont été enquêtées sur leurs pratiques de pose et de dépose des films de paillage par l'ingénieur responsable de la filière salade, Antoine Maroteaux (Ctifl/Aprel)

1. Description des exploitations enquêtées

Les exploitations ont été choisies parmi celles qui participent au réseau d'essais variétaux laitue de l'APREL.



Les surfaces de laitue de plein champ vont de 5000 m² à 20ha dans les exploitations enquêtées qui cultivent de 3.5 à 100 ha de cultures de plein champ (courgette, melon, choux, céleri…)

Les largeurs de planches en laitue vont de 1.05 m à 2m

2. Références de films de paillage

En plein-champ, les paillages sont plus diversifiés que dans les cultures sous abri enquêtées. Les producteurs utilisent essentiellement du film de paillage noir macro perforé et micro perforé mais le paillage blanc/noir est aussi utilisé chez 3 producteurs et le paillage blanc chez 1 producteur pour des plantations en période chaude. Certaines exploitations sont aussi équipées pour perforer le paillage.

Le paillage biodégradable est déjà bien présent dans les cultures plein champ : 50% des exploitations enquêtées en utilisent.

Les critères de choix principaux évoqués diffèrent légèrement des cultures sous abri. Les principaux critères sont les caractéristiques du film (L, l, épaisseur), la qualité de pose et de dépose, ainsi que l'adéquation avec la culture. Le prix n'est pas le critère mis en avant dans cette question.

3. Pratiques de pose des paillages

Pour les exploitations enquêtées, la pose des films de paillage est essentiellement mécanique. Seule une exploitation réalise la pose manuellement et mécaniquement.

Le temps de pose des paillages est très variable, de 3 à 12h mais 30% des exploitations estiment mettre 3h pour poser le paillage mécaniquement, ce qui est très faible par rapport à l'abri. Cette opération ne prend pas en compte le temps de plantation (action séparée)

L'objectif principal donné à l'opération de pose est **la qualité pour la culture**, qui est un critère important pour la moitié des producteurs enquêtés. La **rapidité de pose** est le second critère le plus cité mais de manière moins tranchée et moins importante qu'en culture sous abri.

4. Pratique de dépose des paillages

La majorité des producteurs apporte une grande importance aux conditions climatiques pour le chantier de dépose. De préférence, ils attendent que le sol soit sec à moyennement humide. Ils évitent absolument les périodes de grand vent.

Avant l'opération de dépose, la plupart des producteurs nettoient les paillages (4/10 ne le font pas). La moitié des producteurs qui nettoient le paillage utilisent un broyeur à marteau pour broyer les résidus de culture.

La plupart déchaussent le paillage avant le chantier de dépose avec une lame souleveuse ou une déchausseuse (1 seul producteur ne le fait pas). Ensuite la dépose se fait la plupart du temps à la main avec un grand nombre d'ouvriers. Certains secouent le paillage avant de le rassembler (3/7). L'enroulement des films est pratiqué par 2 producteurs sur 7 mais demande beaucoup de main d'œuvre.

Aucun producteur de salade plein-champ ne réutilise le paillage sur cette culture.

Les objectifs donnés à l'opération de dépose sont dans la majorité des cas la préservation de la qualité du sol. La préservation de la qualité du plastique apparaît souvent comme un critère intermédiaire car un plastique trop abîmé est plus difficile à retirer de la parcelle. La rapidité de la dépose est un critère jugé moins important.

5. Attentes sur les films de paillage

Concernant les paillages, les producteurs souhaitent que le paillage biodégradable soit plus résistant à la manipulation. Concernant le chantier de dépose, ils recherchent des moyens pour bien enrouler les films à la dépose. Ils évoquent une machine avec des doigts souleveurs positionnés à l'avant qui permettraient de libérer le paillage.

Concernant la potentielle utilisation d'une machine fonctionnelle de dépose des paillages, la moitié des producteurs se sont montrés intéressés, d'autres sont mitigés. Ils envisagent plus une utilisation en propre plutôt qu'en CUMA ou en location.

Elaboration des prototypes RAFU salades

Rapport final septembre 2022

Prototype RAFU Salade d'abris

Problématique technique

L'objectif premier, est de récupérer un film nettoyé de ses souillures afin qu'il puisse être recyclé à moindre coût. Si en début de culture, le film est relativement propre, il n'en est pas de même suite à la récolte des salades …
En effet, les salades sont récoltées et emballées à même la culture. Les opérateurs suppriment les premières feuilles (parage des pieds de salades) et les laissent sur le sol. En fonction de l'état sanitaire de la plantation, les déchets végétaux sont plus ou moins conséquents. A cela, s'ajoutent des restes du terreau qui constituait la motte sur laquelle les jeunes plants ont été élevés.

Les enquêtes réalisées par l'APREL font ressortir des taux de souillure allant de 70 % à 95 %. Pour rappel, le taux de souillure correspond au poids de souillure, (ici déchets végétaux et terreau) par rapport au poids total du film usagé.
L'objectif fixé dans ce projet est d'être inférieur à 50%.

Première approche

S'appuyer sur du matériel existant est une volonté de chercher à optimiser les coûts de fabrication des machines qui seront éventuellement produites. Plus le champ d'utilisation de ces outils sera large, et plus le nombre de machines à fabriquer sera important. En conséquence, l'amortissement des coûts unitaires sera moindre.

Pour réaliser les premiers tests, nous avons utilisé une enrouleuse châtaigne permettant d'enrouler le film sur toute sa largeur depuis son extrémité, sans que celui-ci ne se referme sur lui-même. Notre machine étant dimensionnée pour enrouler des filets de 4 m de large, il nous a fallu trouver un producteur disposant également de films de paillage de 4 m de large.
Les premiers essais (6 février 2019 chez un producteur du Sud-Ouest) ont mis en évidence l'impossibilité de tirer le film depuis l'extrémité sans que celui-ci n'ait été préalablement soulevé. La masse de souillure sur le film et le reste des pieds de salade vont créer une résistance plus ou moins forte du film à tirer.

La réflexion nous a conduit à mettre à l'épreuve le système de brosses de nettoyage déjà développé pour les films de paillage melon usagés. La balayeuse a été adaptée à un micro-tracteur afin de faciliter le passage dans les abris plastiques bas où se réalisent les cultures de salade. La balayeuse a été montée directement à l'arrière d'un microtracteur. Le résultat est cette fois beaucoup plus satisfaisant, mais le film doit toujours être soulevé à la main afin de pouvoir être enroulé en bout de tunnel.

Des tests de pesée ont été effectués. Les résultats montrent que pour deux tunnels identiques au départ, celui qui est nettoyé manuellement avant d'être débarrassé des résidus par secouage à la main montre un taux de souillure de 92.56 %. Alors que pour celui nettoyé avec la brosse mécanique, le taux de souillure n'est que de 48.37%. Une autre pesée a aussi été effectuée par le producteur avec sa propre technique et le résultat est de 86.20%.
La technique proposée permet donc d'atteindre les objectifs du projet à savoir un taux inférieur à 50%

Technique	Lieu	Date	Conditi	Voie (m)	Longueur déposé (m	Masse déposé (k	Masse posé pour 1 ha (Kg)	Masse déposé pour 1 ha (Kg)	Masse de souillure pour 1 ha (Kg)	Coéfficient de souillure	Taux de souillu
tradi	Aiguillon		sec	4	130	193	276	3711.538	3435.538	13.45	92.56%
RAFU	Aiguillon		balayé sec	4	130	27.8	276	534.6154	258.6154	1.94	48.37%
de bortoli	Aiguillon		sec	4	10	8	276	2000	1724	7.25	86.20%

Notre conclusion sur cette première approche est que si le film n'a pas été débarrassé d'une partie de la souillure et décollé du sol, il est très difficile d'envisager un enroulement avec un nettoyage depuis l'extrémité.

Première évolution de la brosse (version 2)

Adaptation des brosses au film paillage salade, bien différent des films de paillage melon (largeur, perforations, résistance mécanique).
Une centrale hydraulique a été ajoutée à la machine afin de ne plus dépendre du débit d'huile relativement réduit que le microtracteur peut fournir. Deux roues supplémentaires ont été ajoutées afin de minimiser l'impact du poids de la machine sur le film. Enfin, un système de mesure de vitesse de rotation de la brosse, de pression d'huile a été monté afin de déterminer au mieux les caractéristiques de fonctionnement du système.
La brosse a un diamètre de 60 cm pour une longueur de 160 cm, ce qui permet d'obtenir un brossage efficace et une largeur de travail compatible avec la largeur du micro tracteur.
Des tests en situation producteurs de Chateaurenard ont été réalisés en avril 2019

Lors de cet essai, l'efficacité de la brosse a été totalement prouvée. La brosse étant inclinée, elle permet, par passage successif, de réaliser un andain de la souillure au centre du tunnel, ce qui dégage les films pour qu'ils puissent être soulevés à la main puis récupérés.
Le résultat est très encourageant, des pesées ont été effectuées sur une partie des films.

Technique	Coefficient de souillure	Taux de souillure
TRADI DEMI SERRE	3,97	75%
RAFU	1,68	41%
RAFU	1,37	27%
RAFU	1,88	47%
RAFU	1,42	30%

Par contre, les producteurs alertent sur la présence de l'andain en milieu du tunnel, même si celui-ci peut être évacué en partie par la suite. Face aux risques de maladie, ils souhaitent que les résidus soient évacués hors de l'abri, lors du nettoyage.
Un autre point lié à l'utilisation d'une simple brosse est la projection de particules de matières végétales et organiques sur les parois de la serre ou du tunnel.

Un autre problème soulevé est le reliquat des salades non récoltées qui pose problème pour un bon fonctionnement de la brosse. Cette dernière ne permet pas de les éliminer et le nettoyage ne se passe pas correctement sur ces zones. Une destruction manuelle est alors nécessaire.

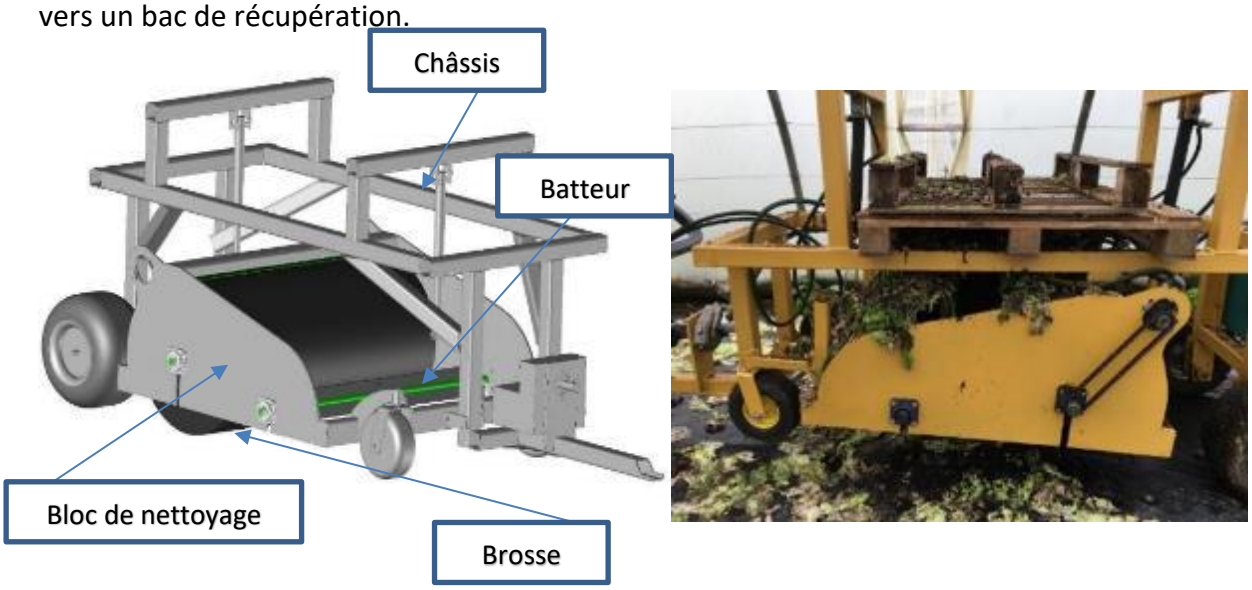
Notre conclusion sur cette deuxième étape, est que la machine devra :

- Gérer la collecte des résidus,
- Limiter la projection de résidus sur les parois
- Détruire, avant le passage de la brosse, les salades restantes.

Nouveau prototype (version 3)

Le nouveau prototype conçu est également tracté par le microtracteur, sa largeur dans un premier temps sera de 1 mètre afin de limiter les consommations énergétiques.
Le système de nettoyage se compose d'un bloc suspendu au châssis qui est abaissé sur le film, la hauteur est régulée par des roues folles à l'avant du bloc et par les roues du châssis à l'arrière.
Un batteur a été ajouté à l'avant du bloc afin de détruire les salades restantes sur le film, avant que la brosse ne vienne nettoyer le film.

L'objectif de cette version est en premier lieu de vérifier l'efficacité complète du nettoyage et le confinement des résidus de souillure à l'intérieur de l'enceinte du bloc puis dans un second temps, d'étudier les flux de matière pour voir s'il est possible de les évacuer de manière contrôlée vers un bac de récupération.



Essais dans le Sud-Ouest

Le premier essai s'est déroulé en novembre 2019. Tous les résidus sont correctement décollés du film et les salades restantes sont bien détruites. Le flux de matière sort bien verticalement au dessus du bloc. Le résultat obtenu est tout à fait satisfaisant. Les résultats techniques valident la pertinence d'une machine qui collectera les résidus.

Evolution du prototype pour récupération de la souillure (version 4)

L'évolution de la version 4 fut relativement compliquée à gérer à cause de la période de confinement et l'impossibilité de se rendre sur des cultures de salade. Pour collecter les résidus, il est nécessaire de pouvoir les faire monter suffisamment haut afin de les déverser dans un bac.

Le choix s'est porté sur une colonne constituée de plusieurs batteurs qui permettront aux résidus de passer de batteur en batteur jusqu'à être expulsés.
Cette technologie est avantageuse par rapport à un système aspirateur d'un point de vue de la consommation d'énergie ainsi que de la gestion des flux d'air qu'il faudrait filtrer.

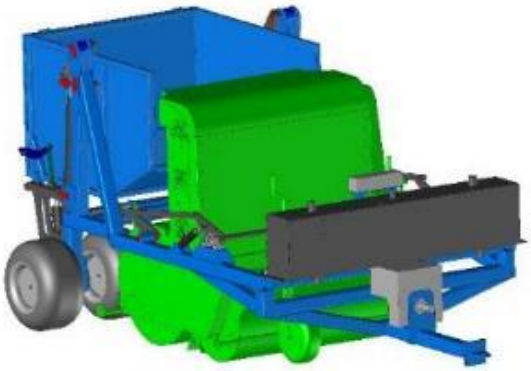
Afin de valider la collecte, un simple bac a été placé à la sortie de la colonne. Ce qui a permis de valider le fonctionnement de l'ensemble de la chaine de nettoyage et de collecte.

Prototype Final

Le prototype final reprend l'intégralité des fonctionnalités étudiées et nécessaires à une utilisation correcte de la machine. A savoir :

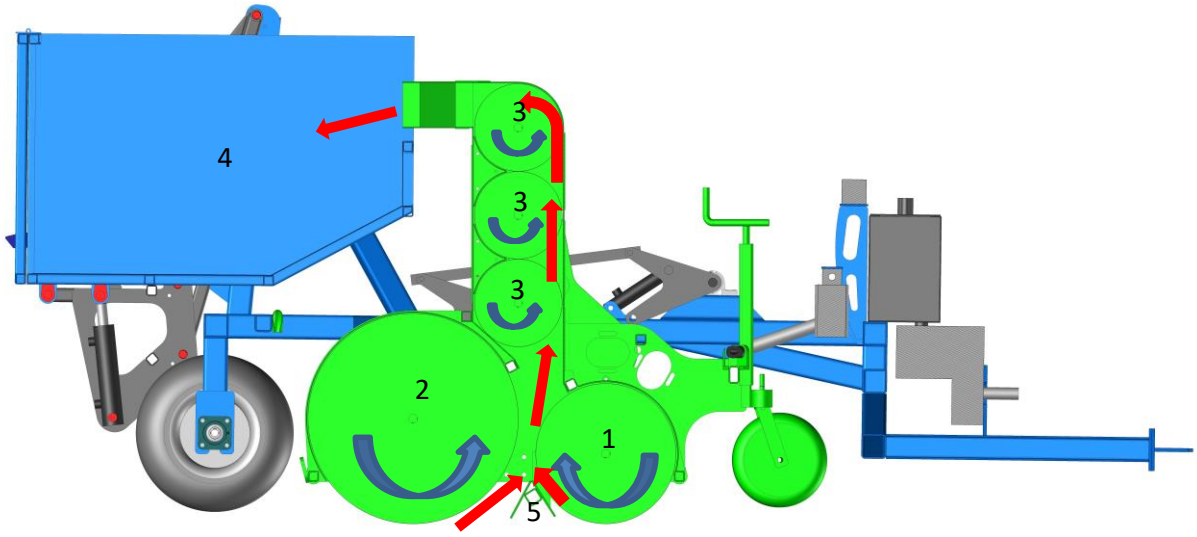
- Un châssis tracté permettant de supporter l'ensemble des éléments,
- Un battage des salades entières pour les détruire,
- Un brossage du film,
- Un mécanisme permettant de conduire les résidus dans un bac,
- Un bac de récupération,
- Un système d'élévation pour vider dans des bennes ou des remorques,
- Un mécanisme de vidage et d'ouverture automatique du bac dans une remorque agricole.

Le but est de valider sur une campagne les principes mis en œuvre sur un prototype final conçu en intégrant le maximum d'industrialisation.



Description du fonctionnement du système de nettoyage :

- Le batteur N°1 détruit les salades en projetant la matière vers l'arrière.
- Le déflecteur N°5 dirige la matière vers le haut et évite qu'elle ne s'incruste dans la brosse.
- La brosse N°2 nettoie le film en projetant la matière vers l'avant.
- Le déflecteur N°5 dirige la matière vers le haut.
- Les batteurs N°3 reprennent la matière pour la diriger dans le bac N°4.



La machine est équipée d'une centrale hydraulique et a son propre système de distribution et d'activation des fonctions. Celles-ci sont :

- Montée et descente du bloc de nettoyage.
- Mise en route du nettoyage.
- Levée du bac de collecte.
- Vidage du bac de collecte.

Essais du prototype final

Essais du 13 au 18 mars 2020.
Ces essais, se sont déroulés chez 3 producteurs. (M. Emeric, M. Saffin, M. Chasson)

Chez M. Emeric, la salade est cultivée en multichapelle. Les films n'étant pas totalement débarrassés des salades à récolter, il n'a pas été possible d'effectuer de pesées. Par contre, au visuel, tous les résidus qui étaient souhaitables de voir disparaître ont bien été éliminés.
Point négatif, un nuage de poussière se forme au passage de la machine, ce qui pourrait être préjudiciable aux cultures encore en place à proximité.

Pour ce producteur, la machine semble trop lourde pour la préservation de la structure de son sol qu'il souhaite la plus plane possible. Il préfèrerait une machine plus légère, voire une simple brosse à monter à l'avant d'une motobineuse.

Chez M. Saffin, la salade est cultivée sous tunnel de 8 m de largeur et 85 m de longueur. Il y a deux bandes de film de 4 m de largeur.

Trois tunnels ont pu être intégralement nettoyés et 2 tunnels ont été débarrassés du film afin d'effectuer des pesées. Pour nettoyer intégralement un tunnel, le temps de passage de la machine est de 30 minutes en 4 allers-retours, puis 20 minutes à deux personnes pour faire tomber la poussière qui peut rester sur les films et récupérer ces derniers.
Les résultats sont très satisfaisants car nettement inférieur à 50 % :

Technique	Coefficient de souillure	Taux de souillure
RAFU producteur 2	1,44	30%
RAFU producteur 2	1,61	38%

Chez M. Chasson, la salade est cultivée sous tunnel de 8 m de largeur et 85 m de longueur. Il y a deux bandes de film de 4 m de largeur.

Les essais furent beaucoup plus compliqués car il restait des quantités importantes de salades non récoltées, à tel point que sur les bords du tunnel, il a été nécessaire d'arracher manuellement au moins deux rangs.

Malgré cela, un nettoyage sur une portion de tunnel (25m) a tout de même été possible. Le choix a été fait de ne nettoyer qu'un seul côté du tunnel soit 4 mètres de large afin d'effectuer une comparaison de la récupération du film avec et sans nettoyage et malgré le taux important de souillure au départ, le nettoyage mécanique permet de descendre en dessous des 50 %.

Technique	Coefficient de souillure	Taux de souillure
RAFU producteur 3	1,79	44%
TRADI producteur 3	3,70	73%

Prototype RAFU Salades de plein champ

Description de la technologie :

Base présérie RAFU Carotte mis à disposition par Simonneau

- Châssis
- Bicone Enrouleur
- Fuseau à barreaux => soulever le film et faire tomber les macro souillures
- Brosse type RAFU Melon => nettoyer les micro souillures sous le paillage
- Barre de de maintien => Garantir l'étalement du film sur toute la longueur de la brosse

Prérequis pour des essais :
Les dents de soulevage doivent être adaptées au sol de l'agriculteur

Tests au champ décembre 2020 : décevants, plusieurs modifications effectuées

1r test : Conditions sèches, terre collante et paillage sectionné par des passages de tracteur et remorque à la récolte

- Coefficient de souillure = 2,7 et 2,84, décevant
- Présence de souillure sur le dessus du paillage inatteignable avec la solution technique proposée

2e test : Conditions très humides

Passage de la balayeuse développée pour la salade sous abris

=> seuls les macro déchets sont gérés par ce premier passage et gestion de la boue impossible

- Passage complexe (boue, boudin de terre, rupture du film, …)
- Résultats inexploitables

Suite à ces essais décevants, une brosse a été ajoutée sur le dessus du film qui tourne à la même vitesse que la brosse du dessous pour augmenter le retrait des souillures

3ème test 24 Novembre 2021 : Conditions très humides (essai en matinée)

Période pluvieuse avant l'essai => taux d'humidité du sol sous les films très important.

Constat sans mesure : laisser sécher le film quelques dizaines de minutes avant sa récupération permet de diminuer significativement le poids de plastiques usagés récupérés

Suite à ces résultats, le prototype est maintenu en phase d'essai et devra être de nouveau travaillé.

Validation du prototype final pour la salade sous abris

Rapport final septembre 2022

Organisation d'une tournée d'utilisation

Suite aux essais de mars 2020 chez trois producteurs, la démarche a été de proposer le prototype de nettoyage des paillages salades aux producteurs volontaires sur une plus longue durée sur la saison de production 2020-2021 (septembre 2020 à mars 2021).

L'information a circulé dans le réseau des techniciens maraîchers de Provence (article, annonces, film) et a permis l'inscription de 6 ou 7 producteurs (planning ci-dessous).

	Semaine	Producteur	Ville	Téléphone	Visites
Octobre	43	Fabien TERME	Pernes les Fontaines (84)	06 07 05 07 63	
Novembre	44				
	45				
	46				19/11 14h (Récupagri)
	47				23/11 (Monteux)
		Bruno EMERIC	Tarascon (13)		
Décembre	48	Alexandre MANNONI	Tarascon (13)		24/11 matin
	49				15/12 après-midi
	50				
	51	David BARTHALOIS	Moulès (13)		
	52				
Janvier	1	Claude VILLENI	Arles (13)	06 22 70 84 98	
	2				
	3	François SANCHEZ	Isle sur la sorgue (84)	06 08 92 21 74	
	4				
Février	5	Fabien TERME et/ou autre producteur Vaucluse			
	6				
	7				
	8				

Seuls 3 producteurs ont finalement accueilli la machine, suite à deux principaux problèmes :

- le déplacement de la machine d'un endroit à l'autre était une contrainte que les producteurs n'avaient pas le temps de prendre en charge
- la fusariose a été identifiée dans une parcelle et le risque de contamination des autres parcelles avec le passage de la machine ne pouvait être envisagé

Le 1r producteur dans le Vaucluse a utilisé la machine et a permis une visite le 19/11 ainsi qu'une démonstration hors champ le 23/11 lors de l'inauguration du Pôle Maraîchage 84 à Monteux. L'implication de Recupagri a été notable dans le bon déroulement de ces évènements.
Dans les Bouches du Rhône, M.Mannoni a récupéré la machine mais n'a pu s'en servir faute de temps. Deux visites ont néanmoins pu être organisées sur l'exploitation et ont accueilli des techniciens et des producteurs.
M.Barthalois a finalement fini la saison avec une petite utilisation.

Retours d'utilisation

Retours des producteurs sur l'utilisation du prototype :
Sur paillage abîmé : le plastique remonte et s'enroule autour de la brosse
=> Il faut absolument relever la machine et renoncer à nettoyer un paillage déchiré
Sur parcelle humide : les feuilles de salade restent collées, nettoyage insuffisant, terrain fragilisé
=> Nécessité de laisser sécher au moins 1j après dernières récoltes.
Le temps de nettoyage d'un tunnel (700 m²) est de 30 min en 4 A/R, jugé trop long

Pistes d'amélioration qui en ressortent
Dimensionnement plus large de la machine : possible dans la limite de 2 m environ (puissance tracteur, maniabilité, poids et budget)
Débit de chantier : limite technique due à la résistance mécanique du film de paillage
Brosses rotatives en extension sur le côté du caisson pour couvrir les bords du tunnel : ne fonctionnera que si les films sont maintenus tendus (risque d'enroulement des paillages autour de la brosse)

Lancement de la machine de pré-série

Le CPA a choisi d'accompagner le développement de l'innovation RAFU Salade jusqu'à une machine de pré-série. Cette dernière machine répondra peut-être mieux aux besoins des agriculteurs, étant donné que la version retenue sera plus large et permettra de réaliser l'opération de nettoyage plus rapidement. Les retours d'utilisation seront pris en compte au mieux.
Le choix du machiniste sera réalisé par un comité de sélection sur la base d'une grille d'évaluation (taille entreprise, localisation, rapport à l'innovation, service R&D, service après-vente…) et des devis des différents candidats. Les candidats auront reçu les dessins CAO réalisés par INVENIO et financés par le CPA.

Développement de l'outil

Fort des expériences RAFU antérieures, le consortium a décidé de mettre à disposition des agriculteurs le prototype appartenant à l'APREL et la future machine de pré-série, appartenant au CPA. Ces mises à dispositions nécessitent une formation des agriculteurs par le concepteur INVENIO et un suivi de l'APREL.

Bilan économique

Dans le cadre de projets R&D et faisant suite à des interrogations en provenance des maraîchers, la commission technique du CPA mis au point un outil d'aide à la décision sur les pratiques culturales de paillage FiPaCom – Films Paillages Comparés. L'idée était de proposer un outil simple d'utilisation et néanmoins complet.

Cet outil Excel sert à comparer le coût de deux pratiques culturales différentes utilisant du film de paillage. FIPACOM prend en compte la totalité de la chaine de valeur de l'utilisation des films, de l'achat à la gestion de fin de vie. Enfin, cet outil construit à l'origine pour comparer l'utilisation de film polyéthylène et biodégradable, a été adapté afin qu'il permette d'évaluer des méthodes de dépose minimisant le taux de souillure des films comme avec les technologies RAFU par exemple.

Les données entrantes sont divisées en 4 pavés :

Il s'agit de renseigner les caractéristiques techniques et économiques pour :

- Le film
- La pose du film
- La dépose
- La logistique du film usagé et les frais de reprise de la filière de collecte et recyclage

Il faut renseigner les données sur les caractéristiques du film, son prix d'achat qui doit inclure le montant de l'éco contribution APE pour les films polyéthylène puis le taux de souillure ou le coefficient de souillure.

Dans un second temps, ce sont les informations concernant la pose et la dépose OU enfouissement dans le cas des paillages biodégradables, qu'il s'agit de renseigner.

- Le temps de main d'œuvre multiplié par nombre de personne au champ
- Le temps d'utilisation des machines (tracteur + attelage)
- Coût horaire du tracteur et de la machine déroule/déterre/nettoie/enroule/enfouie
- Coût horaire de la MO toutes charges comprises.

Enfin, une fois le film polyéthylène enlevé du champ, il faut gérer sa fin de vie.

Pour le prendre en compte dans nos calculs, il faut évaluer le temps de main d'œuvre pour le chargement, le transport et le déchargement des FAU entre le champ, la ferme et le point de collecte A.D.I.Valor. On associe à ce temps un coût de MO et un coût de matériel de transport. On renseigne aussi le tarif de reprise de la filière régulièrement actualisé selon la couleur du film.

Analyse économique effectuée avec l'outil FIPACOM

	DONNEES SORTANTES			
		Conventionnel	RAFU II TS< 50%	RAFU II TS< 30%
Poids du plastique	Poids de plastique neuf posé (kg/ha)	233	233	233
	Poids de plastique usagé (FAU) déposé (kg/ha)	767	465	319
	Poids de la contamination (kg/ha)	535	233	86
Coût installation	Coût du film (€/ha)		465 €	
	Coût de la pose du film (€/ha)		72 €	
	Coût total film posé (€/ha)		**537 €**	
Coût dépose	**Coût de la dépose du film (€/ha)**	**600 €**	**366 €**	**366 €**
	Coût logistique Agriculteur	10 €	10 €	10 €
	Coût reprise Filière	119 €	44 €	- €
	Coût total /ha	**1 266 €**	**957 €**	**913 €**
	Gain €/ha	-	*309 €*	*353 €*
	Main d'œuvre h/ha	**42**	**18**	**18**
	Gain €/ha	-	24	24

L'outil FiPaCom évalue entre 300 et 350€/ha d'économie sur l'utilisation des films de paillage avec la technologie RAFU Salade sous abri. C'est bien sur les opérations de dépose que les agriculteurs ont une marge de manœuvre, en mécanisant le nettoyage et réduisant le taux de souillure. Au-delà de la vision économique, c'est en termes de main d'œuvre que la technologie permet de dégager du temps pour l'attribuer à d'autres tâches sur l'exploitation agricole.

CONCLUSION

La réduction du taux de souillure au champ est un enjeu pour les agriculteurs mais aussi pour la filière de financement du schéma de collecte et de valorisation des films agricoles en fin de vie. En effet, si les autres produits de la plasticulture sont à l'équilibre, c'est-à-dire que les écocontributions couvrent la totalité des coûts de gestion de fin de vie, les films de paillage ne trouvent toujours pas l'équilibre dans les comptes de la filière APE.
Laisser la terre au champ, réduire les volumes de FAU transportés et livrer des produits en fin de vie acceptables pour les unités de recyclage sont bien tous les objectifs du projet RAFU Région Sud.
Par une série d'itérations allant du concept au test, puis évaluations, enseignements et évolutions nécessaires, il a été possible de mettre au point un outil qui répond aux enjeux du projet, à savoir atteindre un taux de souillure de moins de 50% sur les plastiques agricoles usagés.
Le travail d'évaluation au champ chez les producteurs a été réalisé en mettant à disposition le prototype. Même si le nombre de producteurs a été inférieur aux attentes, les retours sont concrets et permettent d'imaginer les derniers ajustements pour répondre à leurs besoins et passer à la phase d'industrialisation.

Les bénéfices mis en évidence avec ce résultat sont de 3 ordres :
- Economique : réduction des coûts de reprise pour le producteur, réduction du poids pour le transport (optimisation des flux). Reduction de la main d'œuvre pour le chantier de nettoyage
- Sociétal : réduction de la pénibilité du travail
- Environnemental : éligibilité des films de paillage au recyclage, l'arrêt de l'enfouissement des paillages polyéthylène

Si le bénéfice économique n'est qu'une estimation sur la base des éléments des prototypes, le bénéfice environnemental constitue un réel moteur pour les agriculteurs aujourd'hui qui ont à cœur de voir leurs films agricoles usagés recyclés.

Communication, valorisation, diffusion

Rapport final septembre 2022

Communications écrites

- Article presse agricole, 2019
- Rapport technique pour ADEME
- Article 13 maraîchage, sept 2021
- Article Cultures Légumières, avril 2022
- Fiche présentation distribuée aux démonstrations
- Article Plasticulture N°141, 2022

Communications orales

- Assemblée Générale APREL 2021
- GTN Ctifl salades, juin 2021
- Inauguration du Pôle maraîchage 84, novembre 2021 (exposition du prototype)
- Assemblée générale CPA, juin 2022
- Délégation CPA/ADIVALOR octobre 2022 La Réunion
- Présentation de l'innovation au Salon MEDAGRI le 19 octobre (pitch)
- Interview France 3 (Infos Régionales 19/20) et chaîne Youtube du MEDAGRI le 20 Octobre

Démonstrations/ visites

- 2021 : 19/11 (Pernes les Fontaines), 23/11 (Monteux), 24/11 et 15/12 (Tarascon)
- 2022 : Délégation internationale du CIPA le 2/06 (Monteux)
- 2022 : Exposition au Salon MEDAGRI du 18 au 20 Octobre 2022 (Avignon)
- 2022 : Exposition au 65^{e} Congrès de Légumes de France (Avignon)

Récompenses

- 1r prix de l'Innovation du MEDAGRI 2022
- Récompense « une cop d'avance » de la Région PACA par Renaud Muselier (octobre 2022)

Perspectives

- Lancement de la machine de Pré-série
- Présentation d'innovation à différents salons professionnels (MEDAGRI, Congrès Légumes de France, SIVAL)