

Plan Ecophyto II – Programme « 2016 »
« PLEVOP - développement de la Pulvérisation Localisée En Végétation sur
Oléagineux et Protéagineux »

COMPTE RENDU FINAL DU PROJET PLEVOP

Février 2021

Organisme chef de file : Terres Inovia

Nom et organisme du chef de projet : Fanny Vuillemin, Terres Inovia

Axe : Axe 1 : faire évoluer les pratiques et les systèmes

Action(s) : Action 1.2 : « Renforcer la place des agroéquipements de nouvelle génération et des outils d'aide à la décision »

Rappel du résumé du projet :

Pour les cultures en lignes, une des solutions actuelles les plus efficaces pour réduire l'application de produits phytosanitaires (herbicides, insecticides, fongicides, régulateurs) est de réduire la pulvérisation à la surface couverte par la végétation sur le rang.

Pour cela l'utilisation de matériels de pulvérisation spécifiques est nécessaire. Mais ils sont à ce jour peu répandus. Les quelques prototypes de pulvérisation de précision sur le rang méritent d'être testés et validés avant leur commercialisation. La diffusion de ces types d'équipement ne pourra se réaliser que si le débit de chantier est suffisant, comparé à ce qui existe en pulvérisation conventionnelle.

Pour ces nouveaux systèmes, la qualité de pulvérisation est améliorée avec l'application sur la cible et la moindre sensibilité au vent. Le niveau de qualité que l'on pourra obtenir avec le nouveau type de pulvérisation est conditionné par le niveau de qualité de semis (rigueur des écartements entre passages de semoirs), la géométrie du couvert, le type de jet choisi et l'orientation spatiale du jet et leur nombre.

L'objectif de ce projet est de définir les conditions de réussite des pulvérisations localisées en post levée pour des appareils de grande largeur et de développer cet outil, en lien avec un constructeur.



Partenaires financés :



Partenaires associés :



GROUPE CAL
Coopérative Agricole Lorraine



I. Contexte et objectifs

Pour les cultures en lignes, une des solutions actuelles les plus efficaces pour réduire l'application de produits phytosanitaires (herbicides, insecticides, fongicides, régulateurs) est de réduire la pulvérisation à la surface couverte par la végétation sur le rang.

Pour cela l'utilisation de matériels de pulvérisation spécifiques est nécessaire. Mais ils sont à ce jour peu répandus. Les quelques prototypes de pulvérisation de précision sur le rang méritent d'être testés et validés avant leur commercialisation. La diffusion de ces types d'équipement ne pourra se réaliser que si le débit de chantier est suffisant, comparé à ce qui existe en pulvérisation conventionnelle.

Pour ces nouveaux systèmes, la qualité de pulvérisation est améliorée avec l'application sur la cible et la moindre sensibilité au vent. Le niveau de qualité que l'on pourra obtenir avec le nouveau type de pulvérisation est conditionné par le niveau de qualité de semis (rigueur des écartements entre passages de semoirs), la géométrie du couvert, le type de jet choisi et l'orientation spatiale du jet et leur nombre.

L'objectif de ce projet était de définir les conditions de réussite des pulvérisations localisées en post levée pour des appareils de grande largeur et de développer cet outil, en lien avec un constructeur.

Le projet PLEVOP (Ecophyto II) vise le développement opérationnel en grandes cultures semées en ligne d'une rampe de pulvérisation localisée sur le rang. L'objectif était de tester un système innovant de pulvérisation pour réduire la quantité de produit épandu par hectare en supprimant les zones atteintes de façon inutile par la pulvérisation (sur l'inter-rang, qui peut être biné dans le cas du désherbage).

Les essais ont été réalisés avec un prototype (25 000 €HT) de rampe de pulvérisation localisée sur le rang en grande largeur, de la société Maréchal, large de 16,20 m. Elle est composée de 3 tronçons qui couvrent 12 rangs à 45 cm et qui sont indépendants afin de d'épouser au mieux les irrégularités de terrain. Son débit de chantier est de 10 à 15 ha/h (vitesse moyenne de 10 km/h). La cuve frontale a une capacité de 1100 l.



Les bandes pulvérisées peuvent mesurer 18 ou 25 cm de large, ce qui permet d'envisager une réduction des herbicides de 60 à 45%. La hauteur de pulvérisation étant plus basse qu'une pulvérisation en plein avec une rampe classique, la sensibilité au vent est inférieure et donc les fenêtres d'intervention sont plus fréquentes.

Le développement de cette technique de pulvérisation localisée est conditionné par son paramétrage (volume, type de buse, nombre de buses, orientation de(s) buse(s), vitesse de passage, débit de chantier...) permettant d'obtenir une qualité de pulvérisation optimale. Ceci nécessite que l'on puisse

fournir à l'agriculteur l'ensemble des conditions de mise en œuvre avec des critères de décision étudiés selon les situations.

Pour définir les conditions de réussite des pulvérisations localisées en post levée pour des appareils de grande largeur et développer cet outil en lien avec un constructeur, on s'attachera à :

- La mise au point du matériel pour arriver à une bonne qualité de pulvérisation de l'herbicide ;
- Evaluer les efficacités biologiques de la technique ;
- Quantifier le gain environnemental (réduction d'usage et d'impact) ;
- Evaluer sa praticabilité et son bilan économique.

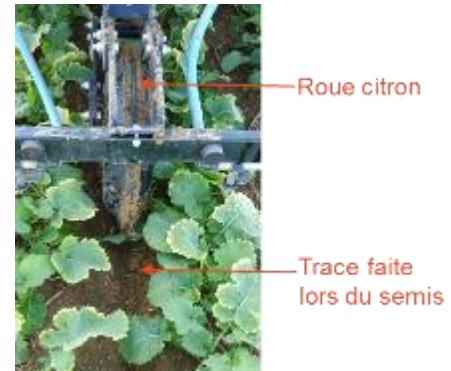
II. Actions du projet et résultats

Le projet s'articule autour de 4 actions :

- Tâche 1 : amélioration du système de guidage
- Tâche 2 : tests de la rampe, mise au point des réglages de traitement et élaboration d'un Outil d'Aide à la Décision pour accompagner l'agriculteur souhaitant faire ces réglages de traitement
- Tâche 3 : bilan économique et environnemental de la technique de pulvérisation localisée sur le rang
- Tâche 4 : Valorisation des résultats et diffusion auprès de la profession agricole

• **Tâche 1 : amélioration du système de guidage**

La rampe Marechal est équipée de roues citron faites pour suivre un sillon tracé dans le sol préalablement lors du semis. Ce système de guidage nécessite donc des types de sol bien nivelés et capables de « conserver » cette trace au cours du temps et malgré les aléas climatiques et mécaniques. Or, si ce type de sol se retrouve facilement dans les terres à betterave, ce n'est pas le cas pour les terres à colza, sols caillouteux ou argilo-calcaires ou encore bouleversés par les sangliers... Ainsi ce type de guidage n'est pas adapté aux parcelles à colza. Nous l'avons essayé sur 1 essai colza en 2018-2019 et les résultats n'ont pas été concluants (le guidage a été médiocre) et la faisabilité mauvaise (il fallait souvent remplacer manuellement la roue citron dans le sillon, qui était lui-même mal dessiné dans ce type de sol).



Par conséquent, nous avons testé, dans un autre essai colza de la première campagne d'essais 2017-2018, le guidage du tracteur par GPS (en associant les 3 tronçons de la rampe pour qu'elle soit d'un seul tenant et en retirant les roues citron). Les résultats ont été concluants : bon guidage de la rampe et confort de réalisation une fois que le tracteur capte bien le signal GPS. Cela nécessite pour l'agriculteur d'être équipé en guidage GPS de son tracteur (SF2 ou RTK) et de réaliser le semis de la culture au GPS également. L'inconvénient majeur de cette solution est que ce guidage est théorique, il ne s'adapte pas aux irrégularités potentielles du terrain ou du semis. Il est cependant utilisable sur tous types de sol. Le coût d'investissement est élevé. Il peut s'avérer un frein. Pour que l'investissement soit acceptable, le GPS doit s'amortir sur différents appareils de l'exploitation, ce qui est classiquement le cas.



Le guidage par caméra semble aussi intéressant et a également été testé dans les essais : une caméra placée sur la rampe détecte les rangs de la culture et corrige la trajectoire de la rampe selon les irrégularités du terrain ou du semis au moyen d'une interface Garford (modèle utilisé pour notre essai) placée entre le tracteur et l'outil et qui corrige hydrauliquement son alignement avec les rangs. Cette solution (technologie Robocrop) nécessite de solidariser également les 3 tronçons de la rampe (car pour des raisons de coût 1 seule caméra est présente). La caméra ne travaillant que sur un seul des 3 trains, le semis doit être le plus précis possible afin d'avoir des écartements identiques entre chaque passage de semoir (un semis avec pilotage du tracteur par GPS est conseillé).



Ce type de guidage a été testé durant les campagnes d'essais 2018-2019 et 2019-2020 et s'est avéré satisfaisant : la caméra détectait bien les rangs (dans la mesure où ceux-ci sont visibles et bien distincts du sol nu de l'inter-rang) et l'interface corrigeait bien la position de la rampe selon ce que « voyait » la caméra. Le système s'adapte donc bien aux irrégularités du terrain mais il faut que les rangs de la culture soient bien visibles.



Enfin, il existe aussi un système de GPS non plus sur le tracteur mais sur la rampe, coordonné à une interface. Le test de cet équipement (guidage DynaTrac de marque Laforge) a été envisagé, mais n'étant pas adapté et très coûteux (matériel adapté aux surfaces américaines), il n'a pas été mis à l'épreuve dans nos essais.

Les travaux de cette tâche ont donc bien été réalisés et ont abouti à la conclusion que les guidages par caméra et par GPS sont bien adaptés et satisfaisants ; les deux systèmes nécessitent en revanche de relier les 3 tronçons de la rampe Maréchal, conçus indépendants à l'origine. Ils doivent être solidaires entre eux car dans les deux cas il n'y a qu'un seul guidage pour toute la rampe (1 système GPS, 1 caméra). Par ailleurs, le guidage caméra est plus coûteux que le guidage GPS, il nécessite aussi de placer une interface entre le tracteur et la rampe. L'idéal, serait évidemment d'avoir une caméra pour chacun des 3 tronçons de la rampe ; ce qui permettrait de garder les 3 tronçons indépendants et d'avoir un guidage encore plus précis ; cependant, le guidage avec 1 caméra étant déjà coûteux, un guidage précis avec 3 caméras serait beaucoup trop onéreux pour l'agriculteur. Au vu du terrain, le guidage par GPS ou avec une caméra paraît suffisant et satisfaisant.

- **Tâche 2 :**

- Tests de la rampe et mise au point des réglages de traitement

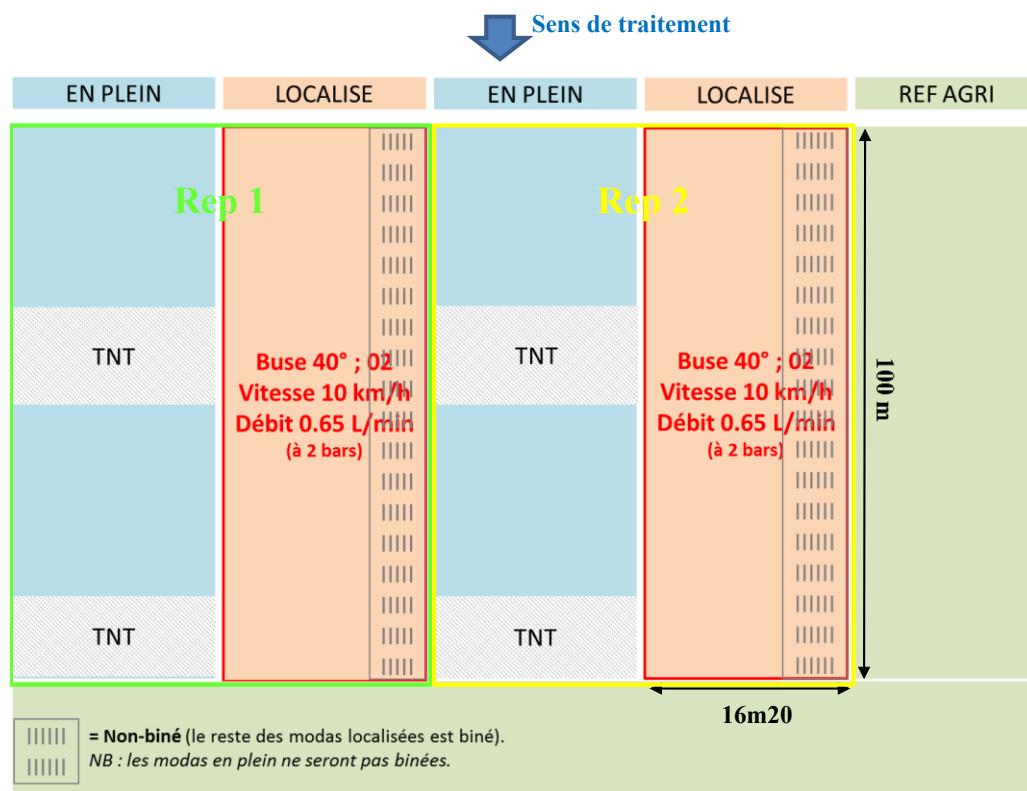
- a) Essais réalisés et protocole

Des essais au champ (en grande largeur) ont été mis en place pour évaluer l'ensemble de la technique (efficacité du désherbage localisé sur le rang complété par un binage en inter-rang) en comparaison avec un traitement en plein (sans binage), avec un témoin non désherbé et avec un traitement localisé sur le rang mais pas de binage dans l'inter-rang. Par ces essais, les conditions de réussite et les modalités de réglage de la rampe ont été étudiées.

Les essais réalisés sont deux essais colza (campagne 2017-2018 et campagne 2019-2020) et deux essais tournesol (campagne 2019 et campagne 2020).

Année	Culture	Lieu	Type de sol
2017-2018	Colza	Juvrécourt (54)	?
2019-2020	Colza	Gézoncourt (54)	Argilo-limoneux
2019	Tournesol	Gézoncourt (54)	Argilo-calcaire sup
2020	Tournesol	Gézoncourt (54)	Argilo-calcaire sup

Dispositif d'essai (pour 3 essais : colza 2019-2020, tournesol 2019 et tournesol 2020) :



Chaque bande fait la largeur de la rampe (donc 1 aller de traitement), soit 16 m 20.

Pulvérisation localisée :

La pulvérisation localisée a été réalisée avec des buses en bandes à jet plat uniforme de 40° et débit 02. La hauteur de pulvérisation a été calculée pour une largeur traitée sur le rang de 20cm à 27,5 cm.

Pulvérisation localisée (post) et NON-binée :

1 tiers de la largeur de



pulvérisation localisée (c'est-à-dire 1 passage de bineuse sur 3) était gardé « non-biné », afin d'avoir visuellement l'impact du traitement localisé (intéressant pour les comptages et les visites).

Pulvérisation en plein :

La pulvérisation en plein a été réalisée avec la même rampe, avec des buses classiques à 110° (recouvrement). La bouillie n'était pas la même car la surface de traitement était différente.

Le traitement en plein n'était pas biné.

Témoin Non Traité :

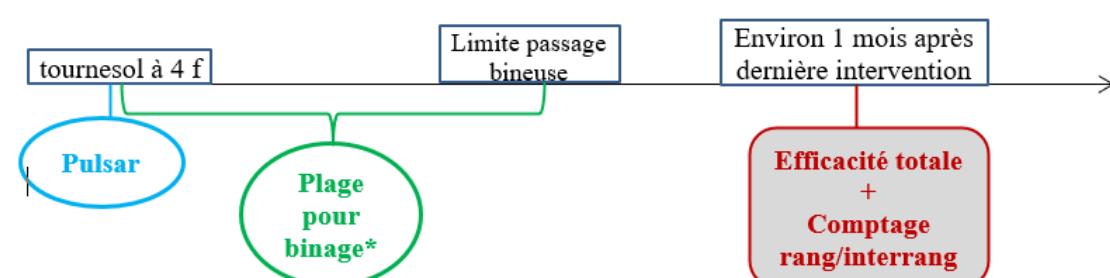


La rampe était coupée plusieurs fois à quelques endroits sur 4-5m lors de la pulvérisation en plein.

Référence agriculteur :

C'est le traitement classique en plein (le reste de la parcelle).

Calendrier des interventions et des observations :



* le binage était réalisé au plus tôt, c'est-à-dire au moment opportun vis-à-vis des conditions pédoclimatiques (ressuyage du sol, pas de pluie annoncée dans les jours suivant l'intervention) aux stades de la culture adaptés.

Il s'agit du même déroulement pour les essais colza (le traitement se faisait avec du Mozzar ou du Cleravis sur variété tolérante au stade 6-8 feuilles du colza).

La flore visée par les herbicides utilisés dans les essais colza et dans les essais tournesol était toujours une flore de dicotylédones annuelles. De plus, le binage est davantage efficace sur dicotylédones que sur graminées (et encore moins sur vivaces).

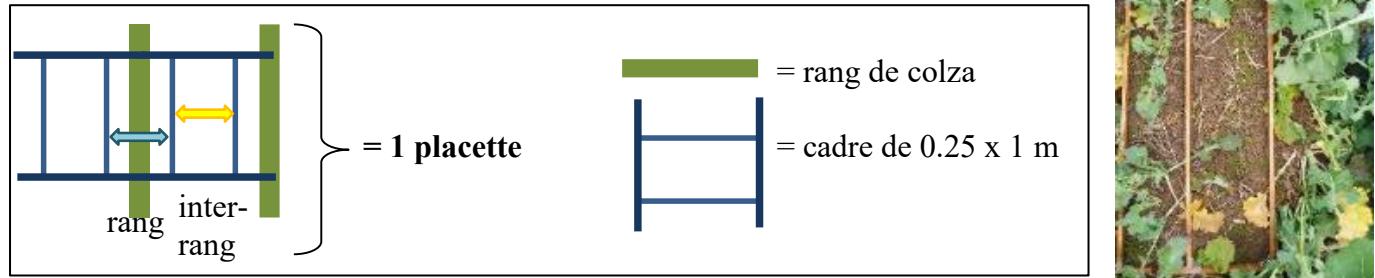
Observations réalisées :

Environ 1 mois après la dernière intervention (herbicide ou binage), deux types de notation étaient réalisés :

- efficacité visuelle du désherbage en pourcentage, en comparaison avec les témoins non désherbés adjacents ;
- comptage des adventices dans le rang et dans l'inter-rang.

La notation d'efficacité du désherbage consistait à estimer visuellement le pourcentage d'adventices détruites dans chaque modalité, après identification et comptage d'adventices dans les témoins (sans herbicide et sans désherbage mécanique) adjacents les plus proches.

Le comptage des adventices dans le rang (1 m linéaire sur 20 cm de largeur traitée) et dans l'inter-rang (1 m linéaire sur une large de 25 cm) se faisait par espèce et sur 4 placettes selon le schéma suivant :



Lors du traitement, les informations concernant le stade et la hauteur de la culture, le stade moyen des mauvaises herbes, la météo avant, pendant et après, ainsi que tous les paramètres de pulvérisation (volumes, doses, largeur de la bande traitée, temps nécessaire au traitement, etc.) sont notés, tout comme l'état du sol lors du binage, la météo suivante et le stade de la culture lors du binage.

b) Résultats des essais colza :

Essai colza 2017-2018 :

Pour ce premier essai du projet, le dispositif était un peu différent :

Deux débits ont été testés : débit 01 à 0.32 l/min et débit 02 à 0.65 l/min.

EN PLEIN	LOCALISE	EN PLEIN	LOCALISE	REF AGR
TNT	Buse 40° ; 02 Vitesse 10 km/h Débit 0.65 l/min	TNT		
TNT		TNT	Buse 40° Vitesse 5 km/h Débit 0.32 L/min (réglage optimal à tester sur toute la longueur)	
TNT	Buse 40° ; 01 Vitesse 5 km/h Débit 0.32 L/min	TNT		
TNT		TNT		

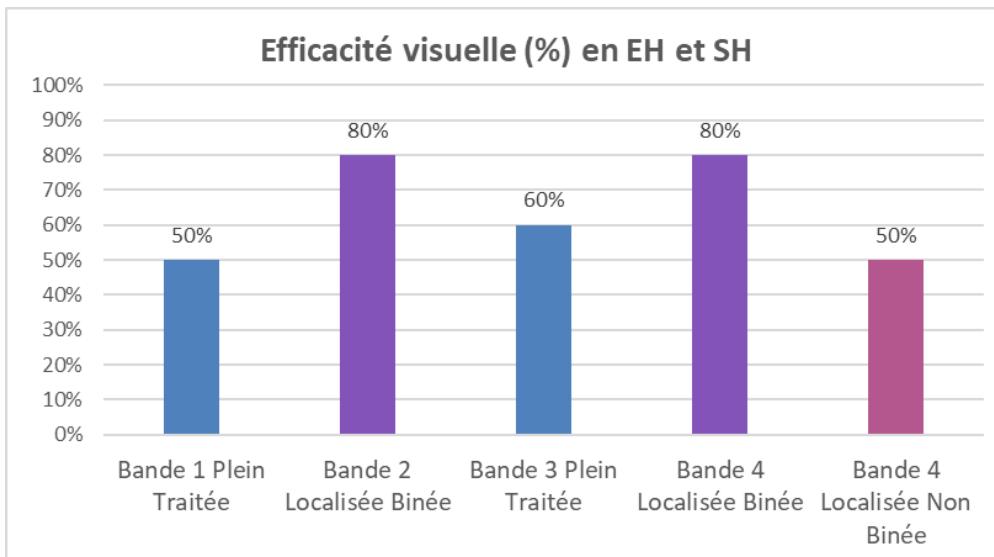
= Non-biné (le reste des modas localisées est biné).
NB : les modas en plein ne seront pas binées.

La flore de cet essai (à Juvrecourt) était assez conséquente et composée principalement de matricaires et de géraniums (il y avait également des sanves, pensées, euphorbes...).

Le traitement a été réalisé le 22 septembre 2017 au stade B4-B5 du colza avec du Cleravis à 2 l/ha (et Dash à 1 l/ha) sur variété tolérante aux herbicides. Le binage a été effectué le 17 octobre 2017.

Il y a eu cependant un problème pour le traitement en plein : à cause d'une erreur de calcul pour le volume d'eau à mettre dans la cuve pour le traitement en plein (ce qui montre la complexité des calculs et la nécessité de faire un outil d'aide à la décision pour aider l'agriculteur à calculer les volumes d'eau et de produit selon son type de traitement), au lieu de 2 l/ha de Cleravis et 1 L/ha de Dash, c'est 0,5 l/ha de Cleravis et 0,25 l/ha de Dash qui ont été appliqués.

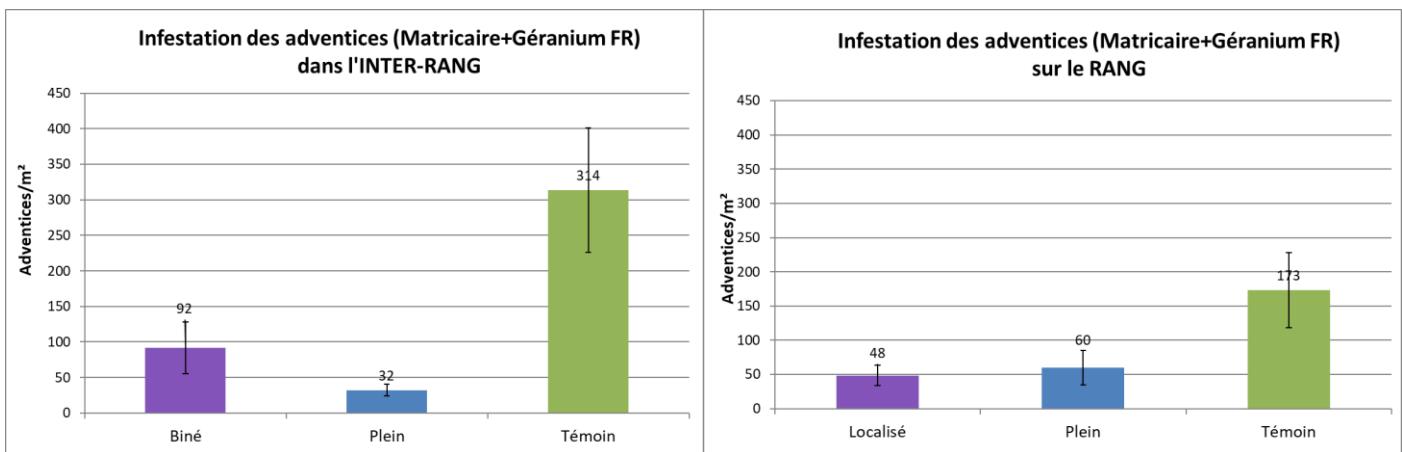
Cela explique donc les résultats d'efficacité visuelle qui ont été obtenus :



Ils sont donc à nuancer concernant les traitements en plein.

NB : dans la bande 2, le localisé 01 et le localisé 02 avaient tous les deux une efficacité de 80 %.

Malgré ce problème de dosage du traitement en plein, les comparaisons des infestations des modalités « traitement localisé sur le rang puis binage », « traitement en plein » et « témoin non traité » ont montré des résultats sur le rang et sur l'inter-rang assez logiques et encourageants (voir graphiques ci-dessous).



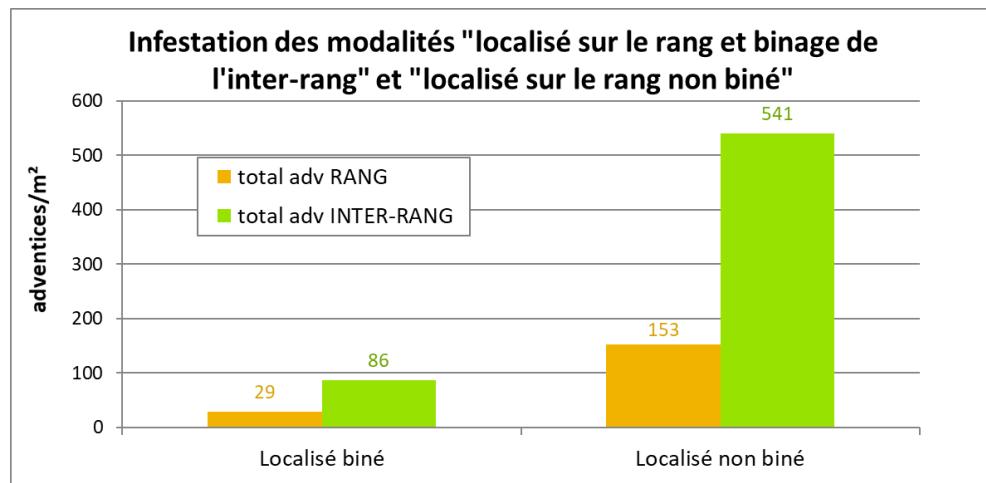
Le localisé et le plein ont des infestations bien moindres que le témoin. Sur le rang, les infestations des modalités « traitement localisé » et « traitement en plein » sont similaires, ce qui montre que sur le rang, le traitement localisé est aussi efficace qu'un traitement en plein. Sur l'inter-rang, la modalité « traitement localisé sur le rang puis binage » est légèrement plus infestée en adventices que l'inter-rang de la modalité en plein, ce qui montre que le binage est légèrement moins satisfaisant que le traitement en plein. Néanmoins, quand on compare l'inter-rang de la modalité « localisé sur le rang puis binage dans l'inter-rang » avec l'inter-rang du témoin non traité, on remarque une efficacité du binage qui est non négligeable.

Dans la modalité en plein, on observe que le rang est légèrement plus sale que l'inter-rang, on peut éventuellement interpréter cela par un effet parapluie du colza lors du traitement.

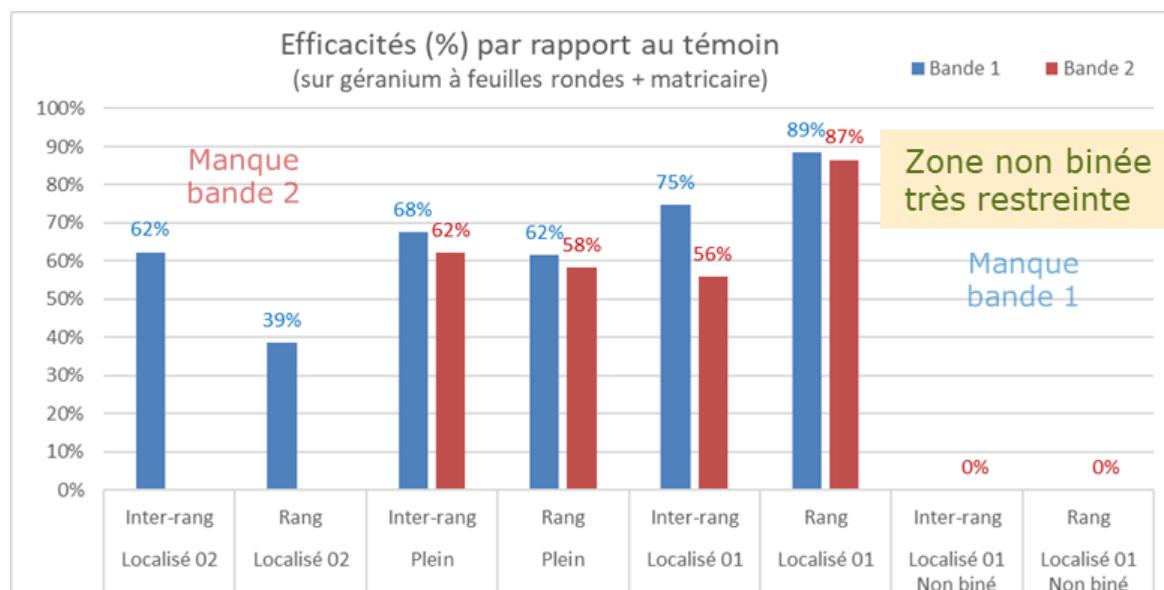
Dans le témoin, on observe que le rang est moins sale que l'inter-rang ; cela est sûrement dû à un effet de compétition du colza vis-à-vis des adventices sur le rang.

Ainsi, les résultats des modalités avec désherbage localisé puis binage sont encourageants. Une zone de désherbage localisé non biné montre aussi que le traitement sur le rang ne suffit pas pour avoir une efficacité correcte sur toute la surface et que le binage a son importance. C'est donc la

complémentarité désherbage chimique – désherbage mécanique qui permet d'obtenir les 80% d'efficacité observés dès la sortie d'hiver.



Ce graphique illustre bien l'intérêt du binage de l'inter-rang. La différence entre le rang et l'inter-rang vient sans doute d'un effet de recouvrement sur le rang par le binage par projection de terre et buttage. De même, sur le rang, la modalité binée dans l'inter-rang est moins infestée que celle non binée sans doute grâce à ce phénomène de buttage.



Concernant les efficacités calculées avec les comptages au cadre, le localisé 01 a une meilleure efficacité que le plein en raison du problème de dose qui a eu lieu dans les modalités en plein. Le localisé 02 est plus hétérogène et semble légèrement inférieur au plein et au localisé 01 ; cependant, il n'a été réalisé que dans 1 répétition. En particulier, on peut émettre l'hypothèse qu'il y a peut-être eu des relevées ou des levées tardives de matricaires après traitement et binage, qui expliqueraient ces résultats, mais on ne peut le vérifier car la plage des stades était large (cotylédons à 5 feuilles) donc il n'est pas possible d'isoler les très jeunes levées. De plus, il est aussi possible qu'il y ait eu un effet parapluie à cause des feuilles du colza, limitant ainsi l'efficacité du traitement sur le rang (d'autant que le Cleravis a une efficacité moyenne ou irrégulière sur matricaire). Quant à la zone non binée, elle ne concernait qu'une petite partie de l'essai donc elle n'est peut-être pas représentative.

Cela a mis en lumière qu'il fallait soigner le dispositif avec au minimum 2 répétitions pour chaque modalité et une zone non binée plus grande.

Aussi, pour des raisons pratiques de vitesse de traitement, dans les essais suivants (colza et tournesol) c'est le débit 02 à 0.65 l/min qui a été retenu pour les traitements localisés ; la vitesse était donc de 6 km/h (et aurait été inférieure, donc très lente, avec le débit 01).

Concernant l'éventualité de travailler les doubles buses, il a été décidé en comité de pilotage en juin 2018 que la double buse n'étant pas nécessaire ni sur colza, ni sur betterave et ni sur tournesol (car au stade 4 feuilles l'effet parapluie n'est pas si important), ce n'était donc pas utile de travailler ce sujet dans le projet.

Essai colza 2019-2020 :

Le dispositif utilisé est celui présenté dans la partie « a) Protocole ».

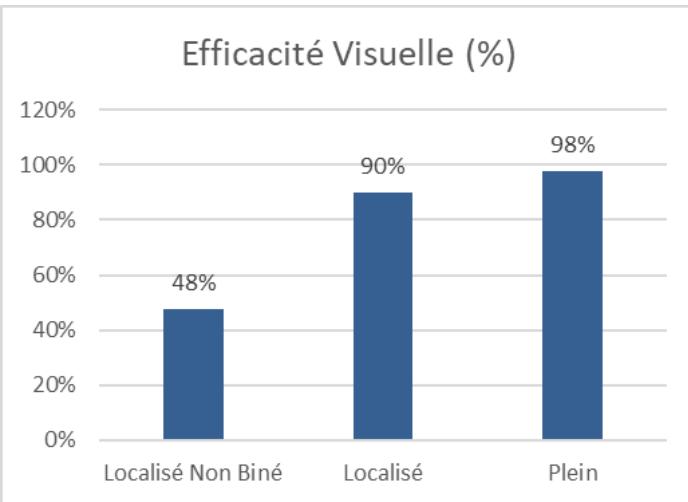
La flore de cet essai (à Gézoncourt) était composée de capselle, de laiteron rude et de mercuriale annuelle. Elle était suffisante pour pouvoir calculer des efficacités.

Le traitement a été réalisé le 3 octobre 2019 dans de bonnes conditions au stade B5 du colza avec du Mozzar à 0.5 l/ha sur variété de colza classique. Le binage a eu lieu le 14 octobre 2019 au stade B6, les conditions n'étaient pas idéales (sol humide).

Comme il existait une certaine hétérogénéité de l'infestation sur la parcelle, ce sont les efficacités (%) calculées (ou visuelles) qu'il convient d'analyser. En effet, celles-ci sont calculées (ou estimées) en fonction du témoin non désherbé le plus proche, donc ces chiffres tiennent compte de l'hétérogénéité parcellaire.

Voici les efficacités visuellement estimées :

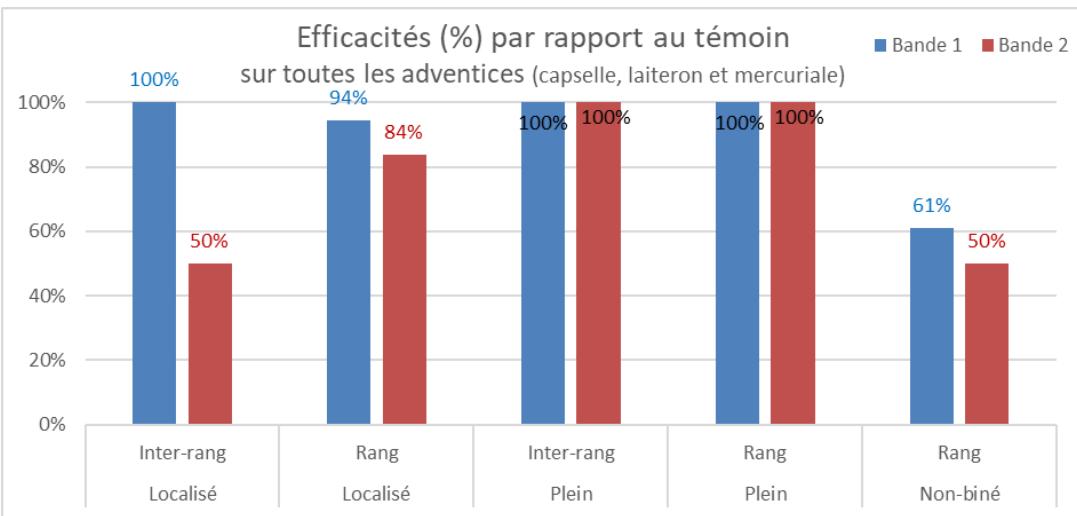
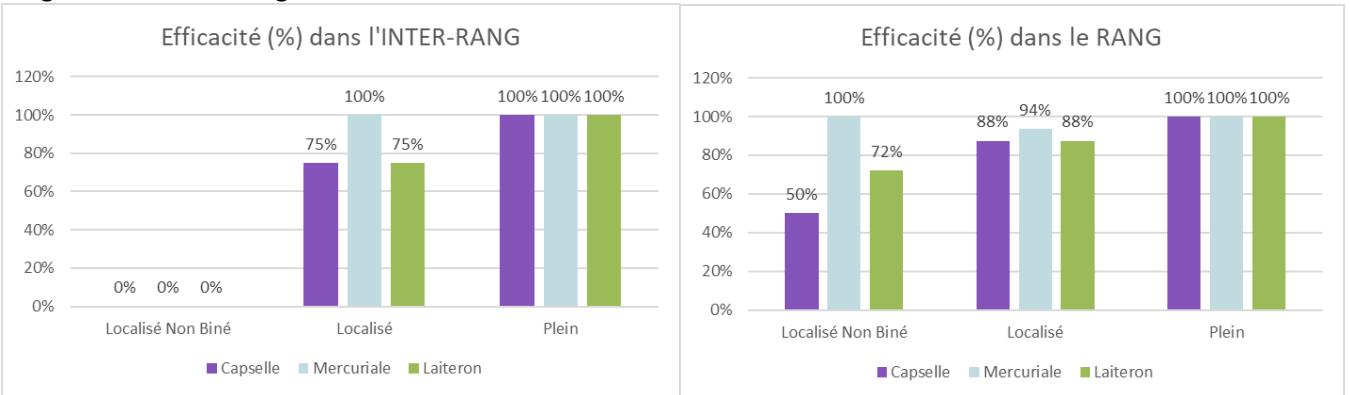




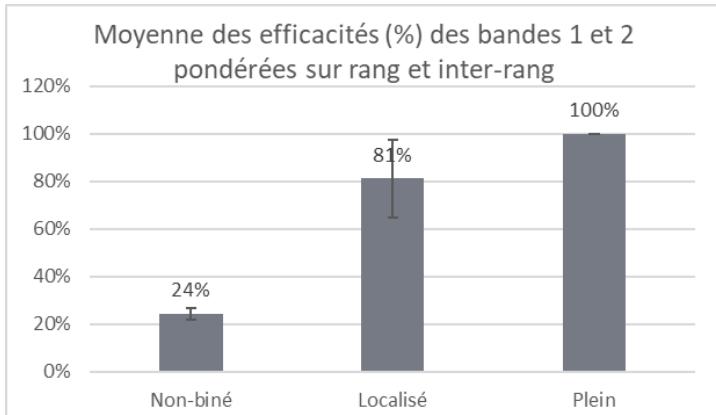
Les efficacités sont très bonnes dans le plein et le localisé biné. Le produit Mozzar a une très bonne action sur la flore rencontrée dans cet essai et malgré les conditions de binage compliquées (entre 2 périodes de pluies), le binage a bien fonctionné et a apporté un bon complément au traitement localisé. Cette efficacité du binage se voit bien lorsqu'on compare les résultats de la modalité « localisé non biné » avec ceux de la modalité « localisé » qui est binée. Cela souligne l'importance du binage pour compléter le traitement localisé sur

le rang. Lorsque le binage est réalisé, le localisé semble aussi satisfaisant que le traitement en plein.

On obtient les mêmes tendances avec les efficacités calculées à partir des comptages au cadre dans le rang et dans l'inter-rang :



C'est en effet dans l'inter-rang que le localisé est un peu moins satisfaisant, c'est-à-dire que le binage est un peu moins efficace que le traitement. Le localisé non biné ne semble pas très satisfaisant même sur le rang : la flore non désherbée dans l'inter-rang pourrait « contaminer » le rang ?



En tout cas, les efficacités calculées donnent les mêmes tendances que les efficacités visuelles : localisé biné et plein sont satisfaisants, avec une meilleure performance pour le plein, et le localisé sans binage n'est pas du tout à la hauteur à cause de la flore non désherbée dans l'inter-rang (et une efficacité sur le rang décevante).

Le 2ème essai colza de 2019-2020 (à Nomeny) a été traité (Mozzar à 0.5 l/ha) le 3 octobre 2019 dans de bonnes conditions au stade B4-B6 du colza. Cependant, l'automne pluvieux et le type de sol très hydromorphe de la parcelle n'ont pas permis de biner : de l'eau stagnait dans la parcelle. De plus, comme l'essai a été infesté fortement par des graminées les comptages au cadre n'ont pas pu être réalisés. Seule une efficacité visuelle a pu être notée. Sur géranium disséqué, elle était de 100% pour le traitement en plein et de 50% en localisé (non biné). Ces résultats confirment donc l'importance du binage : en absence de binage l'efficacité visuelle globale du localisé (non biné) est bien inférieure à celle du traitement en plein.

c) Résultats des essais tournesol :

Essai tournesol 2019 :

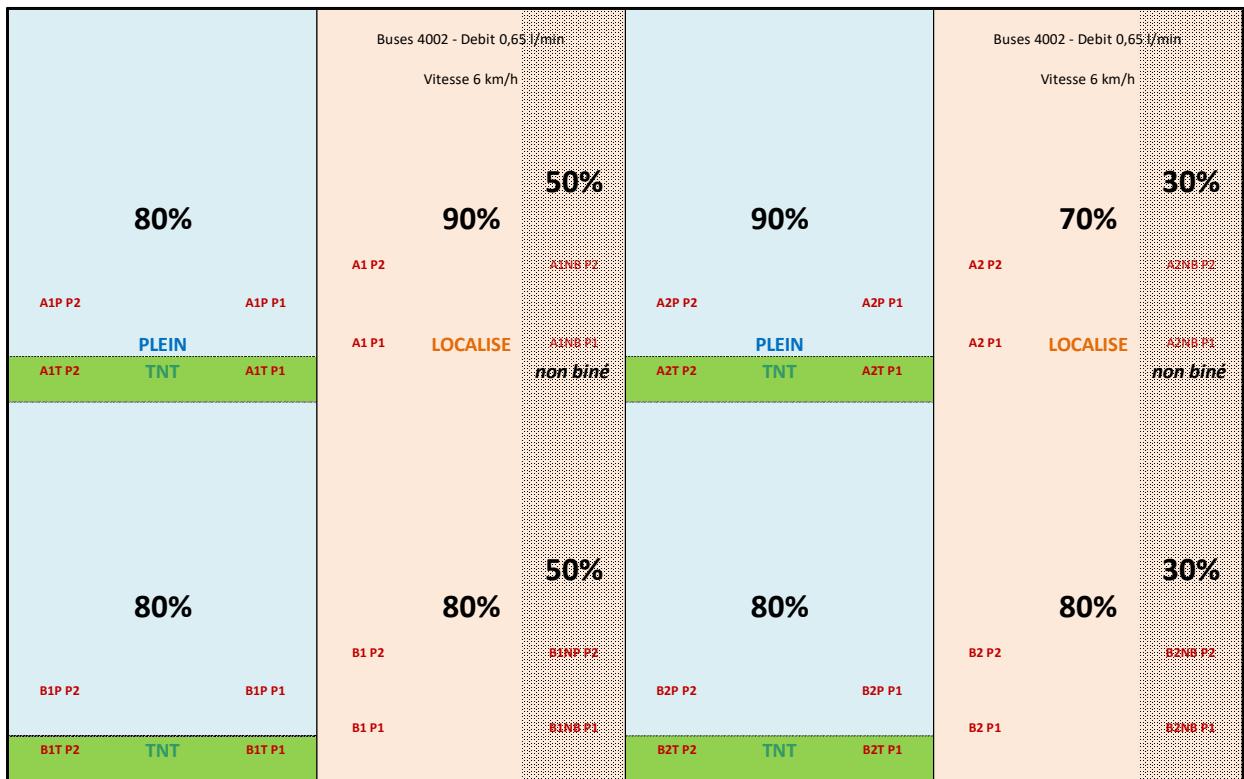
Le dispositif utilisé est celui présenté dans la partie « a) Protocole ».

La flore de cet essai (à Gézoncourt) était composée de chénopode blanc et de mouron des champs. Elle était suffisante pour pouvoir calculer des efficacités.

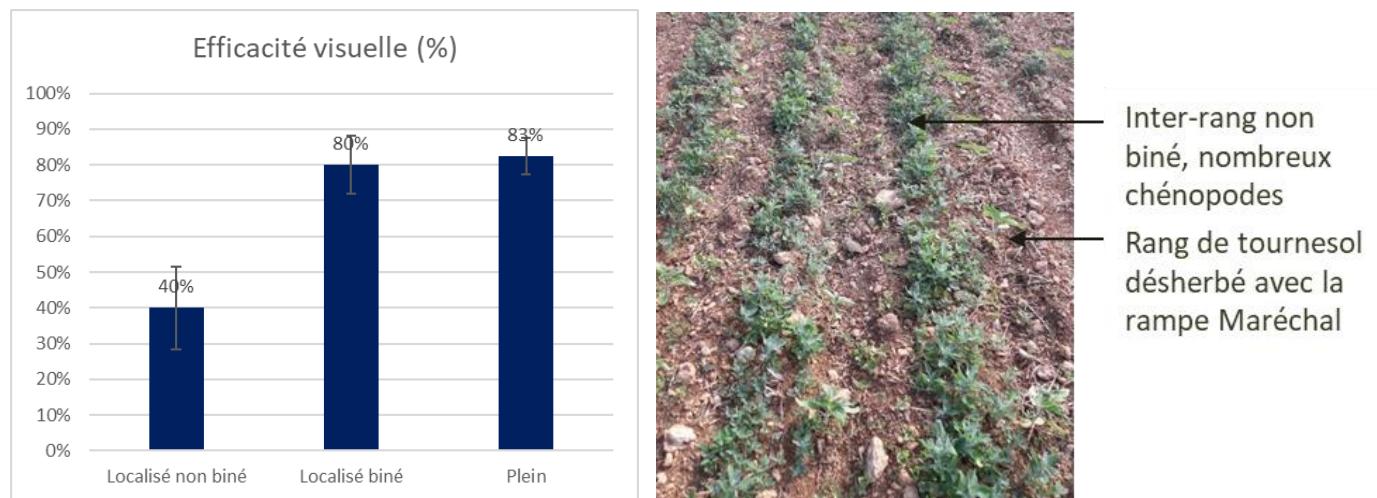
Le traitement a été réalisé le 17 mai 2019 avec du Pulsar à 1 l/ha dans de bonnes conditions au stade B1-B2 du tournesol, c'est-à-dire à une date un peu précoce par rapport à la préconisation (stade B4) mais les adventices étaient déjà bien développées. Le binage a eu lieu le 1^{er} juin 2019 dans de bonnes conditions et sur un sol sec.

Comme il existait une certaine hétérogénéité de l'infestation sur la parcelle, ce sont les efficacités (%) calculées (ou visuelles) qu'il convient d'analyser. En effet, celles-ci sont calculées (ou estimées) en fonction du témoin non désherbé le plus proche, donc ces chiffres tiennent compte de l'hétérogénéité parcellaire.

Voici les efficacités visuellement estimées :

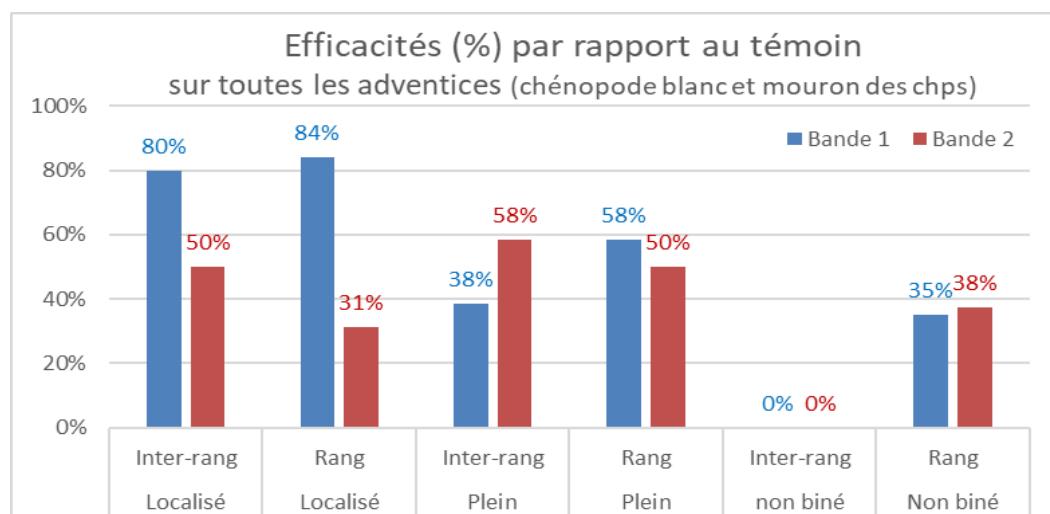
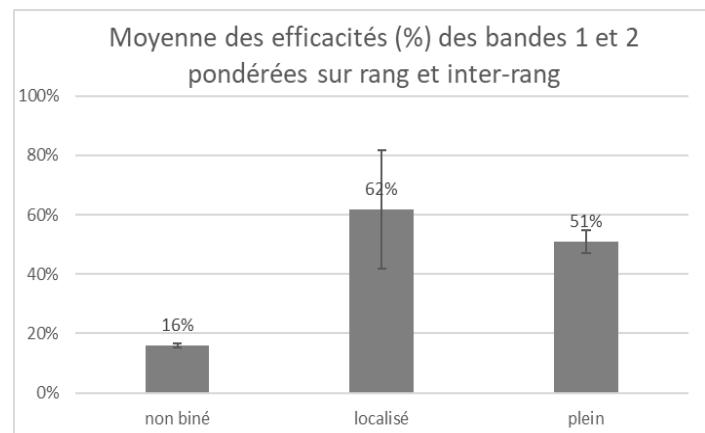


Les efficacités visuelles montrent que, globalement, la modalité « traitement localisé + binage » a une efficacité satisfaisante (ici 80 %) et similaire au « traitement en plein » (ici 83 %). L'efficacité décevante (40%) de la modalité « localisé non biné » montre l'importance du binage pour désherber toute la surface.



Sur cette photo prise début juin, c'est-à-dire une quinzaine de jours après le traitement, sur une portion de la parcelle non binée, on voit que l'inter-rang est très infesté de chénopodes (vert foncé) et le rang de tournesol est plutôt bien désherbé. Ainsi, l'herbicide localisé sur le rang a bien fonctionné et a permis de « nettoyer » le rang de tournesol de ces nombreux chénopodes. Cette photo met aussi en avant l'importance du binage de l'inter-rang pour une efficacité satisfaisante sur toute la surface.

Les efficacités calculées à partir des comptages au cadre donnent les mêmes tendances dans les grandes lignes, même si les % d'efficacités sont moins bons (en effet, visuellement on surestime souvent les efficacités car on observe une plus grande zone que lorsqu'on fait l'efficacité à partir d'un comptage avec un cadre) et qu'avec cette méthode, le localisé semble légèrement meilleur que le plein, mais cela est imputable à une forte différence d'infestation entre bande 1 et bande 2 (forte variabilité qui se voit sur la barre représentant l'erreur-type et dans le graphique ci-contre). Une éventuelle relevée d'adventices entre le traitement et le binage ou après le binage a pu avoir lieu et expliquerait ces hétérogénéités d'efficacité mais ne peut se vérifier dans les comptages du fait des observations réalisées.



En effet, les résultats ne sont pas les mêmes entre chénopode blanc et mouron des champs. C'est une efficacité plus décevante dans le plein sur mouron qui explique les résultats obtenus dans les moyennes d'efficacités (graphique gris). Ce graphique montre bien l'hétérogénéité des efficacités (sans doute due à une hétérogénéité d'infestation) entre la bande 1 et la bande 2.

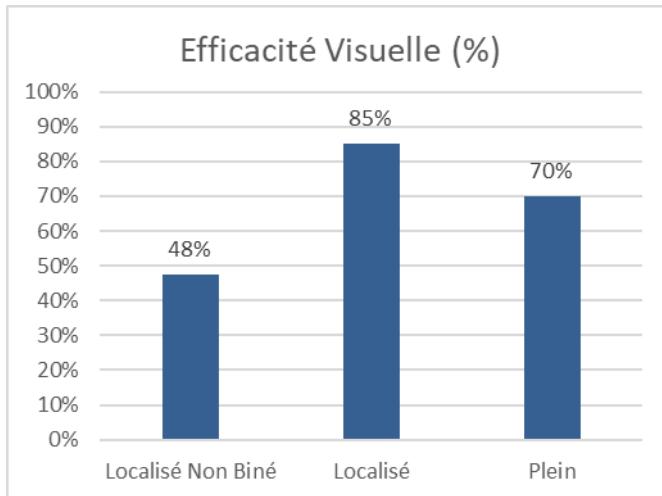
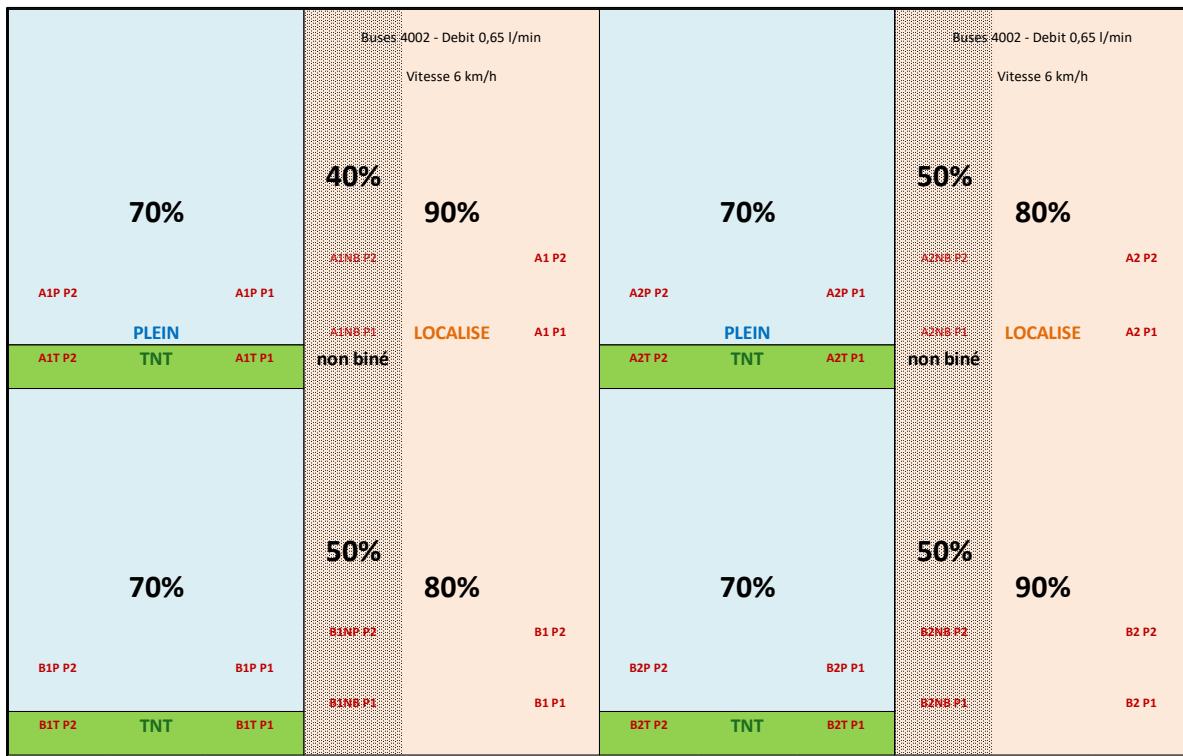
Essai tournesol 2020 :

Le dispositif utilisé est celui présenté dans la partie « a) Protocole ».

La flore de cet essai (à Gézoncourt) était composée de renouée liseron et géranium disséqué. Elle était suffisante pour pouvoir calculer des efficacités.

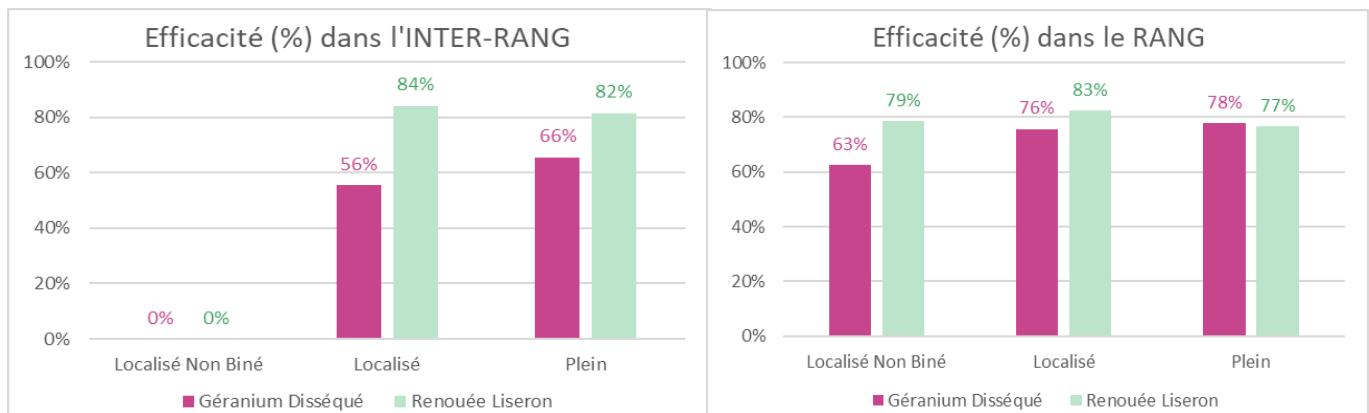
Le traitement a été réalisé avec du Pulsar à 1 l/ha le 26 mai 2020 dans de bonnes conditions au stade B4-B6. Le binage a eu lieu le 9 juin 2020 dans de bonnes conditions, sur un sol sec et au stade B8 du tournesol.

Voici les efficacités estimées visuellement :

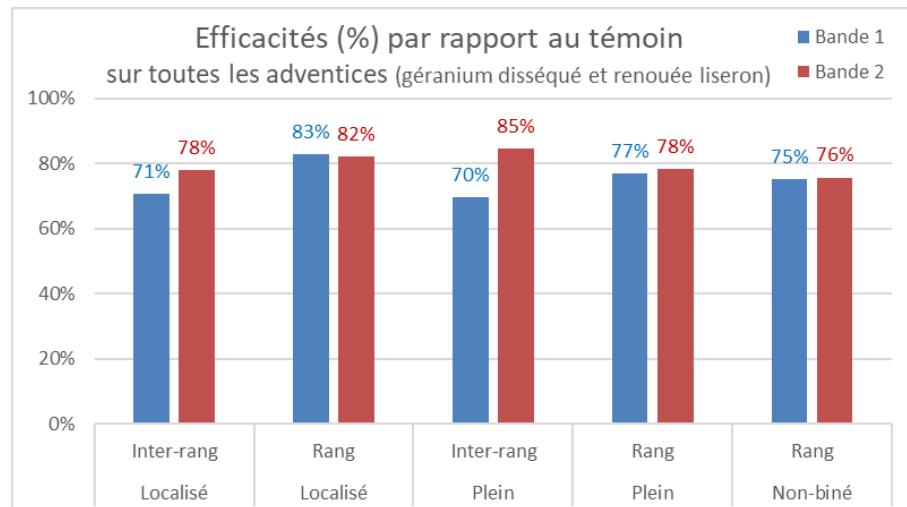


Les résultats montrent que, globalement, la modalité « traitement localisé + binage » a une efficacité moyenne à bonne et meilleure au « traitement en plein » (au global). L'efficacité décevante de la modalité « localisé non biné » montre l'importance du binage pour désherber toute la surface.

Les efficacités calculées montrent les mêmes tendances :

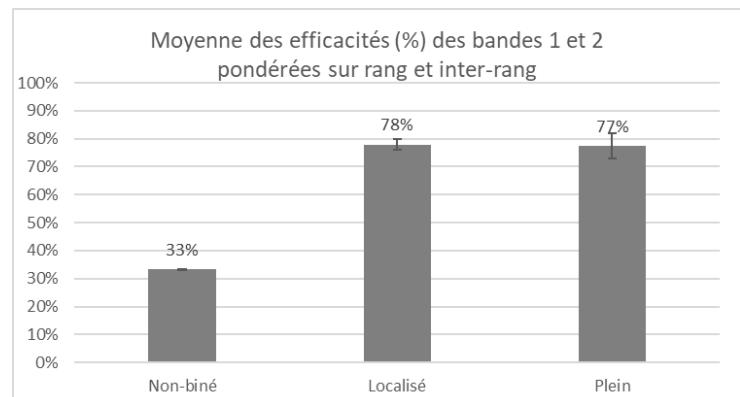


Sur le rang, les modalités se valent. Dans l'inter-rang, le binage semble plus aléatoire que le plein mais reste tout à fait satisfaisant et similaire au plein ici.



Ainsi, dans cet essai, les efficacités sur les sommes d'adventices (c'est-à-dire quelle que soit l'espèce d'adventices) sont plutôt homogènes sur bande 1 et bande 2 et satisfaisantes (autour de 80%) dans toutes les modalités, qu'on soit dans le rang et dans l'inter-rang.

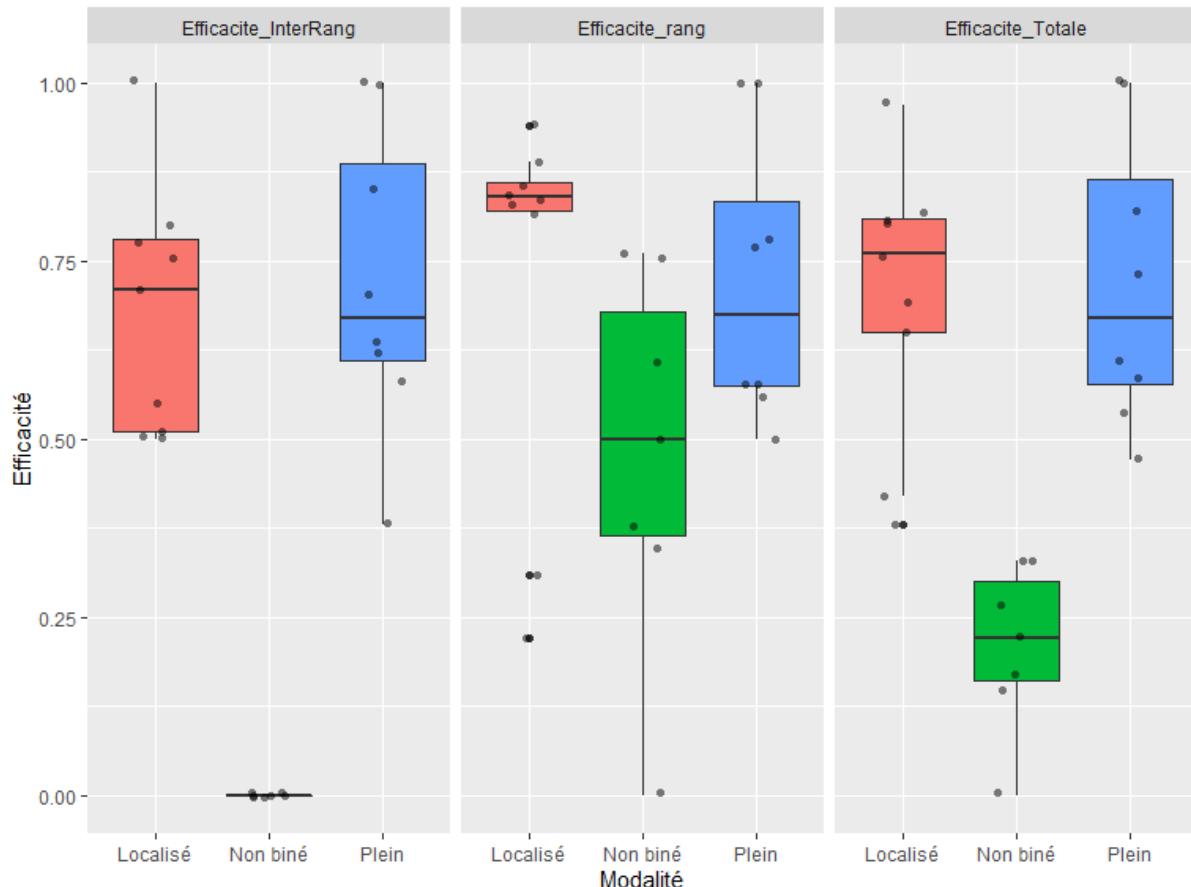
Cela se retrouve dans ce graphique (en gris) qui confirme les tendances des précédents essais, à savoir que le plein et le localisé biné ont des performances équivalentes et que le localisé non biné ne donne pas d'efficacité correcte.



d) Analyse commune des essais et statistiques

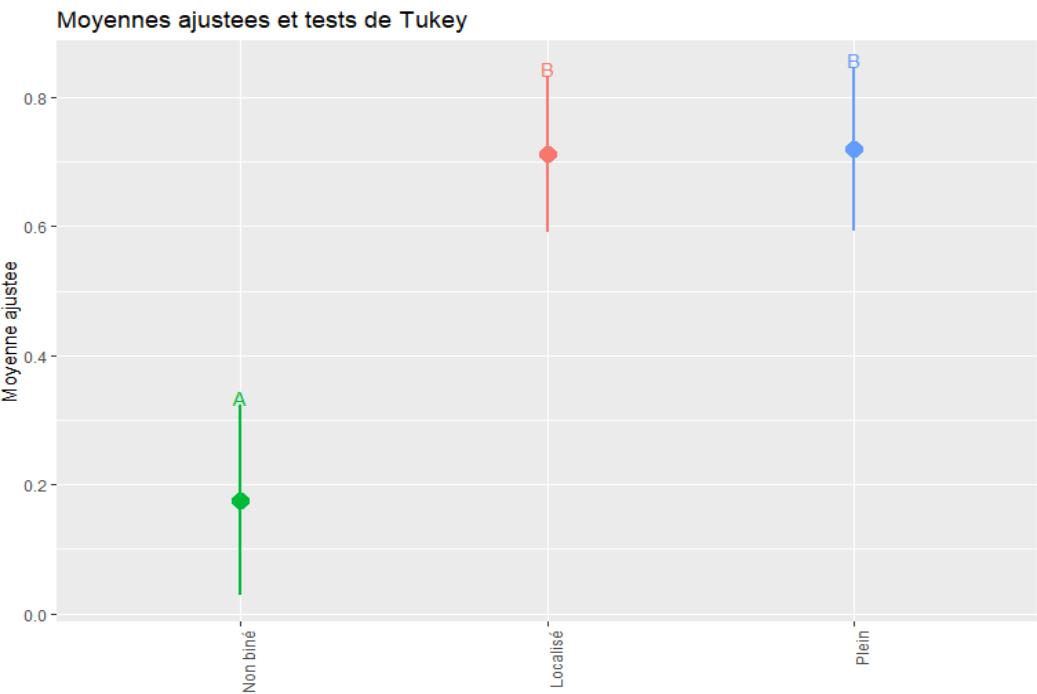
Une analyse statistique des données des 4 essais regroupés a été réalisée.

Sur les efficacités calculées :



En observant la distribution des efficacités calculées, on voit que dans l'inter-rang le binage et le plein semblent équivalents, avec une tendance meilleure pour le plein et une variabilité assez importante pour les deux techniques. Sur le rang, l'efficacité du localisé et du plein semblent aussi équivalentes, avec une tendance meilleure pour le localisé et une variabilité assez importante pour le plein. Le localisé non biné sur le rang est décevant et variable. Le binage faciliterait donc une meilleure efficacité sur le rang (salissement postérieur par l'inter-rang certainement). Les efficacités totales, sont le reflet de ce qui est observé dans l'inter-rang et sur le rang puisque ce sont les efficacités pondérées du rang (*0.44) et de l'inter-rang (*0.56) ; ainsi le plein et le localisé se valent, avec une plus forte hétérogénéité pour le plein qui est sans doute due à l'essai colza 2018 pour lequel il y avait eu un problème de dosage dans les modalités en plein. Le localisé non biné reste décevant sur l'efficacité totale et bien en dessous des deux autres modalités. Ainsi, **le localisé biné est une technique tout à fait pertinente qui peut tout à fait remplacer le traitement en plein, à condition de disposer de créneaux de binage.**

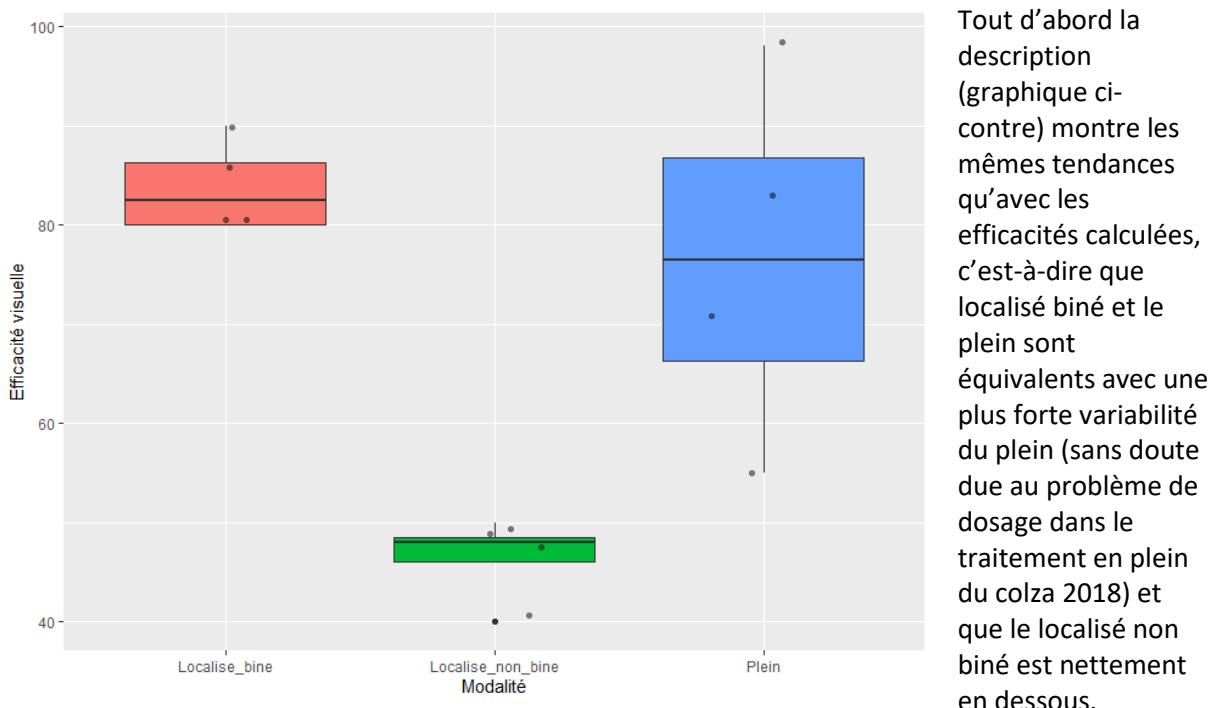
Une ANOVA a été réalisée sur l'efficacité totale : elle montre un effet significatif de la modalité, mais pas de l'essai ou des répétitions. Cependant, un test de Tukey révèle que c'est la modalité « localisé non biné » qui a un effet significatif et que le « localisé biné » et le « plein » se retrouvent dans le même groupe statistique (voir graphique ci-dessous), ce qui confirme qu'ils se valent et que le localisé biné peut prétendre remplacer le traitement en plein.



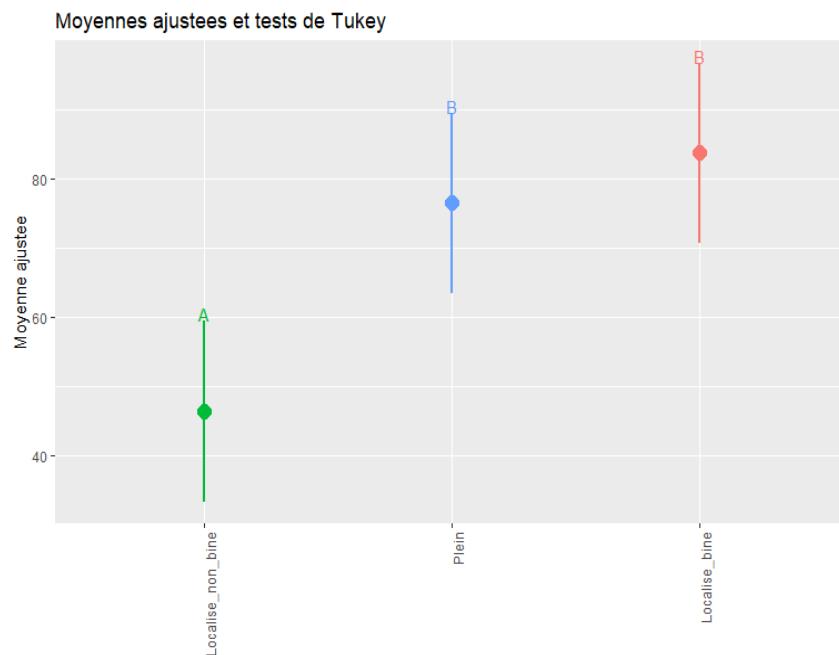
L'ANOVA sur les efficacités dans l'inter-rang donne exactement les mêmes résultats. Celle sur les efficacités sur le rang donne aussi les mêmes résultats, avec en revanche un effet significatif de l'essai car les résultats de colza 2018 et colza 2020 sont significativement différents sur le rang.

Sur l'efficacité visuelle :

Enfin, une ANOVA sur l'efficacité notée visuellement a également été réalisée.



L'ANOVA révèle que la modalité a un effet significatif mais pas l'essai. Comme avec les efficacités calculées, le plein et le localisé biné sont dans le même groupe statistique tandis que le localisé non biné est à part.



Ainsi les essais ont démontré que la technique de pulvérisation sur le rang complétée par du binage est tout à fait pertinente : elle est efficace et rivalise avec un traitement en plein. En revanche, il est important de pouvoir biner pour que la technique soit satisfaisante.

e) Conclusions

On peut retenir de ces essais que, globalement, la modalité « traitement localisé + binage » a une efficacité satisfaisante, similaire au « traitement en plein » et tout à fait pertinente pour des désherbages à grande échelle. L'efficacité moyenne à mauvaise de la modalité « traitement localisé non biné » montre l'importance du binage pour désherber toute la surface.

Ainsi, les essais mis en place par Terres Inovia, en collaboration avec la Coopérative Agricole Lorraine, ont permis d'évaluer la technique de désherbage mixte (herbicide localisé sur le rang puis binage) en post-levée du colza et du tournesol. En effet, cette technique était antérieurement plutôt utilisée en betterave et peu de références existaient sur oléagineux. Ces essais ont permis de montrer qu'elle était tout à fait pertinente sur ces cultures et semblable à un traitement en plein, à condition de pouvoir biner au moins 1 fois.

➤ Outil d'Aide à la Décision

Dans le cadre du projet, un OAD a été développé pour déterminer les réglages optimums d'une pulvérisation efficace (choix de la buse, angle, volume, vitesse, etc...) et aider l'agriculteur dans ses calculs de volumes d'eau et de produit à mettre dans la cuve, adaptés à chaque condition de traitement localisé sur le rang, en fonction de la culture et de son stade (hauteur, écartement, etc...). Cet outil est disponible sous la forme d'une application pour les smartphones, qui permet aux agriculteurs de l'utiliser facilement au champ.

Il a été développé grâce à la contribution de :

- Terres Inovia pour la fourniture de référence et d'expertise,
- AgroSup Dijon pour le calcul d'équations, le paramétrage de l'outil et la définition du cahier des charges pour l'interface. Ce travail a été réalisé notamment par un groupe d'étudiants de 2^{ème} année d'école ingénieur agronome dans le cadre d'un projet tuteuré de l'école ; il s'est appuyé notamment sur des entretiens avec des utilisateurs potentiels.
- Le travail de développement numérique de l'OAD a alors été confié à SUDUINNOV, prestataire indépendant.

Avant cette dernière étape, il a été nécessaire de définir : 1) l'arbre décisionnel qui explique le nombre d'équations et leur enchaînement, 2) le nombre de cas d'étude (2 profils d'agriculteur et 1 profil expérimentateur) 3) le nombre de variables d'entrée et 4) le nombre de variables de sortie.

Présentation des variables d'entrée et de sortie du simulateur :

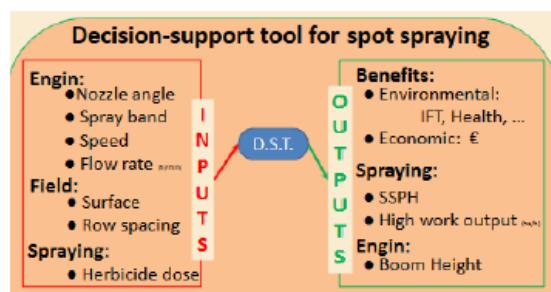


Tableau récapitulatif des différentes étapes de l'OAD :

Étape	Dénomination	Exemple d'éléments présents
Étape 1	Choix de la stratégie de pulvérisation (3 choix possibles)	-Volume/ha et débit de buse constants -Vitesse de travail et débit de buse constants -Volume/ha et vitesse de travail constants
Étape 2	Informations générales concernant la parcelle, le traitement et l'exploitant	Type de culture, nom de la parcelle traitée, exploitant réalisant le traitement, date...
Étape 3	Choix de la stratégie de traitement (3 stratégies possibles)	-Traitement localisé avec bordures en plein -Traitement localisé avec bordure en localisé -Traitement en plein sur la totalité de la parcelle
Étape 4	Définition des paramètres d'entrées	Caractéristique de la machine, de la parcelle et des produits phytosanitaires (cf 2.1.)
Étape 5	Variables de sorties	Paramètres d'utilisation (quantité de produit, d'eau) et paramètre environnemental (économie en produit)
Étape 6	Informations complémentaires	Surfaces traitées, ressources complémentaires

Exemple d'enchaînement des fenêtres de l'application OAD :

Etape 1 : ouvrir l'application, choix de la stratégie de pulvérisation	Etape 2:	Apparence de l'historique des traitements : exemple avec recherche par date de traitement (Recherche possible par noms et parcelles)	Etape 3 : Choix de la stratégie de traitement
<div style="background-color: #e0f2e0; padding: 10px;"> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Historique des traitements</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Volume/ha et débit de buse constants</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Vitesse de travail et débit de buse constants</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Volume/ha et vitesse de travail constants</div> </div>	<div style="background-color: #e0f2e0; padding: 10px;"> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Type de culture</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Nom de la parcelle traitée</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Nom de l'exploitant réalisant le traitement</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Date du traitement</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Noms des produits phytosanitaires</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Produit 1 Nom du produit</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Produit 2 Nom du produit</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Plus</div> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; border-radius: 5px; width: fit-content; margin-top: 10px;">Suivant →</div> </div>	<div style="background-color: #e0f2e0; padding: 10px;"> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Recherche par : Date</div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">30/09/2020</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> Parcelle Nom Produit Dose IFT culture </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> Morveau Pierre Dubois Colzamid 1,5/ ha 0,21 Colza </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> Le Vallon Pierre Dubois Colzamid 1,5/ ha 0,21 Colza </div> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; border-radius: 5px; width: fit-content; margin-top: 10px;">Télécharger</div> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; border-radius: 5px; width: fit-content; margin-top: 5px;">Imprimer</div> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; border-radius: 5px; width: fit-content; margin-top: 5px;">Retour</div> </div>	<div style="background-color: #e0f2e0; padding: 10px;"> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Cas 1- Traitement localisé avec bordures en plein</div> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Cas 2- Traitement localisé avec bordures en localisé</div> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Cas 3- Traitement en plein sur la totalité de la parcelle</div> </div>

Le nom « PréciLOC » a été choisi par les partenaires du projet.

PréciLOC

Présentation de l'outil PréciLOC :



L'utilisateur peut chercher à calculer 3 types de paramètres (voir écran à gauche ci-dessous) :

- 1) Soit il cherche à calculer sa vitesse de traitement (en ayant déjà un débit et un volume/ha fixes)
- 2) Soit il cherche à calculer le volume de la bouillie (en ayant déjà une vitesse de traitement et un débit fixes)
- 3) Soit il cherche à calculer le débit de traitement (en ayant déjà une vitesse et un volume/ha fixes)

08:17 ⓘ

← Nouveau traitement

Vous souhaitez ?

CALCULER VOTRE VITESSE	CALCULER VOTRE VOLUME DE BOUILLIE	CHOISIR VOTRE DÉBIT DE BUSE
------------------------	-----------------------------------	-----------------------------

Type de culture

Nom de l'exploitant réalisant le traitement

Sauvegarder les saisies

You pouvez sauvegarder localement les informations ci-dessus pour un prochain traitement.
Les informations sont stockées dans votre téléphone, utilisées pour remplir automatiquement les champs.
Vous pouvez supprimer ces informations à tout moment dans la section Paramètres de l'application.

Date d'opération
29/01/2021 08:17

SUIVANT →



De plus, l'utilisateur peut être intéressé par 3 types de traitement (voir écran à droite ci-dessus) :

- Soit il veut faire un traitement localisé avec les bordures en plein (c'est l'attente des agriculteurs équipés d'une rampe de traitement localisé)
- Soit il souhaite traiter tout en localisé, y compris la bordure du champ (c'est plutôt le cas des expérimentateurs)
- Soit il veut traiter tout son champ en désherbage en plein (besoin agriculteur)

Ce qui fait donc 9 situations possibles.

Ensuite, l'utilisateur rentre ses paramètres :

The screenshot shows a mobile application interface for calculating spraying parameters. At the top, there is a navigation bar with icons for signal strength, battery level, and a back arrow. Below the navigation bar, the title "Cas 1 - Traitement localisé avec b..." is displayed. A progress bar at the top indicates the user is on step 3 of 4.

Caractéristiques de la pulvérisation

- LARGEUR JET BUSE LOCALISÉ (cm): 20.0 cm
- ANGLE (en degré °): 40.0 en degré °
- ECARTEMENT DES BUSES (cm): 45.0 cm
- VITESSE D'AVANCEMENT (km/h): 10.0 Km/h
- VOLUME (l/ha): 100.0 l/ha
- LARGEUR DU PULVÉRISATEUR (m): 16.2 m
- VOLUME MORT (l): 0.0

Sauvegarder les saisies (checkbox)

You pouvez sauvegarder localement les informations ci-dessus pour un prochain traitement.
Les informations sont stockées dans votre téléphone, utilisées pour remplir automatiquement les champs.
Vous pouvez supprimer ces informations à tout moment dans la section Paramètres de l'application.

Caractéristiques de la parcelle

- NOM DE LA PARCELLE TRAITÉE: parcellle 1
- SURFACE TOTALE (ha): 1 ha
- PÉRIMÈTRE (m): 400 m
- Nombre de passages en bordure en plein: 1

Produit phytosanitaire

Nombre de produits à ajouter : 1

Produit 1: Mozzar	Dose de produit 1: 0.5 l/ha
-------------------	-----------------------------

CALCULER

SUIVANT

Navigation icons: three vertical bars, a square, and a left arrow on the left; three vertical bars, a square, and a left arrow on the right.

Puis en sortie l'application donne les paramètres calculés (exemple ici avec les résultats sur le débit de buse à gauche et les volumes à droite) :

The screenshot displays two screens of a mobile application for irrigation calculations.

Left Screen (Resultats des calculs):

- CHOIX DU DEBIT DE BUSE** (Case 1 - Traitement localisé avec bordures en plein)
- Bordure**:
 - Hauteur des buses: 60 cm
 - Débit des buses: 1,69 l/min
- Champ**:
 - Hauteur des buses: 27 cm
 - Débit des buses: 0,75 l/min
- Caractéristiques de la parcelle**:
 - Largeur non traitée entre 2 buses: 25,00 cm
 - Surface réellement traitée: 0,16 ha
 - Surface de la bordure traitée: 0,65 ha
 - Surface totale traitée: 0,80 ha
- Caractéristiques du produit**:
 - Quantité totale bouillies: 80,44 l
 - Quantité d'eau: 80,04 l
 - Quantité produit Mozzar: 0,40 l

* Le volume mort est pris en compte dans le calcul
- Gain**:
 - Gain en produits phytopharmaceutiques: 55,56 %

Right Screen (CALCUL DU VOLUME DE BOUILLIE Cas 2 - Traitement localisé sur la totalité de la parcelle):

- Champ**:
 - Hauteur des buses: 27 cm
- Caractéristiques de la parcelle**:
 - Largeur non traitée entre 2 buses: 25,00 cm
 - Surface réellement traitée: 0,44 ha
 - Surface totale traitée: 0,44 ha
- Caractéristiques du produit**:
 - Quantité totale bouillies: 86,67 l
 - Quantité d'eau: 86,44 l
 - Quantité produit Mozzar: 0,22 l

* Le volume mort est pris en compte dans le calcul
- Gain**:
 - Gain en produits phytopharmaceutiques: 55,56 %
- Buttons:**
 - QUITTER SANS ENREGISTRER (Yellow button)
 - ENREGISTRER (Green button)

Le gain environnemental, c'est-à-dire la quantité de produits phytopharmaceutiques économisée, est calculée afin d'informer l'agriculteur.

L'historique est conservé si l'utilisateur le désire.

08:28 M

Detail du traitement

hh

Cas 1 - Traitement localisé avec bordures en plein

Resultat

BORDURE
Hauteur buses : 60,00
Débit des buses : 1,69

CHAMP
Hauteur buses : 27,47
Débit des buses : 0,75

Largeur non traitée entre 2 buses : 25,00
Surface réellement traitée : 0,16
Surface bordure traitée : 0,65
Surface totale traitée : 0,80

Quantité totale bouillie : Mozzar
Quantité d'eau : 80,04
Quantité produit Mozzar : 0,40

Gain : 19,56

08:30 M

PreciLOC

Outil d'aide à la décision pour la pulvérisation sur le rang

TRAITEMENT HISTORIQUE

Rechercher par produit

hh parcelle 1
Mozzar 0.5
CHOIX DU DEBIT DE BUSE
29/01/2021 08:26

hh parcelle 1
Mozzar 0.5
CALCUL DU VOLUME DE BOUILLIE
29/01/2021 08:28

hh parcelle 1
Mozzar 0.5
CALCUL DE LA VITESSE
29/01/2021 08:29

Les règles concernant la protection des données (RGPD) sont respectées et aucune information n'est transmise. Les données sont conservées dans le téléphone de l'utilisateur s'il veut retrouver ses simulations. Il peut également les supprimer de son téléphone. Il peut aussi les partager par sms ou mail ou WhatsApp.

L'application est disponible sur PlayStore pour les smartphones android ; cela permettra aux agriculteurs et aux techniciens de l'utiliser facilement au champ.

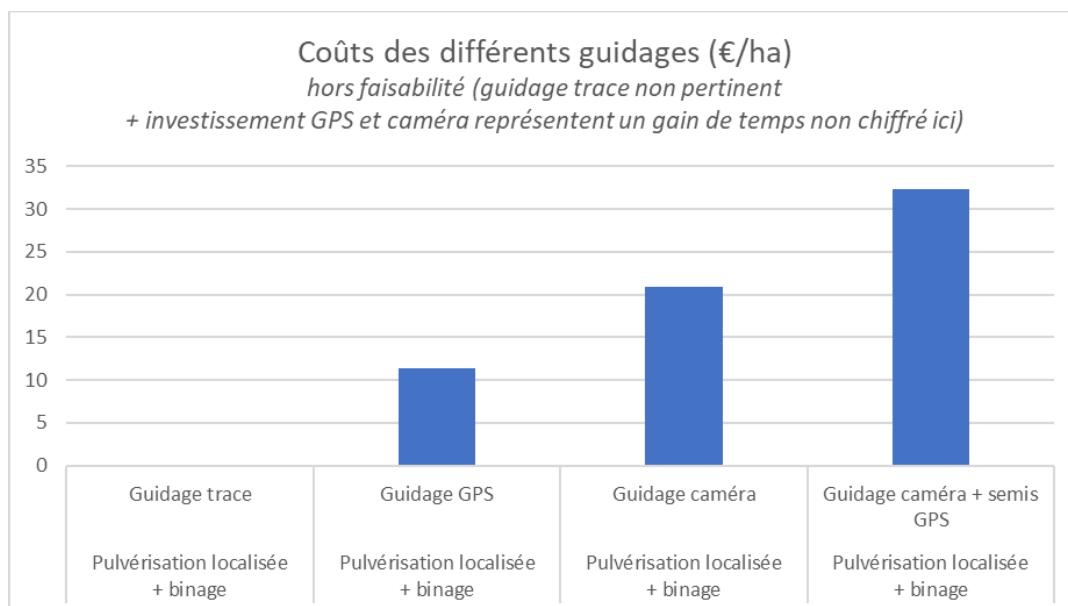
- **Tâche 3 : bilan économique et environnemental de la pulvérisation localisée sur le rang**

➤ Evaluation du coût des différents systèmes de guidage pour comparaison

Les hypothèses prises pour l'amortissement des systèmes de guidage sont :

	Investissement initial	Durée de vie du matériel	Surface travaillée par an
Guidage GPS (ici RTK)	20 000 € *	Amorti sur 7 ans	375 ha avec 40 % de cultures en rang (colza, tournesol, betterave, maïs grain, soja...)
Abonnement GPS	1400 €/an		
Guidage caméra	22 000 €	Amorti sur 7 ans	

* source : « Autoguidage Rtk : Combien ça coûte ? » 30/01/2014, Matthieu Freulon, Terre-net Média.



Si le guidage par trace ne coûte rien, il est cependant difficilement réalisable sur colza et tournesol (cf chapitre sur l'étude des différents guidages). Comme énoncé plus haut, le guidage par caméra a un coût plus élevé que le guidage par GPS uniquement, et d'autant plus s'il est pratiqué sur une culture semée au guidage GPS (ce qui nécessite les deux équipements). Ces deux techniques (guidage GPS et guidage caméra) permettent un gain de temps pour l'agriculteur qui n'a pas été pris en compte ici dans ces calculs car il est difficile à chiffrer ; cependant ce gain de temps est important pour l'adoption de la technique par l'agriculteur.

➤ Evaluation du coût du traitement localisé sur le rang en grande largeur complété par du binage et comparaison avec d'autres techniques

Une première analyse économique a été réalisée pour évaluer le coût d'1 ha pulvérisé avec la rampe de traitement localisé Maréchal :

Pulvérisateur localisé sur le rang de marque MARECHAL

Prix d'achat (€ HT)	25000
Durée d'utilisation (an)	10
Surface travaillée (ha/an)	150
Coût d'entretien (€/an)	150
Volume de la cuve (l)	1200
Vitesse d'avancement (km/h)	10
débit de chantier (remplissage de la cuve inclus) en ha/h	7
Amortissement + entretien du pulvérisateur (€/ha)	17.67
Coût de traction (tracteur 120 CV à 700 h/an) - amortissement, entretien et main d'œuvre -en €/h	17.7
<i>Source : barème APCA 2017</i>	
Coût de traction (tracteur 120 CV à 700 h/an) - amortissement et entretien -en €/ha	2.53
Mais d'œuvre (base 25 €/h)	3.57
Coût total*(€/ha)	23.8

Cellule modifiable

Cellule de calcul

* amortissement, entretien, énergie et main d'œuvre (outil et traction)

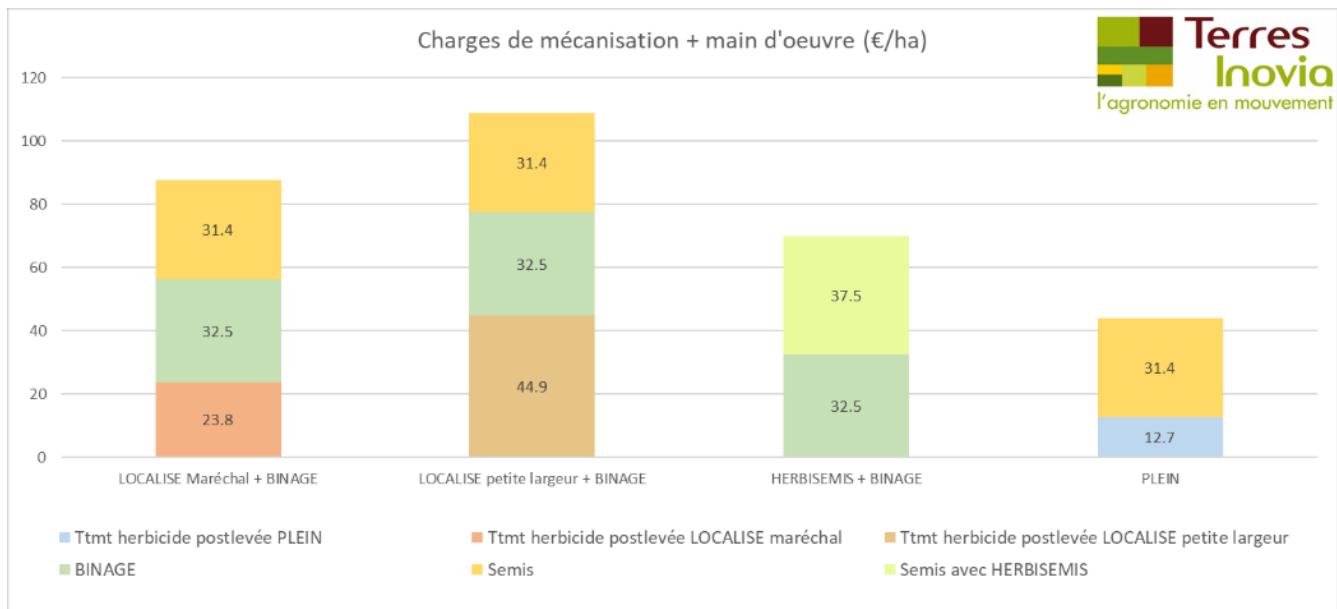
V. Lecomte et F. Vuillemin, Terres Inovia, Version 2 du 03/07/2018

Il s'agit de coûts complets incluant l'amortissement, l'entretien, le carburant (énergie) et la main d'œuvre. Ainsi, sur la base du barème APCA 2017, la pulvérisation localisée avec une rampe Maréchal de 36 rangs qui fait 150 ha/an en moyenne (avec un tracteur de 120 CV qui fait 700h/an) coûte 23,8 €/ha, en prenant en compte les frais d'amortissement, d'entretien, de carburant et de main d'œuvre, tant pour la rampe que pour le tracteur.

Selon les mêmes hypothèses, une bineuse de 8 rangs avec guidage optique qui fait 120 ha /an en moyenne (avec un tracteur de 120 CV qui fait 700h/an) coûte 22,4 €/ha.

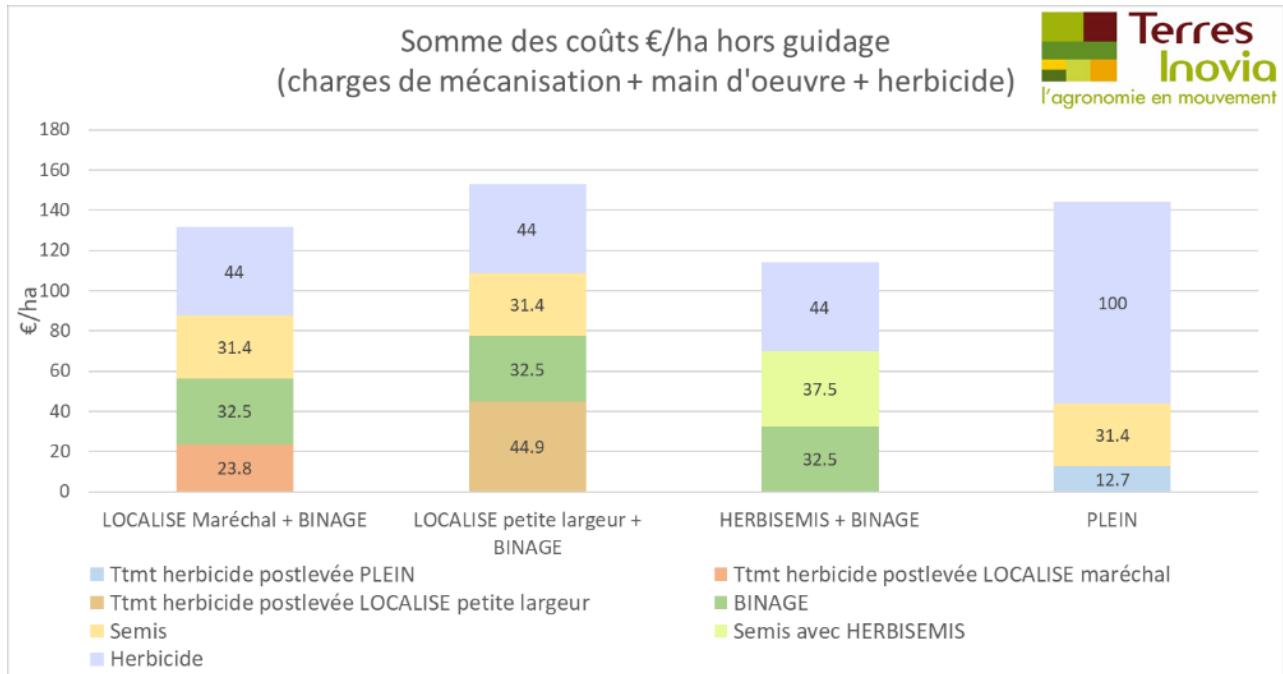
Ce coût de la pulvérisation localisée en grande largeur a été comparé à celui d'autres techniques de pulvérisation : un traitement en plein, un traitement localisé sur le rang au moment du semis (kit herbisemis positionné sur le semoir), un traitement localisé en post-levée mais avec une rampe de faible largeur (utilisée dans des essais antérieurs au projet), etc... Pour ce faire, les coûts des opérations de semis et de binage ont été intégrés.

- Technique pulvérisation localisée Maréchal puis binage : semis + traitement localisé + binage
- Technique pulvérisation localisée petite largeur puis binage : semis + traitement localisé petite largeur + binage
- Technique pulvérisation localisée au semis (herbisemis) puis binage : semis avec herbisemis + binage
- Technique de pulvérisation en plein : semis + pulvérisation en plein (pas de binage car toute la surface est désherbée)



Ces chiffres représentent la charge et non la marge (en effet, le rendement pas mesuré). Ces calculs permettent de dire si la technique a un coût plus élevé ou moins élevé que les pratiques actuelles des agriculteurs. Cela permet d'évaluer la technique. Cependant, il ne faut pas oublier que l'intérêt de la pulvérisation localisée est de faire des économies de produit. Pour être exact, il est donc nécessaire d'intégrer le coût de l'herbicide dans les calculs.

Si l'on rajoute le coût de l'herbicide, en prenant un coût théorique moyen d'un herbicide à 100€/ha (sachant que les prix moyens sont Alabama = 97 €/ha ; Cleravis = 104 €/ha ; Mozzar = 41 €/ha ; Pulsar = 66 €/ha), alors les techniques localisées, grâce au gain de produit non pulvérisé dans l'inter-rang ont un coût herbicide de 44€/ha puisque pour un écartement de 45 cm et une largeur de bande traitée de 20 cm, on ne traite que 44% de la surface. On obtient donc les résultats suivants :

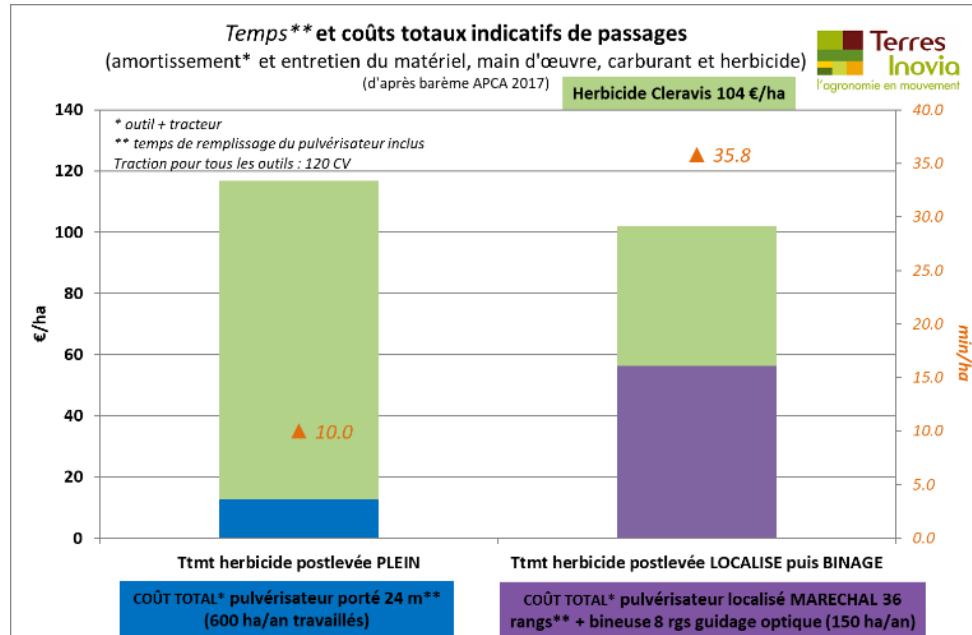


Ainsi, la technique de pulvérisation localisée en post-levée avec la rampe Maréchal complétée par du binage s'avère intéressante, avec un coût certes un peu plus élevé que la technique herbisemis +

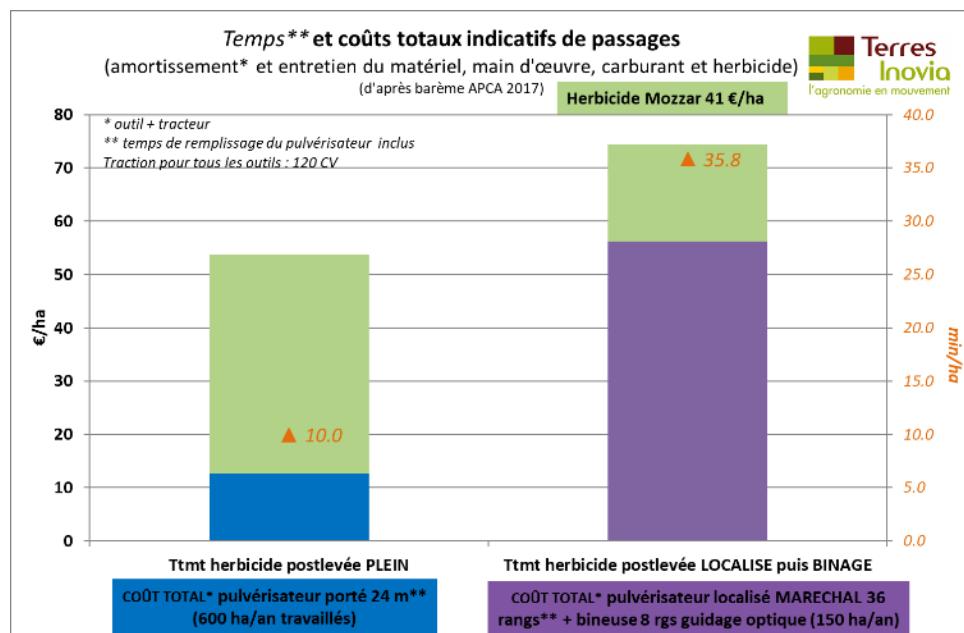
binage (puisque le traitement est réalisé en même temps que le semis et ne nécessite donc pas de passage supplémentaire), mais moins coûteuse qu'un traitement en plein sans binage, grâce à l'économie réalisée sur le volume d'herbicides.

Ces résultats sont néanmoins très dépendants du coût de l'herbicide. Une analyse plus approfondie selon le coût d'herbicides réels classiques du colza ou du tournesol a été réalisée.

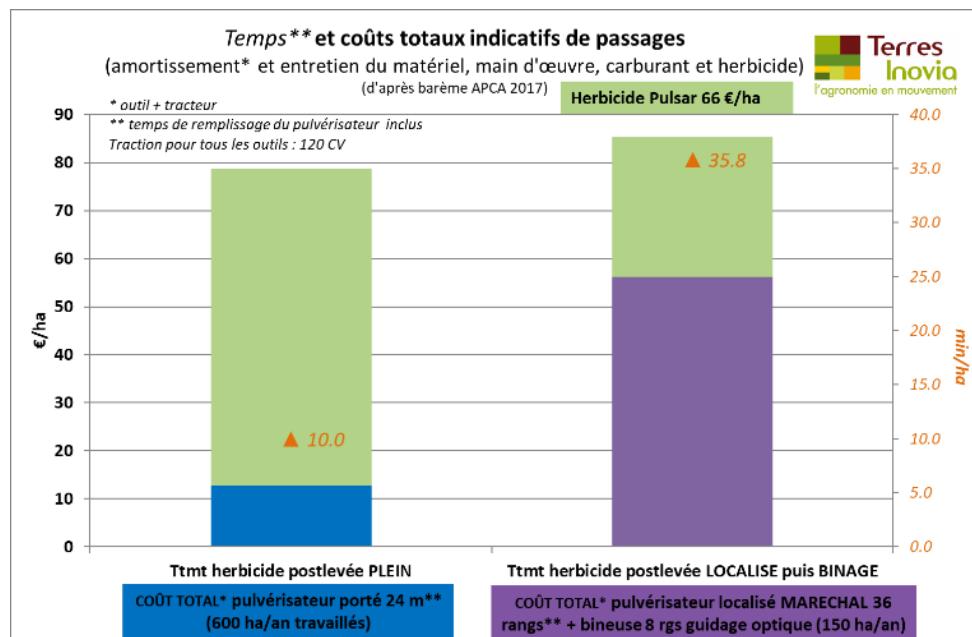
Colza : herbicide de postlevée Cleravis sur Variété Tolérante :



Colza : herbicide de postlevée Mozzar sur variété classique :



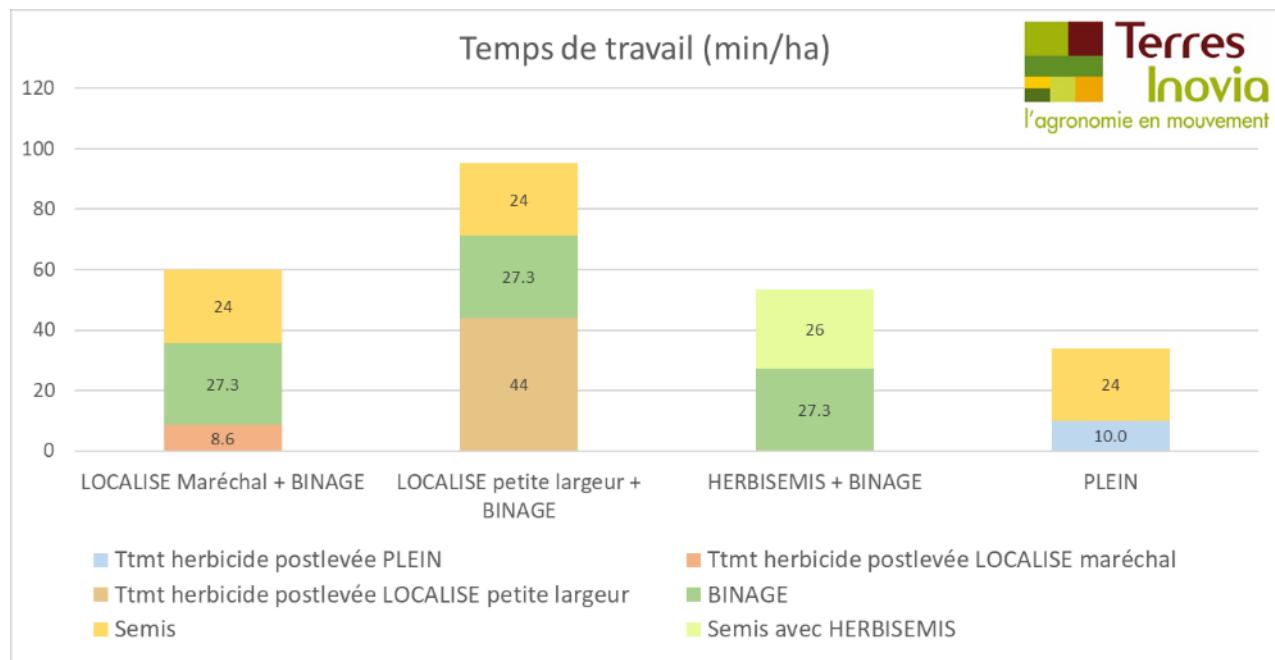
Tournesol : herbicide de postlevée Pulsar sur Variété Tolérante :



Ainsi, c'est lorsque l'herbicide a un coût supérieur à 70€/ha environ que la technique « localisé puis binage » est moins coûteuse qu'un traitement en plein.

➤ Evaluation du temps de travail, en comparaison avec d'autres techniques

Nous avons comparé également les techniques sur le temps de travail.



La technique « localisé sur le rang puis binage » avec la rampe Maréchal nécessite un temps de travail plus qu'avec une rampe de petite largeur, bien évidemment. Ce temps est légèrement plus élevé que celui de la technique « herbisemis puis binage ». Celui de la pulvérisation en plein reste le plus bas.

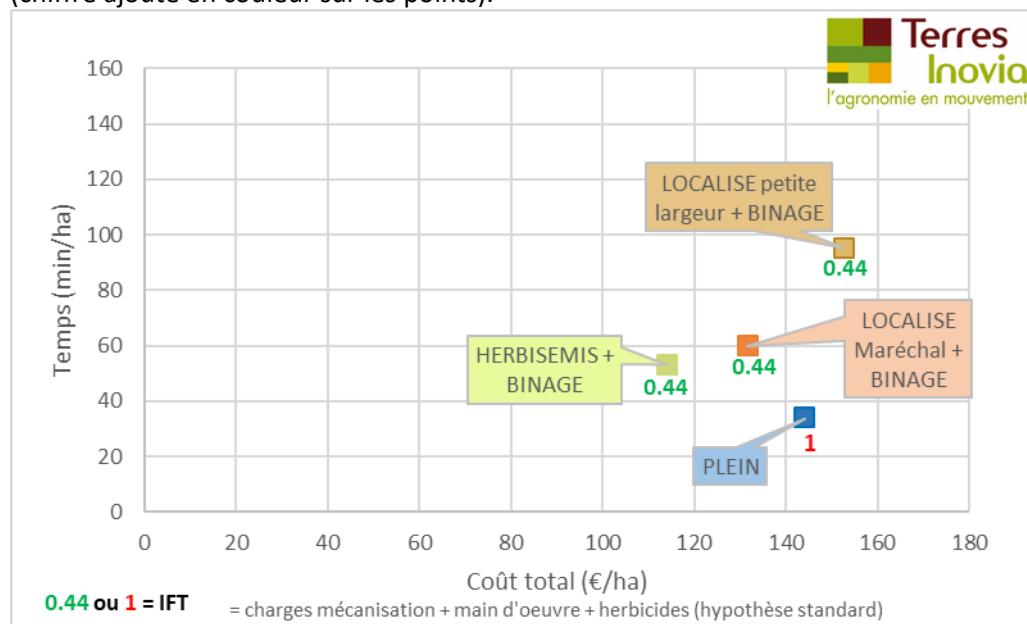
➤ Evaluation du gain environnemental

Au-delà de l'aspect économique et du temps de travail, le gain de produit a un impact environnemental intéressant : pour un écartement de 45 cm et une largeur de bande traitée de 20 cm, on ne traite que 44% de la surface. Ainsi, l'économie de produit est de 56%. Donc pour un IFT de 1, avec la technique de traitement localisé sur le rang puis binage, on tombe à un IFT de 0,44.

Indépendamment de ce projet, une fiche CEPP valorise la pulvérisation localisée.

➤ Evaluation multi-critères

En résumé, on peut représenter les quatre techniques étudiées sur le graphique suivant, en prenant en compte le coût total en €/ha (en abscisse), le temps de travail en min/ha (en ordonnée) et l'IFT (chiffre ajouté en couleur sur les points).



Encore une fois, ces résultats dépendent des hypothèses de calcul prises sur le coût de l'herbicide (ici hypothèse standard de 100€/ha, coût estimé médian issu des enquêtes de Terres Inovia sur les pratiques culturales en colza 2018).

La technique herbisemis puis binage semble être le meilleur compromis de coût, temps de travail et IFT. La technique en petite largeur n'est bien sûr pas compétitive (débit de chantier élevé). La technique « pulvérisation localisée Maréchal puis binage » et le traitement en plein sont intermédiaires.

➤ Evaluation du nombre de jours disponibles pour biner

Cette analyse technico-économique a été complétée par une étude des jours disponibles pour biner, puisque le binage complète le traitement localisé sur le rang et les résultats des essais montrent bien qu'il est indispensable pour obtenir un désherbage satisfaisant sur toute la surface du champ. Elle a été menée sur colza d'une part et sur tournesol d'autre part.

Les calculs ont été réalisés par le prestataire Arvalis au moyen de leur modèle « J-dispo ». Compte-tenu de la localisation des essais mais aussi de la diversité des contextes français, 4 régions contrastées ont été prises pour exemple dans cette étude avec 2 types de sol différents pour chacune d'elle. Et pour chaque situation, différentes hypothèses de dates de semis (précoce, tardive) ont été prises pour le colza et le tournesol.

Région	Station météo utilisée	Type de sol
Lorraine	Nancy	Argilo-calcaire
		Argilo-limoneux
Poitou-Charentes	Poitiers Biard	Argilo-calcaire
		Limon hydromorphe
Bourgogne	Dijon	Argilo-calcaire
		Limon-argileux
Lauragais	En Crambade (31)	Argilo-calcaire
		Boulbènes

Les calculs de l'outil J-dispos s'appuient sur les fréquentielles des 20 dernières années (2000 à 2019). L'outil J-dispo étant paramétré pour des cultures de céréales à paille, maïs ou couvert intermédiaire, Arvalis a dû faire quelques contournements et ajustements de dates de semis et d'espèces pour simuler le colza d'une part et le tournesol d'autre part. Finalement, l'erreur éventuelle avec cette méthode se situe uniquement sur le calcul de l'humidité du sol. Cette humidité est ensuite comparée à des valeurs seuils pour définir si le sol est au bon état d'humidité pour être travaillé. Cette valeur aura donc un impact sur la disponibilité du jour seulement si les deux conditions suivantes sont réunies simultanément :

- l'humidité du sol est proche de l'humidité critique pour pouvoir travailler,
- ET il n'y a pas d'autres facteurs limitants (pluie, temps trop séchant, etc.) ce jour-là.

Ces situations sont donc restreintes, mais on ne peut pas dire à quelle fréquence elles se produisent.

Une fois ces hypothèses exposées, les résultats se présentent sous deux formes :

- Le nombre de jours disponibles pour biner la culture au total sur la période de binage sélectionnée ; que l'on peut traduire en surface (ha) binable sur cette période en prenant une hypothèse de débit de chantier de la bineuse de 2.8 ha/h et d'une journée de travail de 10h.
- Le nombre de jours disponibles pour biner la culture par décade. C'est-à-dire que par tranche de 10 jours sur la période de binage, on retient le nombre de jours minimum (ou décile 2), sur les 20 dernières années étudiées, où l'on peut biner. C'est pour cette raison que l'on ne peut pas faire la somme des jours disponibles par décades pour avoir le nombre de jours binables sur la période, dans ce cas il faut se référer au premier type de résultat.

a) Résultats Colza : nombre de jours disponibles sur la période de binage

Nombre de jours disponibles pour biner le COLZA au total sur la période de binage (4f à fin mars)

Région	Type de sol	Date de semis du colza	Période totale de binage (4f à fin mars)	minimum	decile2	mediane
Lorraine	Argilo-calcaire	Début août	25 août au 30 mars	28	49	60
Lorraine	Argilo-limoneux	Début août	25 août au 30 mars	26	48	58
Lorraine	Argilo-calcaire	Fin août	20 sept au 30 mars	23	40	46
Lorraine	Argilo-limoneux	Fin août	20 sept au 30 mars	22	38	43
Poitou-Charentes	Argilo-calcaire	Début août	25 août au 30 mars	45	62	79
Poitou-Charentes	Limon hydromorphe	Début août	25 août au 30 mars	40	53	72
Poitou-Charentes	Argilo-calcaire	Fin août	20 sept au 30 mars	29	44	63
Poitou-Charentes	Limon hydromorphe	Fin août	20 sept au 30 mars	23	37	57
Bourgogne	Argilo-calcaire	Début août	25 août au 30 mars	43	58	64
Bourgogne	Limon-argileux	Début août	25 août au 30 mars	43	56	66
Bourgogne	Argilo-calcaire	Fin août	20 sept au 30 mars	25	45	50
Bourgogne	Limon-argileux	Fin août	20 sept au 30 mars	24	45	49
Lauragais	Argilo-calcaire	Début août	25 août au 30 mars	51	60	79
Lauragais	Boulbènes	Début août	25 août au 30 mars	50	57	79
Lauragais	Argilo-calcaire	Fin août	20 sept au 30 mars	39	47	60
Lauragais	Boulbènes	Fin août	20 sept au 30 mars	38	46	57
Lauragais	Argilo-calcaire	autour du 10 sept	15 oct au 30 mars	28	32	44
Lauragais	Boulbènes	autour du 10 sept	15 oct au 30 mars	27	30	41

Modèle J-Dispo
ARVALIS - Institut du végétal

Minimum	= nb de jours disponibles dans tous les cas
décile2	= nb de jours disponibles sur 8 années sur 10 (donc 16 sur les 20 dernières années). On accepte qu'il y ait 2 années sur 10 difficiles mais pas plus.
médiane	= nb de jours disponibles 1 année sur 2

Grâce à une plage d'intervention large en lien avec le cycle long de la culture de colza et son semis précoce par rapport à une céréale à paille par exemple, le nombre de jours disponibles pour biner un colza (du stade 4 feuilles à fin mars) dépasse les 25 jours sur l'ensemble de modalités simulées.

De plus, plus on sème le colza tôt, ce qui est dans le sens des préconisations de Terres Inovia (avant le 15 août) pour esquiver le risque lié aux grosses altises adultes à l'automne, et plus on aura de jours disponibles pour biner (en automne et en sortie hiver).

En terme fréquentiel, la région qui offre le mois de jours disponibles pour le binage du colza est la Lorraine. La Bourgogne est mieux placée ; le Poitou-Charentes et surtout le Lauragais offrent beaucoup plus de jours disponibles pour biner, en lien avec un climat plus favorable à cette pratique en tendance. Pour des semis de fin août, il est plus facile de biner dans le Lauragais qu'en Poitou-Charentes. En revanche, sur des semis très tardifs de colza autour du 10 septembre, même dans le Lauragais les jours pour biner ne seront pas si nombreux, ou tout au moins autant qu'en Lorraine pour un semis de fin août.

Il est à souligner que ces jours où le binage est possible peuvent entrer en concurrence avec d'autres chantiers de l'exploitation sur cette période chargée : récolte des cultures d'été, préparation du sol et semis des cultures d'hiver. Tout va dépendre alors du parc matériel, notamment en traction, et de la main d'œuvre disponible sur la ou les exploitation(s) agricole(s).

b) Résultats Colza : surface binable en automne

Surfaces (ha) de COLZA binables sur la période de postlevée (de 4f du colza à début novembre)



Hypothèse de calcul :
10h / jour de travail

Surface cumulée (ha) avec Bineuse 8 rangs avec guidage optique (débit de chantier 2.8 ha/h)						
Région	Type de sol	Date de semis du colza	Période binage (4f à début novembre)	Minimum	Décile2	Médiane
Lorraine	Argilo-calcaire	Début août	25 août au 2 nov	420	638	854
Lorraine	Argilo-limoneux	Début août	25 août au 2 nov	364	610	840
Lorraine	Argilo-calcaire	Fin août	20 sept au 2 nov	196	330	476
Lorraine	Argilo-limoneux	Fin août	20 sept au 2 nov	196	302	448
Poitou-Charentes	Argilo-calcaire	Début août	25 août au 2 nov	644	778	896
Poitou-Charentes	Limon hydromorphe	Début août	25 août au 2 nov	560	750	882
Poitou-Charentes	Argilo-calcaire	Fin août	20 sept au 2 nov	168	330	546
Poitou-Charentes	Limon hydromorphe	Fin août	20 sept au 2 nov	140	330	546
Bourgogne	Argilo-calcaire	Début août	25 août au 2 nov	476	717	840
Bourgogne	Limon-argileux	Début août	25 août au 2 nov	476	722	896
Bourgogne	Argilo-calcaire	Fin août	20 sept au 2 nov	140	353	532
Bourgogne	Limon-argileux	Fin août	20 sept au 2 nov	140	375	546
Lauragais	Argilo-calcaire	Début août	25 août au 2 nov	756	918	1078
Lauragais	Boulbènes	Début août	25 août au 2 nov	756	918	1078
Lauragais	Argilo-calcaire	Fin août	20 sept au 2 nov	364	543	672
Lauragais	Boulbènes	Fin août	20 sept au 2 nov	364	521	672
Lauragais	Argilo-calcaire	autour du 10 sept	15 oct au 15 nov	140	196	308
Lauragais	Boulbènes	autour du 10 sept	15 oct au 15 nov	140	218	322

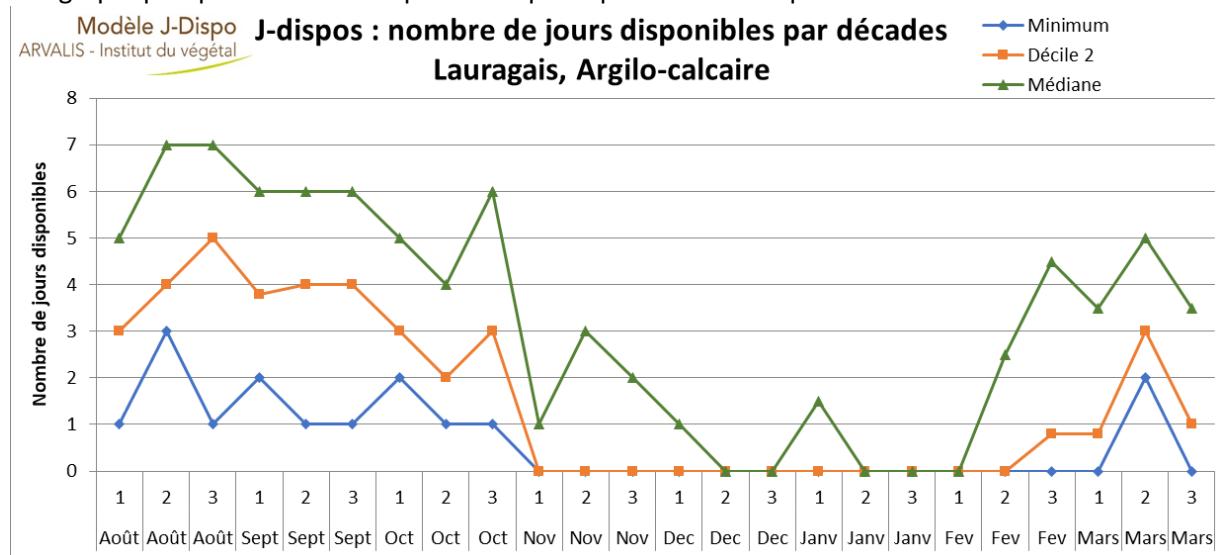
Modèle J-Dispo
ARVALIS - Institut du végétal

Minimum	= surface binable (ha) dans tous les cas
décile2	= surface binable (ha) sur 8 années sur 10 (donc 16 sur les 20 dernières années). On accepte qu'il y ait 2 années sur 10 difficiles mais pas plus.
médiane	= surface binable (ha) 1 année sur 2

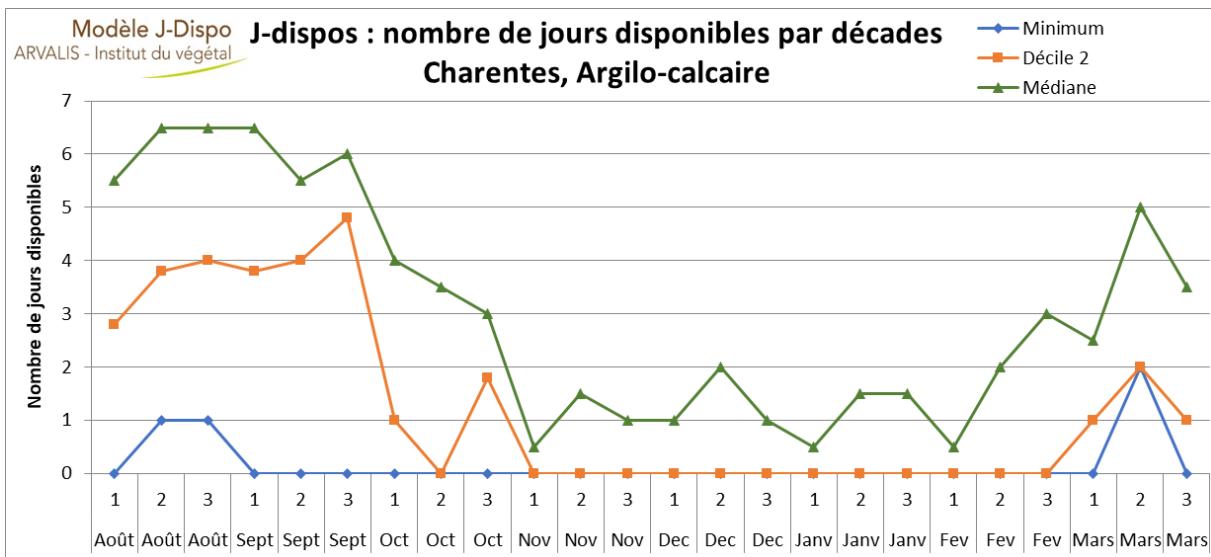
On retrouve les mêmes tendances sur les surfaces, ici le nombre d'hectares binables sur la période de 4 feuilles du colza (en tenant compte des différentes périodes de semis) jusqu'à début novembre. Cela confirme l'intérêt de semer tôt le colza. La technique est particulièrement adaptée pour le sud-ouest mais réalisable aussi sur les autres régions, y compris la Lorraine sur des surfaces élevées.

c) Résultats Colza : nombre de jours binables par décade

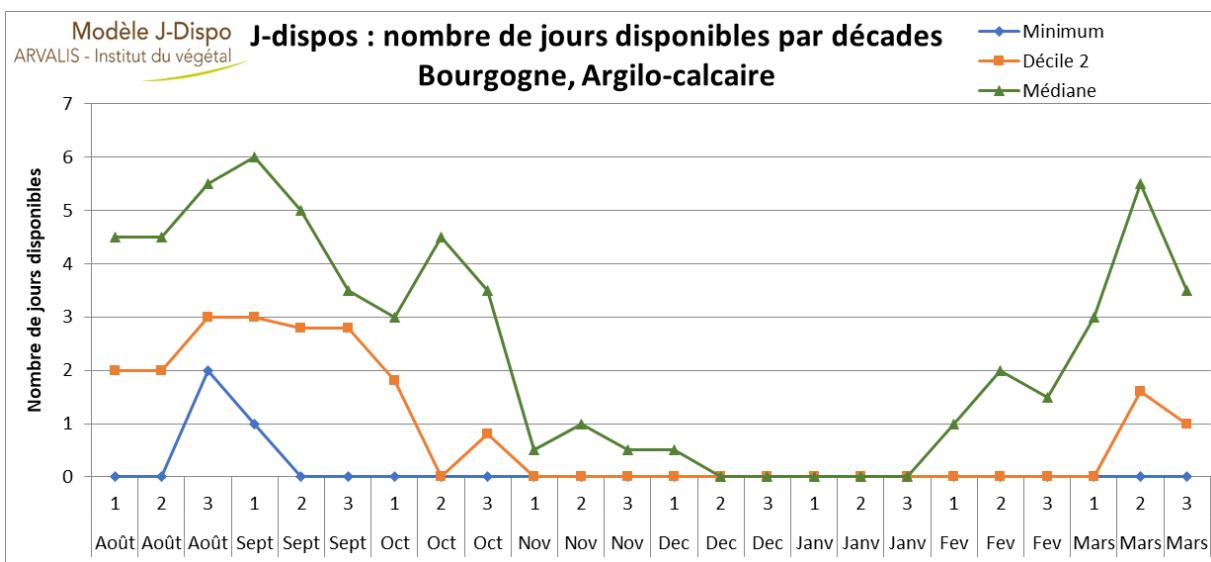
Ces graphiques permettent de repérer sur quelle période il est le plus facile de biner.



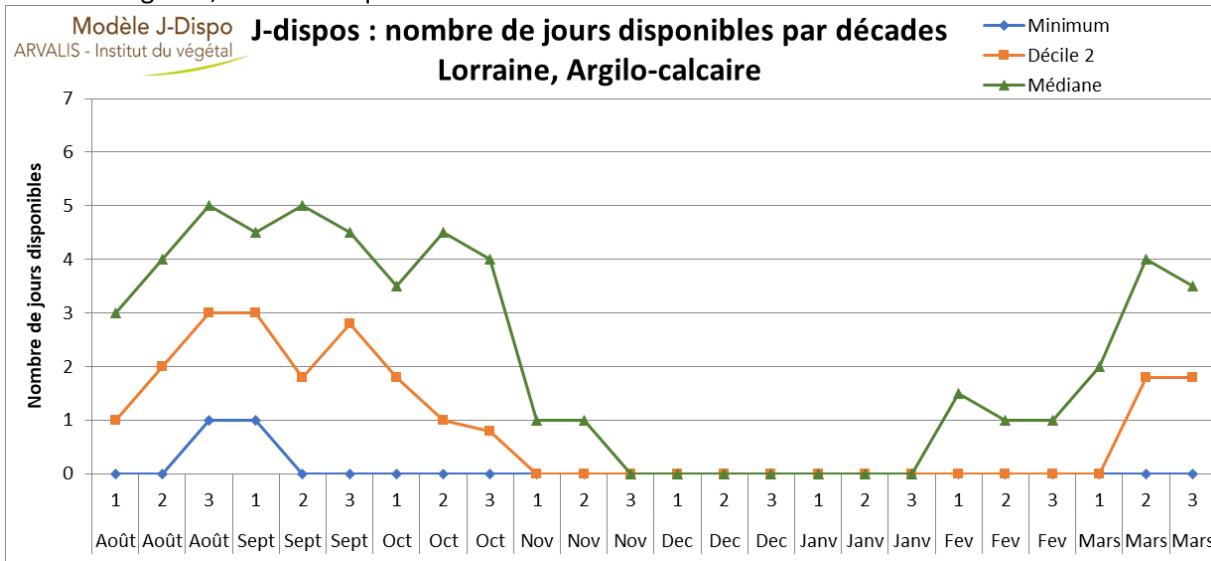
En sol de boulbènes, on obtient quasiment le même résultat.



En limon hydromorphe, on obtient quasiment le même résultat.



En limon argileux, on obtient quasiment le même résultat.



En sol argilo-limoneux, on obtient quasiment le même résultat.

Dans le Lauragais, on peut biner assez facilement jusqu'à début novembre, et surtout jusqu'à début octobre. En Poitou-Charentes et en Bourgogne, à partir de début octobre il est plus difficile de biner, et impossible à partir de début novembre. En Lorraine, les créneaux sont moins nombreux mais c'est sur la période fin août et septembre qu'il est le plus possible de biner ; quelques créneaux sont encore possibles en octobre puis c'est impossible à partir de novembre.

De manière générale, la 1^{ère} décade d'août voire la 2^{ème} ne sont pas idéales pour biner d'un point de vue climatique ; cela tombe bien puisqu'à cette période le colza n'a pas encore atteint 4 feuilles le plus souvent, donc il n'est pas envisageable de le biner à ce stade.

En sortie hiver, dès fin février -début mars, il est de nouveau possible de biner le colza (avant sa reprise de végétation).

En début d'automne, des créneaux de binage du colza existent donc avant la période de semis des céréales à paille d'hiver.

d) Résultats Tournesol : nombre de jours disponibles sur la période de binage

Nombre de jours disponibles pour biner le TOURNESOL au total sur la période de binage (4f à 10f)

Région	Type de sol	Date de semis du tournesol	Période binage (4f à 10f)	minimum	decile2	mediane
Bourgogne	Argilo-calcaire	15-avr	14 mai au 15 juin	4	9	13
Bourgogne	Argilo-calcaire	10-mai	9 juin au 30 juin	2	8	11
Bourgogne	Limon-argileux	15-avr	14 mai au 15 juin	4	8	13
Bourgogne	Limon-argileux	10-mai	9 juin au 30 juin	2	8	11
Lauragais	Argilo-calcaire	01-avr	29 avril au 15 juin	12	16	20
Lauragais	Argilo-calcaire	01-mai	19 mai au 30 juin	12	16	22
Lauragais	Boulbènes	01-avr	29 avril au 15 juin	10	14	21
Lauragais	Boulbènes	01-mai	19 mai au 30 juin	12	16	22
Lorraine	Argilo-calcaire	30-mars	1er mai au 15 juin	9	12	18
Lorraine	Argilo-calcaire	30-avr	19 mai au 30 juin	6	12	18
Lorraine	Argilo-limoneux	30-mars	1er mai au 15 juin	9	11	18
Lorraine	Argilo-limoneux	30-avr	19 mai au 30 juin	6	12	18
Poitou-Charentes	Argilo-calcaire	01-avr	29 avril au 15 juin	11	14	20
Poitou-Charentes	Argilo-calcaire	01-mai	19 mai au 30 juin	5	13	20
Poitou-Charentes	Limon hydromorphe	01-avr	29 avril au 15 juin	10	12	19
Poitou-Charentes	Limon hydromorphe	01-mai	19 mai au 30 juin	3	12	19

Modèle J-Dispo
ARVALIS - Institut du végétal

Ici : nombre GLOBAL de jours disponibles sur toute la période	
minimum	= nb de jours disponibles dans tous les cas
décile2	= nb de jours disponibles sur 8 années sur 10 (donc 16 sur les 20 dernières années). On accepte qu'il y ait 2 années sur 10 difficiles mais pas plus.
médiane	= nb de jours disponibles 1 année sur 2

Les valeurs simulées en nombre de jours binables sont systématiquement inférieures à celles obtenues en colza, étant donné que le cycle du tournesol est plus court, la période de binage est moins longue. Les dates de semis précoces et tardives les plus classiques de ces régions sont prises en compte.

Sur tournesol, c'est en Bourgogne qu'il semble plus difficile de biner au printemps. Attention, cette tendance est liée à la longueur de la période de binage choisie pour cette région, et donc aux dates de semis du tournesol dans cette région. En effet, en Bourgogne il semblerait que le semis du tournesol soit plus tardif que dans les autres régions, ce qui raccourcit la période de binage et donc le nombre de jours totaux disponibles pour biner. Cependant, quand on regarde les résultats par décade (voir chapitre f), sur des tranches de 10 jours il y a plus de jours binables en Bourgogne qu'en Lorraine.

En raison notamment de la longueur de la période de binage, la Lorraine et le Poitou-Charentes sont intermédiaires sur le nombre de jours disponibles total pour biner, avec légèrement plus de facilités en Poitou-Charentes qu'en Lorraine. C'est dans le Lauragais que les jours pour biner sont les plus nombreux, quelle que soit la date de semis du tournesol.

e) Résultats Tournesol : surface binable au printemps

Surfaces (ha) de TOURNESOL binables au total sur la période de binage (4f à 10f)

Surface cumulée (ha) avec Bineuse 8 rangs avec guidage optique (débit de chantier 2.8 ha/h)						
Région	Type de sol	Date de semis du tournesol	Période binage (4f à 10f)	Minimum	Décile2	Médiane
Bourgogne	Argilo-calcaire	15-avr	14 mai au 15 juin	112	241	350
Bourgogne	Argilo-calcaire	10-mai	9 juin au 30 juin	56	213	308
Bourgogne	Limon-argileux	15-avr	14 mai au 15 juin	112	218	350
Bourgogne	Limon-argileux	10-mai	9 juin au 30 juin	56	213	308
Lauragais	Argilo-calcaire	01-avr	29 avril au 15 juin	336	437	560
Lauragais	Argilo-calcaire	01-mai	19 mai au 30 juin	336	437	602
Lauragais	Boulbènes	01-avr	29 avril au 15 juin	280	386	574
Lauragais	Boulbènes	01-mai	19 mai au 30 juin	336	437	602
Lorraine	Argilo-calcaire	30-mars	1er mai au 15 juin	252	330	504
Lorraine	Argilo-calcaire	30-avr	19 mai au 30 juin	168	330	490
Lorraine	Argilo-limoneux	30-mars	1er mai au 15 juin	252	308	504
Lorraine	Argilo-limoneux	30-avr	19 mai au 30 juin	168	330	490
Poitou-Charentes	Argilo-calcaire	01-avr	29 avril au 15 juin	308	392	560
Poitou-Charentes	Argilo-calcaire	01-mai	19 mai au 30 juin	140	364	560
Poitou-Charentes	Limon hydromorphe	01-avr	29 avril au 15 juin	280	336	532
Poitou-Charentes	Limon hydromorphe	01-mai	19 mai au 30 juin	84	325	532

Modèle J-Dispo
ARVALIS - Institut du végétal

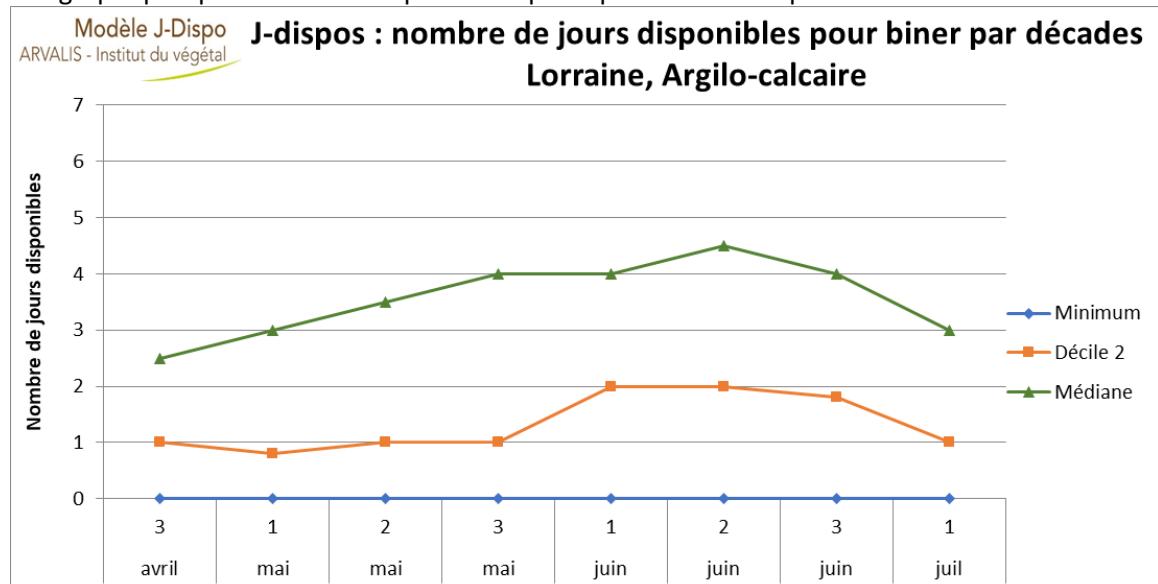
Hypothèse : 10h / jour de travail

minimum	= surface binable (ha) dans tous les cas
décile2	= surface binable (ha) sur 8 années sur 10 (donc 16 sur les 20 dernières années). On accepte qu'il y ait 2 années sur 10 difficiles mais pas plus.
médiane	= surface binable (ha) 1 année sur 2

On retrouve les mêmes tendances sur les surfaces. La technique est particulièrement adaptée au sud-ouest (Lauragais), elle est également utilisable en Poitou-Charentes et en Lorraine, en privilégiant un semis précoce du tournesol. En Bourgogne, même s'il y a moins de jours disponibles, la technique reste envisageable, en particulier si on sème plus précocement le tournesol.

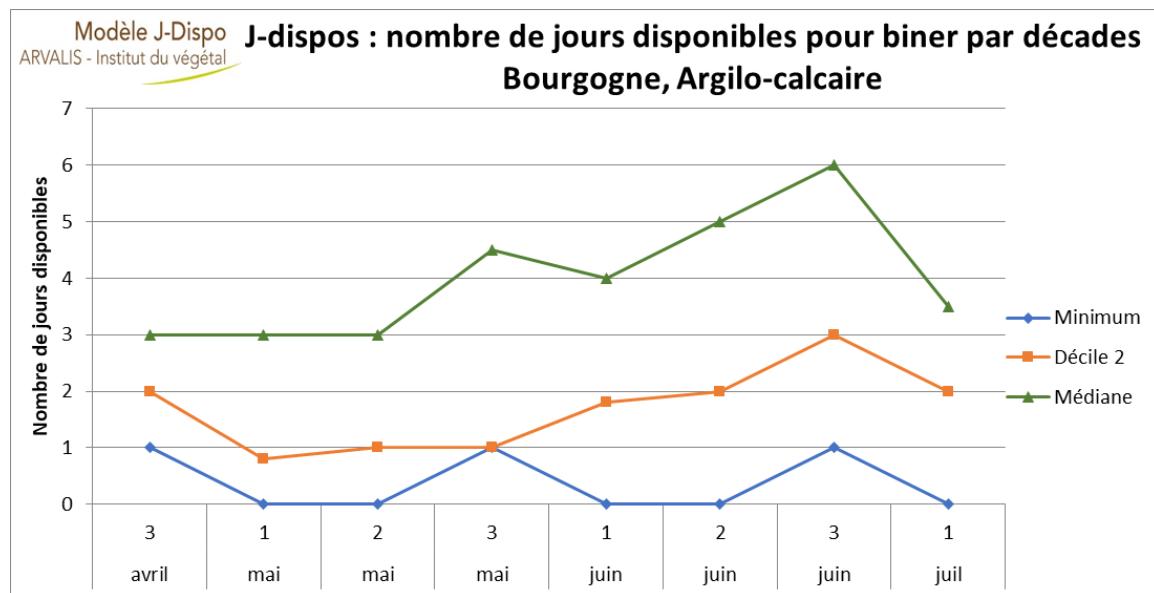
f) Résultats Tournesol : nombre de jours binables par décade

Ces graphiques permettent de repérer sur quelle période il est le plus facile de biner.



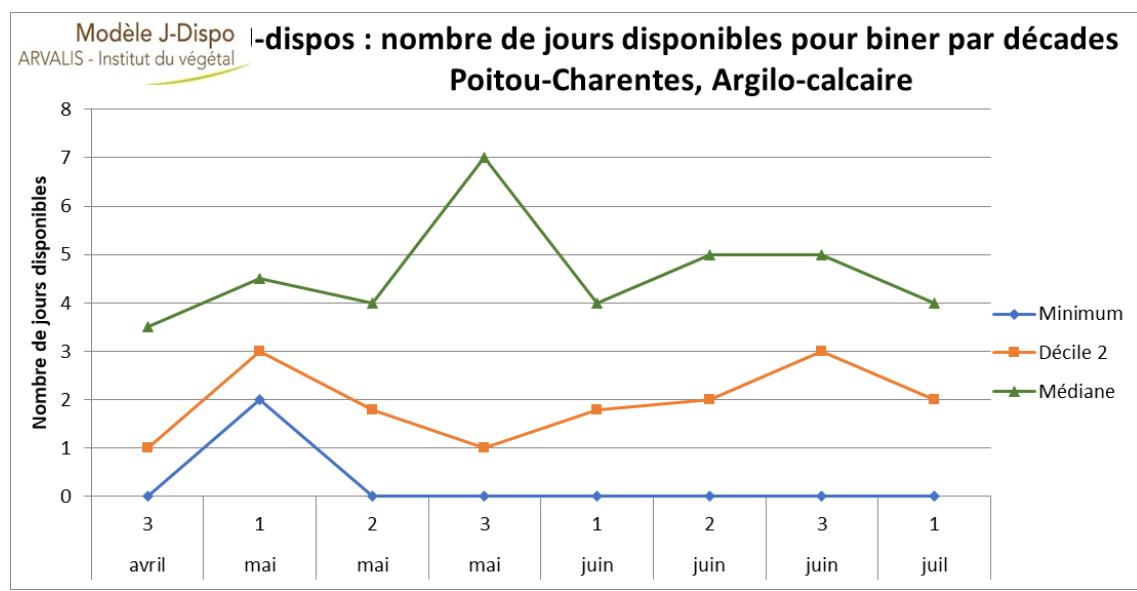
En sol argilo-limoneux, on obtient quasiment le même graphique.

En Lorraine, les jours disponibles par décade sont plus faibles que dans les autres régions, à cause du climat. Cependant, comme la période qu'on considère « binable » est plus longue que celle de la Bourgogne qui sème le tournesol un peu plus tardivement (4.5 décades en Lorraine contre 2 ou 3 en Bourgogne), on a quand même plus de jours disponibles pour biner en Lorraine sur l'ensemble de la période de binage qu'en Bourgogne.

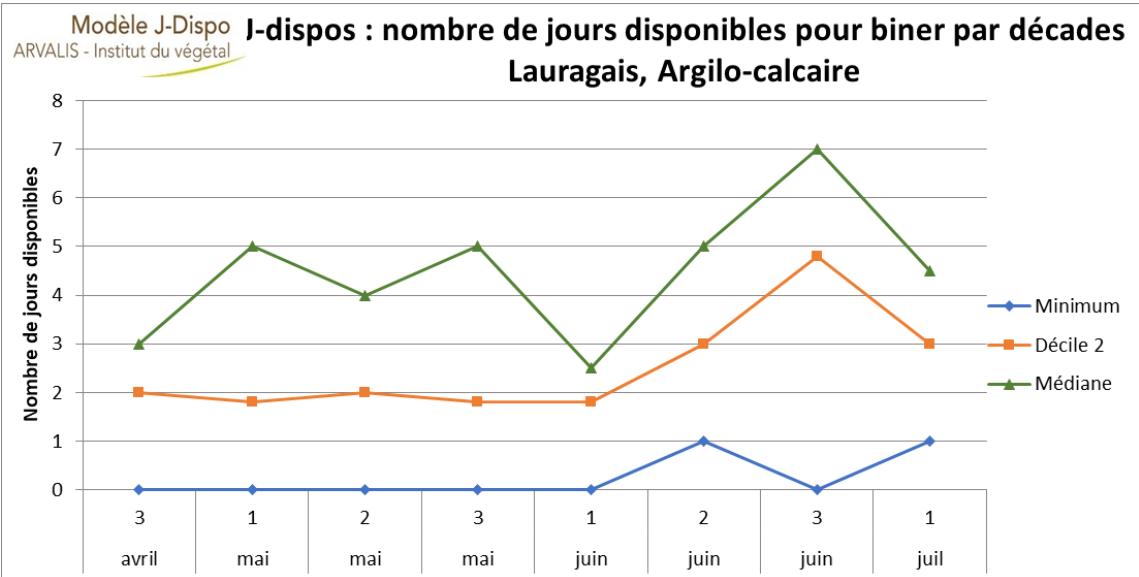


En limon argileux, on obtient quasiment le même graphique.

Par décade, il y a plus de jours disponibles pour biner qu'en Lorraine, en raison du climat.



En limon hydromorphe, on obtient quasiment le même graphique.



En sol de boulbènes, on obtient quasiment le même résultat.

C'est surtout au mois de juin que l'on peut biner en Lorraine et en Bourgogne. Comparativement, mai et juin sont facilement binables en Poitou-Charentes. Si dans le Lauragais on peut biner à peu près sur toute la période 20 avril - 10 juillet, c'est entre le 10 juin et le 10 juillet que l'on peut le plus biner.

- Tâche 4 : Valorisation des résultats et diffusion auprès de la profession agricole**

Les communications réalisées sont :

Nom	Type de communication et de public	Date et lieu
Exposition de la rampe et explication de la démarche	CULTURALES 2017 à Reims (public d'agriculteurs et de techniciens)	14 et 15 juin 2017, Reims
Démonstration du matériel et présentation au champ d'un des deux essais colza	Journées techniques « Damier vert » de la CAL (Coopérative Agricole Lorraine) pour les agriculteurs et techniciens	6 et 7 juin 2018, Bouvron (54)
Poster « Spot spraying in oilseed and protein crops », résumé et présentation du poster sur le matériel	3èmes RDV techniques AXEMA (lieu d'échange entre constructeurs et chercheurs, orienté technologie)	23 février 2019, Paris
Poster « Localized spraying in oilseed rape crop with a conventional boom sprayer », résumé et présentation du poster	ECPA (12ème colloque européen sur l'agriculture de précision) pour scientifiques et professionnels (échanges sur les dernières avancées scientifiques, agronomie et recherche)	8 au 11 juillet 2019, Montpellier
Article scientifique « Développement opérationnel d'une rampe de pulvérisation grande largeur localisée sur le rang en colza et en tournesol » et présentation orale	COLUMA, Journées internationales francophones sur la lutte contre les mauvaises herbes pour chercheurs, techniciens et même agriculteurs	3 au 5 décembre 2019, Orléans
Rapport de stage des étudiants AgroSupDijon ayant travaillé sur l'OAD et présentation orale « Finalisation d'un Outil d'Aide à la Décision de pulvérisation localisée sur le rang »		Février et mars 2020
Poster des étudiants AgroSupDijon ayant travaillé sur l'OAD sur la démarche et la conception de l'outil d'aide à la décision		Février 2020
Article de presse « Désherbage localisé : pas seulement les betteraves »	ENTRAID, le média des Cuma et du matériel agricole, à destination des agriculteurs	Publié le 18 mai 2020
Article de presse « Le désherbage localisé arrive en colza »	L'Avenir agricole, média indépendant spécialisé dans l'information agricole à destination des agriculteurs des Pays de la Loire	Publié le 11 septembre 2020, n° 1966
Mise à jour du site internet de Terres Inovia avec les résultats, deux vidéos de traitement localisé et des conseils techniques	Techniciens et agriculteurs	Publié le 1 ^{er} février 2021
Livrable « Outil d'Aide à la Décision » sous forme d'application smartphone PrécilOC	Agriculteurs et techniciens ou expérimentateurs utilisateurs de la rampe Maréchal	Mis en ligne en février 2021