



**HAL**  
open science

## Le désherbage mécanique en culture de betterave

Cédric Royer, Guillaume Brisset, Rémy Duval

► **To cite this version:**

Cédric Royer, Guillaume Brisset, Rémy Duval. Le désherbage mécanique en culture de betterave. Innovations Agronomiques, 2020, 81, pp.117-135. 10.15454/9vcb-ac58 . hal-03336985

**HAL Id: hal-03336985**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03336985>**

Submitted on 7 Sep 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

## Le désherbage mécanique en culture de betterave

Royer C.<sup>1</sup>, Brisset G.<sup>2</sup>, Duval R.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut Technique de la Betterave, Protection de la culture, F-75008 Paris

<sup>2</sup> Institut Technique de la Betterave, Agroéquipements, F-75008 Paris

<sup>3</sup> Institut Technique de la Betterave, Département technique et scientifique, F-75008 Paris

Correspondance : [royer@itbfr.org](mailto:royer@itbfr.org)

### Résumé

Le désherbage mécanique est l'un des principaux leviers qui s'inscrit dans l'objectif de réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques de 50% à l'échéance 2025. De nombreux matériels et itinéraires permettent de concilier les deux objectifs que sont la réduction de l'utilisation des herbicides chimiques et un désherbage satisfaisant des parcelles. Le désherbage mécanique par binage des inter-rangs est une pratique courante pour terminer le désherbage. Aujourd'hui il doit s'envisager sur les rangs et les inter-rangs comme une des possibilités techniques de contrôle des adventices en complément des herbicides chimiques. La réduction de l'IFT (Indice de Fréquence des Traitements) va être possible avec différents matériels : du désherbage mécanique sur le rang à la localisation des herbicides. Les nouvelles technologies doivent également ouvrir de nouvelles pistes d'études.

**Mots-clés** : IFT, Adventices, Désherbage, Betterave, Désherbage mécanique

### Abstract : Mechanical weeding in sugarbeet field

Mechanical weeding is one of the main levers to achieve the goal of reducing the use of plant protection products by 50 % before 2025. Many equipments and weeding practices make it possible to reach the two objectives of chemical herbicides reduction and satisfactory weeding. Nowadays, mechanical weeding is a common practice in inter-rows to finish the weeding. Today, row and inter-row mechanical weeding should be considered as a complementary solution in addition to chemical herbicides. TFI reduction (Treatment Frequency Index) will be possible with different available equipments: from mechanical weeding in the row to localized band sprayers with chemical herbicides. New technologies should also open new studies.

**Keywords**: Treatment Frequency Index, Weeds, Weed control, Sugarbeet, Mechanical weed control

### Introduction: Pratiques actuelles du désherbage en culture de betterave sucrière

#### ▪ Présentation de la filière betterave-sucre

Le secteur betteravier-sucrier européen était régi jusqu'à la campagne 2016/2017 par un système de quotas de production. La production est aujourd'hui sortie du régime de quotas, et se trouve directement exposée aux aléas économiques du marché mondial sucrier.

En 2020, environ 410 000 ha de betteraves ont été semés en France pour approvisionner 21 sucreries appartenant à 5 groupes sucriers. La recherche de réduction des coûts de production industrielle demande une augmentation de capacité des usines tout en en diminuant le nombre, ce qui se traduit par

une plus longue durée de campagne pour les usines qui sont maintenues. Les principales régions de production sont les Hauts de France, Champagne, Normandie, Ile de France, Centre Val de Loire et Alsace. La France est le premier pays producteur de sucre de betterave en Europe, à égalité avec l'Allemagne.

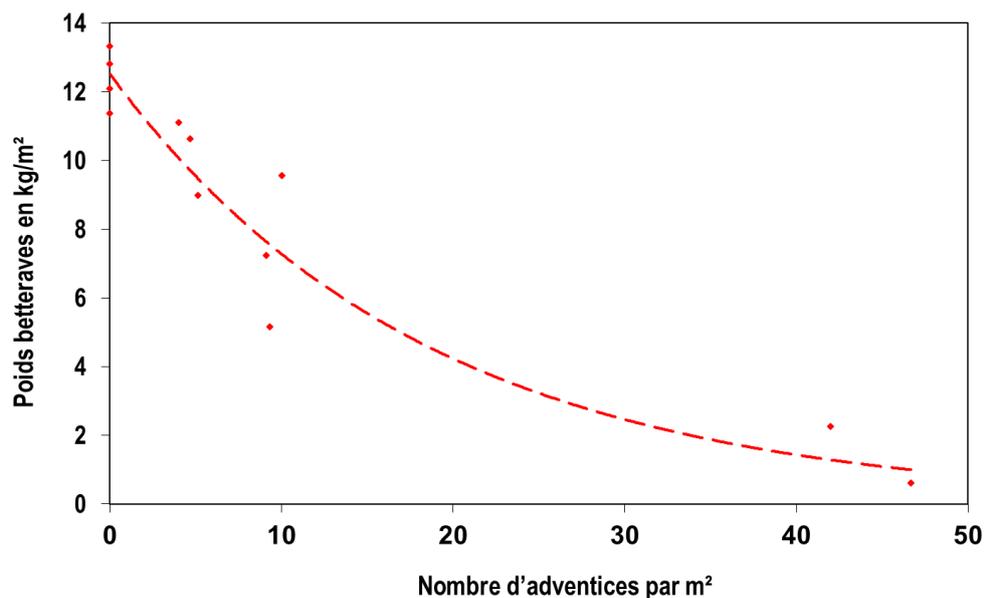
#### ■ Présentation de l'Institut Technique de la Betterave (ITB)

L'ITB est l'organisme technique interprofessionnel et qualifié de la filière betterave-sucre-éthanol. Il conduit et coordonne toute les recherches techniques et scientifiques pour accroître la productivité et la compétitivité de la culture, répondre aux attentes sociétales et environnementales, communiquer vers les agriculteurs et les acteurs de la filière pour promouvoir les meilleures techniques et technologies. L'institut est composé d'une quarantaine de personnes réparties pour moitié au siège parisien et pour l'autre moitié dans 8 délégations régionales. L'ITB travaille également avec les autres instituts techniques de grandes cultures et avec la recherche (INRAE) pour les questions transversales ou des approches à l'échelle des systèmes de culture.

#### ■ Pratiques actuelles de désherbage de la betterave

Environ 80 à 90 % des surfaces de betteraves sont labourées pendant l'interculture et préparées avant le semis. Les pratiques de type "Techniques Culturelles Simplifiées" sont très minoritaires, ce qui s'explique, entre autres raisons, par l'exigence de qualité de mise en terre. Les pratiques de faux semis sont aujourd'hui très peu fréquentes en betterave car elles impliquent un décalage de la date de semis et réduisent le potentiel de rendement. Environ 15 % des surfaces reçoivent une application de glyphosate avant semis, afin de semer sur une parcelle exempte d'adventices déjà développées en sortie d'hiver.

La betterave, culture semée en rangs espacés de 45 ou 50 cm entre début mars et mi-avril selon les conditions climatiques, est particulièrement sensible à la concurrence des adventices depuis la levée jusqu'au stade de couverture du sol (de mi-mars à mi-juin). La Figure 1 illustre l'impact sur le rendement d'adventices développées dans la culture. La nécessité d'un désherbage soigné de la culture conformément à son rôle de tête de rotation, bénéficie aux cultures suivantes dans la rotation.



**Figure 1** : Rendement des betteraves selon l'infestation en adventices (colza et chénopodes), essai de désherbage mécanique à Saint Quentin-sur-Cooles (51) en 2009 (Source : ITB)

Le désherbage représente un enjeu fort dans la mesure où le délai long entre levée et couverture des inter-rangs favorise plusieurs phases de levées des adventices, et une flore levée relativement variée de dicotylédones et graminées. La conduite du désherbage exige un suivi attentif des levées, et demande de connaître et de reconnaître précisément la flore adventice des parcelles. Le chénopode est l'adventice que l'on retrouve le plus souvent dans les parcelles de betterave à la récolte (source enquête SITE ITB) (Figure 2). La forte présence d'adventices entraîne aussi des difficultés de récolte, la présence de résidus végétaux dans les silos peut aussi perturber le processus industriel.



**Figure 2** : Chénopodes mal contrôlés en Champagne en septembre 2017.

La technique du désherbage chimique des betteraves consiste à intervenir sur des adventices très jeunes (de point vert à cotylédons étalés), de manière à pouvoir appliquer des doses réduites de produits complémentaires par leurs modes d'action. Entre 3 et 5 traitements doivent être réalisés en bonnes conditions d'hygrométrie.

Ce sont 4,7 passages herbicides qui sont réalisés en moyenne, ce qui correspond à un IFT herbicide de 2,5 (source : enquête SITE ITB 2014). On constate que l'IFT désherbage de la culture est relativement stable sur le long terme, même s'il peut varier annuellement selon la vitesse de croissance de la culture au printemps et sa rapidité de couverture. Le recours aux interventions mécaniques est l'option priorisée pour le diminuer.

## 1. Alternatives actuelles au désherbage chimique

### 1.1. Désherbage mécanique uniquement en inter-rang

Le binage conventionnel ne désherbe que la surface entre les rangs de betteraves (Figure 3). Il a toujours fait partie des pratiques courantes dans les parcelles de betterave. La betterave est cultivée majoritairement en sols profonds peu caillouteux, caractéristique qui favorise l'utilisation de ces matériels. Les interventions de bineuses classiques permettent dans beaucoup de situations d'éviter l'application d'un traitement chimique, si les conditions météorologiques sont favorables. Ce désherbage ne travaille pas sur le rang des betteraves donc le binage est réalisé en remplacement du dernier passage chimique, quand les betteraves étouffent suffisamment les adventices sur le rang. La réduction de l'IFT n'est donc que de 20 % avec cette méthode.

L'innovation majeure réside ces dernières années dans le système de guidage (voir paragraphe 1.5).



**Figure 3** : Bineuse dans une parcelle de betterave du Nord Pas-de-Calais.

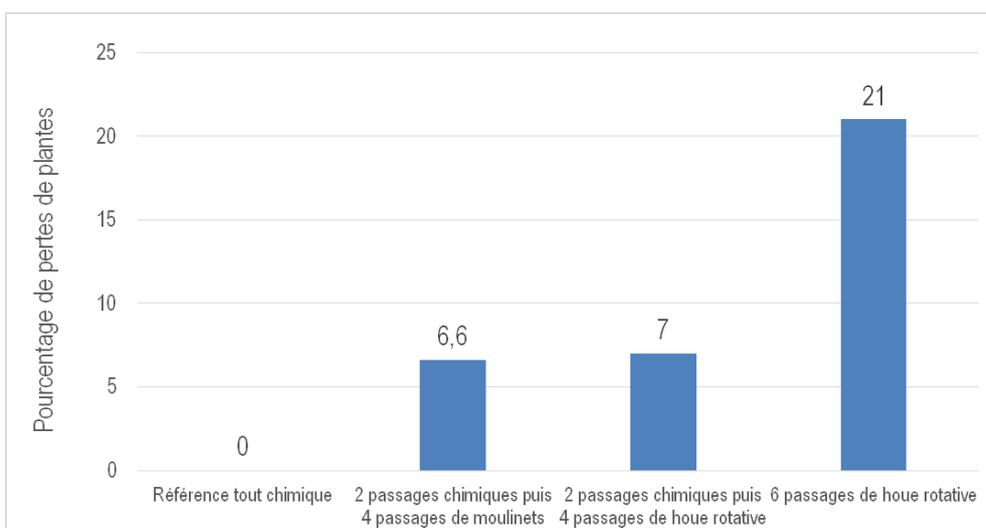
### 1.2 Désherbage mécanique sur toute la surface

Deux options complémentaires assurent un désherbage combiné sur la totalité de la surface. Le désherbage combiné est l'utilisation du désherbage chimique et du désherbage mécanique afin de trouver le meilleur compromis entre propreté de la parcelle et réduction d'IFT.

#### 1.2.1 Un désherbage mécanique sur le rang des betteraves

Lorsque les betteraves sont petites et avant le stade 4 feuilles, elles sont mal enracinées et ne résistent pas à des passages d'outils mécaniques travaillant sur le rang.

Afin de connaître le seuil de tolérance des betteraves aux passages mécaniques, des comptages de plantes ont été effectués afin d'évaluer les pertes de population selon les machines. La Figure 4 montre qu'un passage de houe rotative très précoce après la levée, entraîne des pertes de plantes qui dépassent 20 %, taux trop élevé qui se traduira par des pertes de rendement et par des espaces libres pour d'autres levées d'adventices.



**Figure 4** : Pertes de plantes, essai à Saint Quentin-sur-Cooles (51) en 2009

Les pertes sont réduites à environ 6-7 % si l'intervention est réalisée à partir du stade 4 feuilles. On considère que l'objectif est de rester en dessous de 5 % de perte de plantes. Pour rester sous ce seuil, les outils ne peuvent être utilisés sans risque qu'à partir du stade 4 feuilles des betteraves, et jusqu'à atteindre 12 feuilles, stade proche de la fermeture des inter-rangs. Par ailleurs, ces outils ne sont efficaces que sur des adventices peu développées, aux stades cotylédons jusqu'à 2 feuilles. Ces deux facteurs d'efficacité, betteraves suffisamment développées et adventices à des stades précoces, expliquent la nécessité de maintenir un contrôle chimique en début de désherbage.

Ce sont les premiers passages mécaniques qui dans chaque situation ont provoqué la mortalité des plantes.

Les matériels de désherbage sur le rang se déclinent en plusieurs types d'outils (Figure 5).

- La bineuse classique (A) associe une bineuse traditionnelle avec des moulinets travaillant sur le rang de betteraves ;
- La houe rotative (B) travaille à grande vitesse, 15-18 km/h. Elle agit sur toute la surface grâce à des dents en cuillères qui arrachent et projettent des particules de sol et les adventices ;
- La herse étrille (C) est équipée de nombreuses rangées de dents fines vibrantes, qui travaillent superficiellement. Les herse étrilles classiques sont trop agressives, et ne sont pas utilisables en betterave. Ici, la spécificité de l'outil est le réglage de l'agressivité des dents depuis la cabine en modifiant la tension des ressorts ;
- Enfin, le roto étrille (D) travaille sur toute la surface de la culture. Chaque étoile est montée sur un bras réglable hydrauliquement qui permet d'adapter leur agressivité au stade de la betterave.



(A) : Bineuse classique d'inter-rang équipée de moulinets travaillant sur le rang



(B) : Houe rotative



(C) : Herse étrille avec réglage des dents par ressorts



(D) : Roto étrille travaillant sur le rang des betteraves

**Figure 5** : Plusieurs outils permettant le désherbage sur le rang

Le Tableau 1 résume les conditions d'utilisation des différentes machines.

**Tableau 1:** Les caractéristiques techniques des différentes machines.

	Bineuse simple	Bineuse avec moulinets	Houe rotative	Herse étrille Treffler	Roto-étrille
Stade betterave limite précoce	aucun	4 feuilles	4 feuilles	4 feuilles	4 feuilles
Stade betterave limite final	16 feuilles	12 feuilles	12 feuilles	12 feuilles	12 feuilles
Stade optimum d'intervention sur les adventices	Avant 4-6 feuilles	Avant 2 feuilles vraies	Avant 2 feuilles vraies	Avant 2 feuilles vraies	Avant 2 feuilles vraies
Efficacité sur les dicotylédones	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne
Efficacité sur graminées	bonne	Faible sur le rang	faible	faible	faible
Guidage	Roue profilée, caméra ou GPS	Roue profilée, caméra ou GPS			
Type de sol	Tous sauf cailloux	Tous sauf cailloux	Eviter en terre de craie ou avec cailloux	Tous sauf cailloux	Tous sauf cailloux
Vitesse de travail	10 à 12 km/h	10 à 12 km/h	15 à 18 km/h	5 à 6 km/h	5 à 6 km/h

Les travaux effectués par l'ITB dans le cadre du programme Casdar pluriannuel 2014-2020 ont permis de mettre au point les différentes modalités de désherbage mécanique appropriées à chaque type d'outil. Aujourd'hui, le désherbage mécanique de l'inter-rang concerne entre 1 % et 25 % des surfaces, en fonction des conditions climatiques de l'année, chiffre qui pourrait atteindre 75 % en année favorable. Les autres machines (moulinets, houe rotative, herse étrille Treffler, rotoétrille) ne sont utilisées aujourd'hui que sur moins de 5% des surfaces de betterave.

### **1.2.2 Associé à une application localisée des herbicides sur le rang**

Cette méthode permet de traiter chimiquement uniquement le rang de betteraves avec une rampe localisée (Figure 6). Ce traitement est couplé avec du binage en inter-rang. Le traitement chimique localisé respecte les conditions de produits et de doses d'un désherbage chimique classique. Cette technique n'est pas contrainte par le stade de développement des betteraves, elle est donc utilisable pour l'ensemble des interventions de désherbage. Le binage d'inter-rang peut intervenir sur des adventices plus développées que la technique sur le rang et être différé.

La réduction d'IFT résulte de la réduction de la surface traitée.

La réduction est comprise entre 50 et 66 %.



**Figure 6 :** Rampe de localisation du traitement sur le rang.

### 1.3 Deux exemples de mise en application dans les expérimentations de l'ITB

Les deux exemples suivants permettent de mieux connaître les travaux de l'ITB sur cette thématique : (i) un essai comparatif de matériels conduit dans le cadre de la manifestation Désherb'Avenir ; (ii) un projet permettant d'intégrer la réduction de l'IFT herbicide dans la rotation.

#### 1.3.1 Un essai comparatif de matériels

L'objectif était de comparer les efficacités de désherbage de différents itinéraires techniques de désherbage avec différents matériels. 7 modalités ont été mises en place lors de cet essai en Normandie en 2015 (Tableau 2). Pour chaque intervention chimique, les conditions climatiques ont été relevées. Les stades des betteraves et des adventices ont également été notés (Tableau 2).

**Tableau 2 :** Modalités d'intervention, calendrier et conditions de traitement

<b>Calendrier des interventions (2015)</b>					
		13 avril	20 avril	28 avril	11 mai
<b>Conditions de traitements</b>					
	Température	8°	4°-8°	3,5°	8°
	Vent	Nul	Faible	Faible	Nul
	Humidité du sol	Sec	Sec	Sec	Sec
	Hygrométrie	95-85%	90%	90%	87%
	Stade betterave	Cotylédons étalés	2 F	4F	8F
	Stade adventice	Cotylédons	Cotylédons à 2 feuilles naissantes	Cotylédons à 2 feuilles naissantes	Cotylédons
<b>Modalités d'intervention</b>					
1	référence chimique	T1	T2	T3	T4
2	chimique+ binage	T1	T2	T3	binage
3	chimique puis herse étrille Treffler	T1	T2	Herse étrille	Herse étrille
4	chimique puis rotoétrille Annaburger	T1	T2	Rotoétrille localisée sur le rang + bineuse	Rotoétrille localisée sur le rang + bineuse
5	chimique puis bineuse avec moulinets	T1	T2	Bineuse + moulinets	Bineuse + moulinets
6	chimique puis houe rotative	T1	T2	Houe rotative	Houe rotative
7	chimique localisé puis binage	T1 localisé	T2 localisé	T3 localisé + binage	T4 localisé + binage

Les différents comptages réalisés à chaque intervention renseignent sur la flore présente dans la parcelle et la dynamique de levée. Ces comptages sont réalisés dans 4 zones témoin sans désherbage, sur des placettes de 0,25 mètre carrés. La flore est majoritairement composée de chénopodes et de mercuriales (Tableau 3).

**Tableau 3** : La flore présente dans l'essai (Nombre d'adventices par m<sup>2</sup>)

Adventices	13 avril	20 avril	28 avril	11 mai	TOTAL
Chénopode	16	15	3	7	41
Mercuriale	2	4	2	7	15
Renouée liseron	1	0	0	0	1
Ray Grass	2	7	1	0	10
Vulpin			2	3	5
Renouée des Oiseaux			1	1	2
Fumeterre				1	1
Pensée des champs				1	1
Mouron des champs				1	1

Les résultats

- **Mesure de pertes de betteraves**

Les comptages des plantes confirment que le premier passage mécanique sur des betteraves au stade 4 feuilles limite les pertes de pieds à moins de 3 %.

Elles sont nulles pour le deuxième passage (Tableau 4).

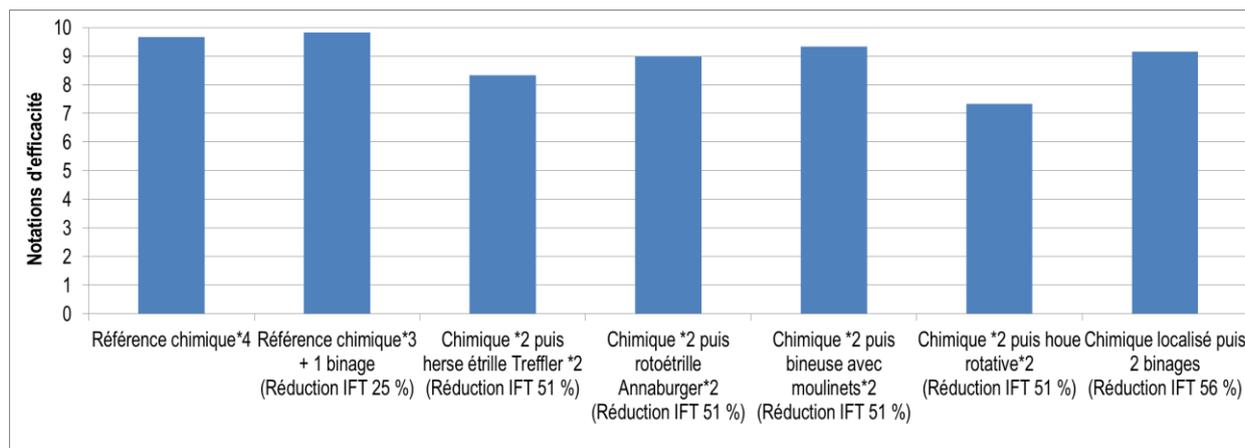
**Tableau 4** : Vitesse d'avancement et pertes de plantes pour les deux passages en mécanique

	Herse étrille Treffler	Rotoétrille Annaburger	Bineuse moulinets	+ Houe rotative	Bineuse
Vitesse pour le premier passage mécanique	5 km/h	5 km/h	6 km/h	15 km/h	6 km/h
Pertes de plantes pour le premier passage mécanique	-2 %	- 2,7%	-3 %	-1%	0 %
Vitesse pour le deuxième passage mécanique	6 km/h	6 km/h	8 km/h	17 km/h	8 km/h
Pertes de plantes pour le deuxième passage mécanique	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

- **Efficacité**

Les interventions ont pu être réalisées au bon moment et dans de bonnes conditions sur des adventices jeunes, favorisant l'efficacité des différents matériels. La Figure 7 présente la notation d'efficacité des différents itinéraires techniques de désherbage.

La première modalité correspond au témoin sans désherbage mécanique avec uniquement des traitements chimiques traditionnels. La deuxième modalité représente une stratégie avec remplacement du dernier traitement de post-émergence par un passage de bineuse avec une note d'efficacité similaire au tout chimique. Les modalités 3, 4, 5 et 6 représentent les résultats d'efficacité de différentes machines travaillant sur le rang. L'ensemble des machines travaillant sur le rang permettent d'obtenir une note supérieure à 7 qui est la limite de satisfaction. La modalité 7 représente la technique de localisation des herbicides sur le rang, complétée par du binage sur l'inter-rang. C'est la méthode la plus efficace en terme de réduction d'IFT (56 %). Le résultat du désherbage est bon et proche de l'itinéraire de référence.



**Figure 7** : Notation d'efficacité du désherbage (10 = propreté optimale et 7 = note limite d'efficacité) Normandie, 2015

### 1.3.2 Un projet pluriannuel sur la réduction des herbicides

Dans le cadre du plan Ecophyto, l'ITB s'est associé à 5 autres partenaires des Hauts de France (Chambre d'agriculture du Nord-Pas-de-Calais (chef de file), ISA Lille (chef de projet), Pôle Légumes Région Nord, Lycée Agro-environnemental de Tilloy-Lès-Mofflaines, FREDON Nord-Pas-de-Calais) pour conduire une expérimentation « Dephy Expe » entre 2012 et 2017. Son objectif était la re-conception de deux systèmes de grandes cultures et légumes pour une réduction d'au-moins 50 % de l'utilisation des produits phytosanitaires.

Même si l'objectif du projet était de réduire l'IFT sur l'ensemble de la rotation, l'expérimentation donne l'opportunité de tester des stratégies de désherbage mécanique sur plusieurs années, donc dans des conditions climatiques différentes.

Cette expérimentation a été mise en place sur des sols de limon argileux sur craie. Elle comprenait 5 cultures en rotation sur 6 ans : blé (x2), pomme de terre, betterave sucrière, pois et colza. Les adventices dominantes étaient les renouées liserons et les chénopodes.

De 2013 à 2017, le nombre de passages chimiques en ITK100 (référence conventionnelle raisonnée) était généralement de 4 (en post-levée uniquement) et a pu être réduit de moitié en ITK 50 (50 % de la référence conventionnelle raisonnée) en compensant par 2 à 3 passages de bineuse à moulinets (2013-2014) ou de bineuse et de herse étrille avec réglages des dents par ressort en combinaison (2015 à 2017). Seules ces différences de types de machines et de nombre de passages différencient les deux itinéraires techniques. Sur les 6 années d'expérimentation, les objectifs de réduction ont été atteints chaque année pour les herbicides.

L'IFT se situe à 2.08 en herbicide pour l'ITK100 contre 0.99 pour l'ITK50 en moyennes pluriannuelles (2013-2017).

La différence de rendement mesurée entre les deux itinéraires techniques était faible entre 2012 et 2017 : 105 t/ha pour l'ITK 50 et 108 t/ha pour l'ITK 100.

### 1.4 Les systèmes de guidage

Lors du désherbage mécanique, un système de guidage précis de l'outil facilite le travail au plus près des plantes, en limitant les dommages sur celles-ci. La vitesse de travail peut être augmentée sans perdre en précision, et l'outil peut être plus aisément utilisé dans une parcelle en dévers. Un système fiable et précis facilite la tâche du chauffeur qui pourra se concentrer sur la qualité du travail réalisé.

La diversité des systèmes de guidage de bineuse est présentée dans le Tableau 5, ainsi que leurs points forts et points faible. Le choix du système de guidage se fait selon le besoin en débit de chantier, le type de sol et l'investissement souhaité.

Le niveau de précision de l'opération de binage se travaille dès le semis, l'écartement entre les éléments semeurs doit être vérifié et constant. Les mêmes vérifications doivent être effectuées sur la bineuse afin de pouvoir travailler au plus près du rang.

**Tableau 5** : Les différents dispositifs de guidage pour bineuse

	Points forts	Points faibles	Débit de chantier	Coût à l'achat
Guidage manuel	Système économique à l'achat de la machine	Deux personnes mobilisées sur le chantier	+	€
Bineuse frontale	Système simple. Peu d'adaptations à réaliser	Faible débit de chantier	+	€
Guidage par trace	Système fiable, simple, adapté à plusieurs types de semoirs et de bineuses	Trace effacée dans certains types de sols Si la trace est aléatoire (profondeur, linéarité) perte de précision immédiate, d'où l'importance d'une trace bien faite par l'ensemble coutre et roue.	+++	€€
Guidage GPS RTK	Précis, avec de bons réglages, au semis et au binage Utilisable pour de nombreuses autres interventions et avec tout type de matériel de désherbage mécanique	Les réglages du guidage, de la bineuse et la liaison tracteur-outil doivent être précis pour être au plus près de la culture	++	€€€
Guidage caméra	Aucune trace préalable n'est nécessaire. Précision maximale pour désherber au plus près de la culture. Interface pouvant s'utiliser pour d'autres travaux	Détection des rangs difficile si présence de nombreuses adventices ou de plantes trop grandes.	+++	€€€€

### 1.5 Les coûts associés

Comme toute modification de l'itinéraire cultural, la diminution du désherbage chimique au profit du désherbage mécanique combiné engendre de nouveaux coûts et de nouvelles économies.

Les coûts des différents passages du désherbage mécanique combiné comprennent le coût des herbicides chimiques, le coût de la main d'œuvre, l'amortissement des machines et le coût de traction.

La Figure 8 représente le coût de désherbage par hectare pour une parcelle désherbée uniquement avec des produits désherbants chimiques (désherbage conventionnel)). Les coûts ont été établis en fonction des temps de travaux calculés dans le paragraphe 2 et des hypothèses de calcul suivantes : un

pulvérisateur de 27 mètres (1000 ha /an) ; pour les matériels de désherbage mécanique, on ne considère ici que les utilisations sur betteraves (soit 100 ha /an avec Houe 5, 40 mètres, bineuse 12 rangs et herse étrille Treffler 12 mètres). Rampe de localisation : 300 ha/an. Le temps de préparation et de rinçage est pris en compte pour les matériels utilisant des herbicides.

Le résultat est légèrement inférieur à 200 euros /ha pour 4 passages d'herbicides chimiques. Sur les autres itinéraires, la répartition des coûts est différente avec une baisse concernant les coûts des produits herbicides et une hausse concernant les coûts de matériel et de main d'œuvre. Le coût de la main d'œuvre même sur des itinéraires moins performants en vitesse reste faible par rapport au coût final, mais peut poser la question de leur disponibilité sur l'exploitation aux moments clés.

Les coûts des itinéraires combinés (Itinéraires 2-3 et 4) sont situés entre 175 et 210 euros par hectare. Pour ces itinéraires, les calculs sont réalisés avec l'utilisation de ces machines, 7 années sur 10. L'utilisation de ces techniques doit s'effectuer à des stades précis des betteraves ce qui, selon les conditions climatiques, n'est pas possible tous les ans. Pour ces itinéraires, l'amortissement est calculé sur 50 hectares de betteraves pour une durée de 15 ans (10 ans pour les moulinets).

L'itinéraire numéro 5 prévoit l'utilisation de la rampe de localisation sur 75 hectares de betteraves tous les ans.

Afin de réaliser ce graphique nous n'avons pas tenu compte de subventions éventuelles obtenues lors de l'achat des machines, ce qui peut être le cas dans certains départements.

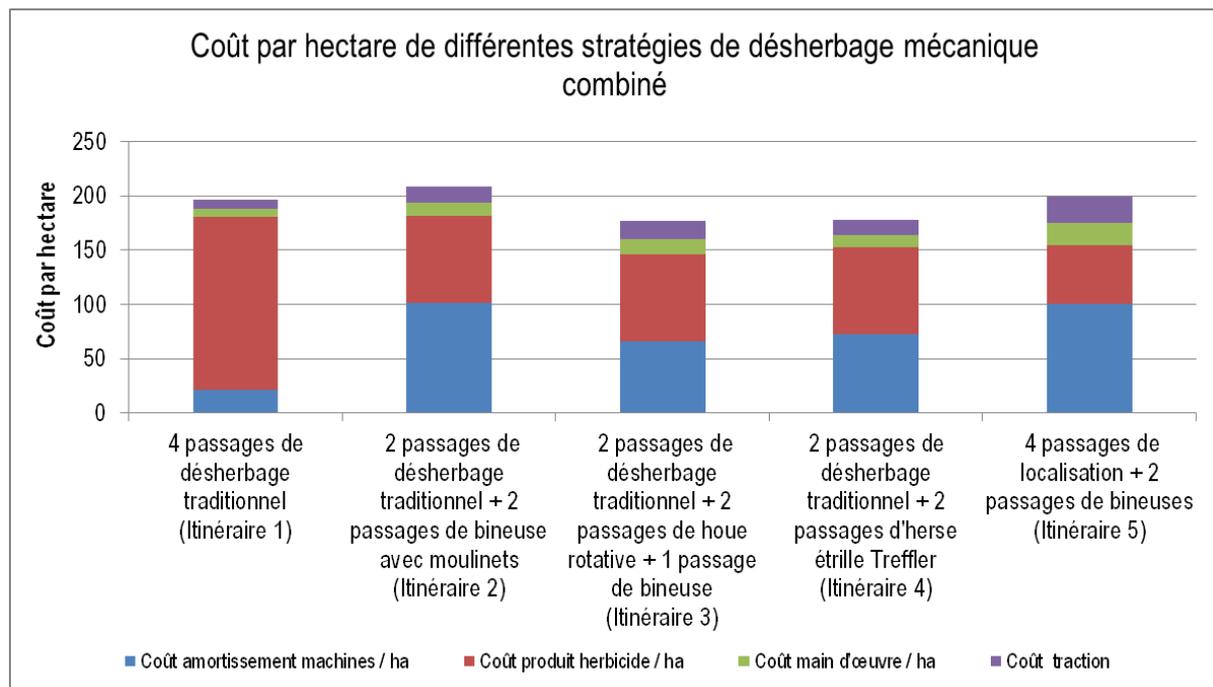


Figure 8 : Les coûts de désherbage établis sur la base de l'essai de 2009 à Saint Quentin sur Coole en 2009

### 1.6 La polyvalence des outils sur plusieurs cultures

D'une manière générale, les matériels les moins polyvalents sont les plus performants sur la culture de la betterave. Les moulinets que l'on adapte sur une bineuse sont très performants mais leur polyvalence est limitée aux cultures en ligne de même écart inter-rang. Ce qui peut être le cas du colza notamment.

Les autres matériels, herse étrille avec réglage des dents par ressort, houe rotative ou roto-étrille moins spécifique à la betterave peuvent également permettre de réduire les IFT betteraves mais obtiennent

souvent des résultats techniques inférieurs aux moulinets. Elles peuvent s'utiliser sur les autres grandes cultures en fonction des spécificités de chacune d'entre elles (pomme de terre, céréales, colza,...).

Concernant les rampes de localisation, elles sont comme les moulinets très performantes sur la culture de la betterave mais limitée aux cultures en ligne de même écart inter-rang. Ces machines pourraient être également utilisées pour des traitements insecticides avant la couverture.

## 2. Limites et contraintes du désherbage mécanique (Conditions climatiques, organisation du travail, jours disponibles, ...)

Le désherbage mécanique sur le rang manque d'efficacité dès que les adventices sont développées. Le désherbage a lieu en début de printemps avec des conditions climatiques très variables pendant la période de désherbage, et d'une année à l'autre.

De bonnes conditions climatiques sont indispensables à la mise en place du désherbage mécanique combiné. Certaines années, le désherbage mécanique n'est pas possible. Le travail mécanique est d'autant plus difficile dans les terres argileuses où le temps d'assèchement en surface est plus long.

A l'aide d'un simulateur de temps de travaux, nous avons calculé les vitesses de travail (ha/h) et évalué l'impact des temps annexes (Figure 9) sur la parcelle qui a servi de démonstration à Désherb'Avenir I (27,5 hectares): préparation des bouillies et rinçage du pulvérisateur, temps de réglage pour la bineuse à moulinets. Sans prise en compte de ces temps annexes, il y a un grand avantage pour le pulvérisateur classique (en bleu sur la Figure 9). Par contre, si l'on prend en compte les temps annexes, cet avantage est fortement limité (en rouge sur la Figure 9). La rampe localisée de 36 rangs effectue 9,8 ha/heure. Les débits de chantier des matériels de binage se situent à environ 9 ha par heure pour la houe rotative, et 5,5 ha par heure pour la bineuse 12 rangs avec moulinets. On constate que les grandes différences de performance en vitesse instantanée se réduisent fortement lorsqu'on inclut les temps de préparation et de rinçage.

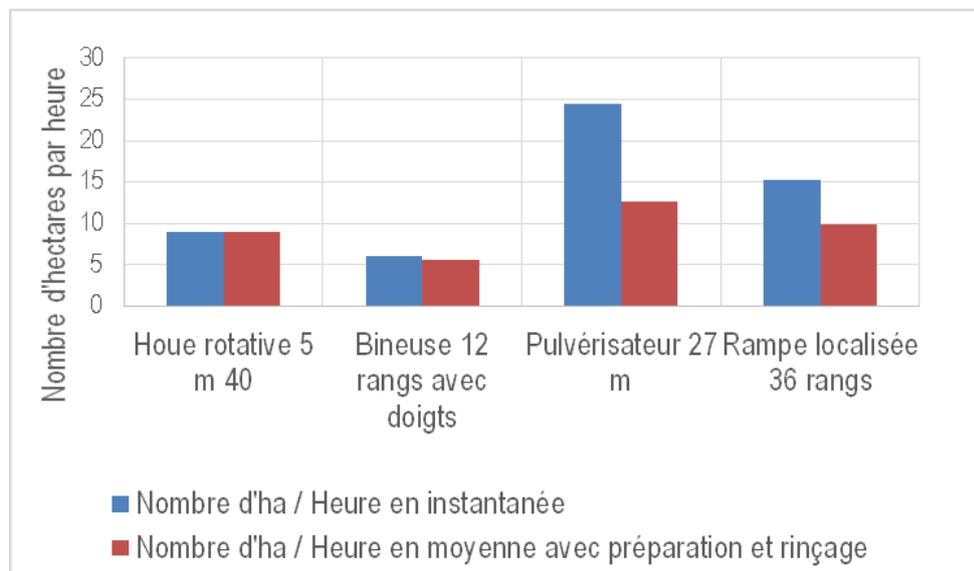


Figure 9 : Les temps de travaux associés

Les conditions climatiques et le type de sol conditionnent le temps de ressuyage (Tableau 6).

Pour les passages mécaniques, il est nécessaire d'avoir un minimum de temps sec avant mais aussi après afin que les adventices déracinées mais non détruites ne redémarrent pas.

Le Tableau 6 décrit les temps de ressuyage en fonction de la pluie et du type de sol : les sols de limon battant sont les plus contraignants et ceux de craie ou les limons sableux les moins contraignants. Le nombre de jours sans pluie a été défini en fonction de l'évapotranspiration : 3 jours sans pluie pour un passage avant le 20 mai et 2 jours sans pluie pour un passage après le 20 mai.

**Tableau 6** : Possibilités d'interventions mécaniques suivant les types de sol et les conditions météo (en nombre de jours)

Type de sol	Temps de ressuyage en jours après une pluie supérieure à 15 mm	Temps de ressuyage en jours après une pluie inférieure à 15 mm	Nombre de jours sans pluie nécessaires après le passage de l'outil
Limon argileux	4	3	Avant le 20 mai : 3 jours
Limon battant	5	4	
Craie	2	1	
Argilo-calcaire	3	2	Après le 20 mai : 2 jours
Limon sableux	2	1	

La Figure 10 représente le nombre de jours disponibles par décennie pour réaliser du désherbage mécanique dans quelques contextes pédoclimatiques, établis à partir des données météo de 2002 à 2011.

Pour les parcelles de limon argileux (34 % des surfaces betteravières), qui exigent 6 à 7 jours sans pluie pour réaliser le désherbage mécanique, 3 jours par décennie seront disponibles avec le climat de la région d'Amiens. Pour la station d'Amiens, il y a toujours eu au moins 5 jours disponibles en mai et en avril, mise à part l'année 2006. Pour les parcelles de craie de Champagne (22 % des surfaces betteravières), du fait du ressuyage rapide, les conditions sont favorables au désherbage mécanique avec 4 à 5 jours disponibles par décennie. Pour les années considérées, le désherbage mécanique était toujours envisageable. Pour les parcelles en limon battant (18 % des surfaces betteravières), qui ont les conditions les plus restrictives pour le ressuyage puisqu'il faut jusqu'à 9 jours sans pluie, il y a en moyenne entre 2 et 3 jours disponibles par décennie. Pour les années considérées, le désherbage mécanique n'était pas envisageable durant 3 années (2002, 2003 et 2008) avec des mois entiers sans jours favorables au désherbage mécanique.

Pour les parcelles de sols argilo-calcaires (11 % de la sole betteravière), les données indiquent que 3 à 4 jours sont disponibles en moyenne par décennie. Pour les parcelles en limon sableux (5 % des surfaces betteravières), malgré le climat océanique de la station choisie (Abbeville), les conditions de ressuyage étant rapides, en moyenne on a 4 à 5 jours disponibles par décennie. Ainsi, pour les années considérées, le désherbage mécanique n'aurait pas été possible pour une seule année.

Au vu des performances de chaque machine, le désherbage mécanique est donc gérable quel que soit le type de sol, mais demande de pouvoir intervenir sur des plages de temps courtes avec un chantier de bon débit en anticipant la disponibilité de la main d'œuvre. Néanmoins, certaines années pluvieuses, le désherbage mécanique n'est pas envisageable, surtout pour les parcelles en limon battant qui nécessitent une longue fenêtre sans pluie.

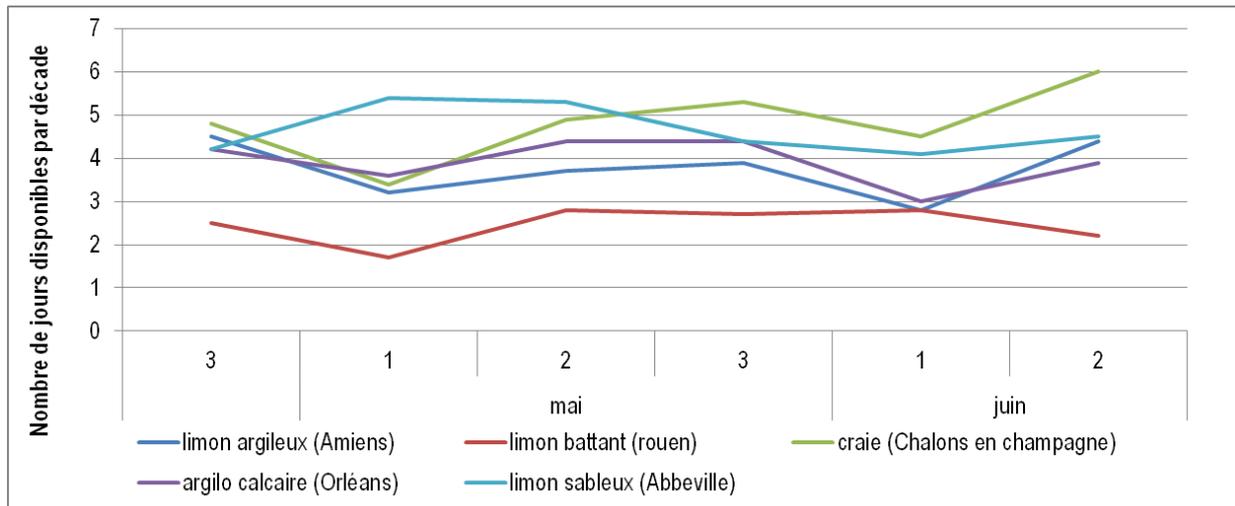


Figure 10 : Nombre de jours disponible par décennie en fonction du type de sol

### 3. Alternatives au désherbage chimique demain

#### 3.1 Les drones et les caméras pour le désherbage des betteraves

Le désherbage mécanique couplé à une pulvérisation localisée sur le rang permet une réduction des IFT. Pour diminuer encore l'emploi d'herbicides, il est envisageable de désherber uniquement les adventices grâce à une caméra embarquée sur la rampe.

La limite pour le désherbage de la betterave est que les adventices sont visées à des stades peu développés : point-vert à cotylédons. Les résolutions des caméras embarquées sur un pulvérisateur ne permettent pas encore d'offrir le niveau de détail permettant de repérer et désherber des adventices de cette taille. Le repérage des graminées et des vivaces type chardons peut être envisagé avec cette technologie car le désherbage a lieu à un stade plus avancé.

La création d'une carte d'adventice par vol de drone peut également être une solution pour désherber en localisé mais la définition est encore plus faible que pour une caméra embarquée.

Ces technologies sont aujourd'hui utilisées pour créer des cartes de modulation dans un pulvérisateur pour un traitement chimique. Ces cartes de modulation pourraient aussi être utilisées pour le désherbage mécanique afin d'adapter le réglage de l'outil selon la carte. L'amélioration des algorithmes de reconnaissance d'image permettra aussi de vérifier la qualité du travail d'un robot de désherbage et d'améliorer ses réglages.

#### 3.2 La robotique

Différents acteurs de la robotique agricole s'intéressent au désherbage de la betterave avec différentes stratégies. La culture de la betterave se prête bien au désherbage mécanique par robot car il s'agit d'une culture en rangs, et la pratique du désherbage mécanique par binage d'inter-rang y est déjà courante.

Le robot permettrait de répondre à une problématique de coût du désherbage mécanique classique avec un tracteur en réduisant le coût de main d'œuvre et augmentant la plage d'intervention. Mais les surfaces emblavées sont importantes avec des dates de semis groupées donc des périodes de désherbage courtes pour l'ensemble de la sole de betteraves des exploitations. Les robots actuels sont lents, leur débit de chantier reste limitant (Tableau 7) notamment dans des régions avec peu de jours disponibles), pour concurrencer les outils plus classiques. La constitution d'une flotte de robot, ainsi que le travail de nuit pour le robot peuvent être des pistes pour pallier ces défauts.

**Tableau 7** : Débit de chantier en désherbage mécanique selon le type d'outils

Outils	Stratégie de désherbage	Vitesse (km/h)	Débit de chantier (ha/h)
Bineuse 12 rangs (référence)	Mécanique	12	4,5
Naio Technologies Dino*	Mécanique sur l'inter-rang et le rang	4	0.62
Ecorobotix Avo*	Pulvérisation localisée	3.6	0.62
Farmdroid*	Semis et désherbage mécanique inter- rang et sur le rang	1	0.3

\*calcul réalisé à partir des données des constructeurs

A l'heure actuelle les robots de désherbage mécanique sont au stade de présérie ou de prototype et n'ont pas encore été déployés à grande échelle dans les exploitations betteravières. La réglementation doit encore définir leurs conditions d'utilisation en fonction des risques éventuels encourus.

### 3.3 Le semis en carré pour réaliser du binage intégral

Une autre piste travaillée est le semis permettant un alignement des betteraves perpendiculairement à la direction du semis. Cette configuration du semis est rendue possible avec la technologie Geoseed 2 des semoirs de la marque Kverneland. Cette technologie est utilisée dans les essais menés en agriculture biologique par l'ITB.

L'intérêt est de pouvoir biner perpendiculairement à la direction de semis et donc de gérer une partie des adventices présentes entre betteraves sur le rang. Environ 90% de la parcelle est binée (Figure 11). Il ne restera à gérer manuellement que les adventices situées aux pieds des betteraves et éventuellement dans les espaces laissés nus par des betteraves détruites.



Témoin sans binage

Binage « traditionnel »

Binage « intégral »

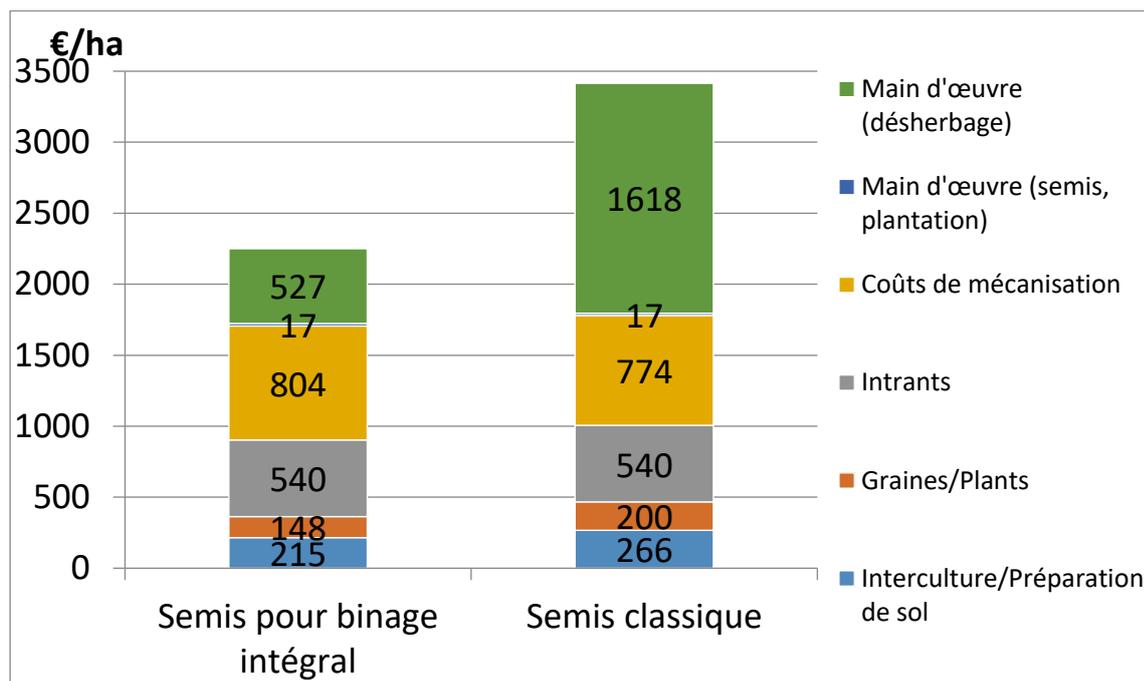
**Figure 11** : Adventices résiduelles constatées après intervention, selon le mode de binage réalisé (Les flèches rouges indiquent les sens de passages de bineuse)

Selon les bineuses présentes sur l'exploitation, l'espacement entre graine doit être adapté (Tableau 8). Le réduire présente l'avantage d'augmenter la population semée, mais accroît la difficulté de réalisation du binage en perpendiculaire.

**Tableau 8 :** Population semée selon l'écartement et l'espacement, perte potentielle de rendement pour des populations sub-optimales.

Ecartement inter-rang x espacement sur le rang	Population semée (pl/ha)	Perte de rendement
45x45	49 000	-13%
45x30	74 000	-5%
45x22	101 000	0%

En dessous de 80 000 graines semées par hectare, il y a une baisse de rendement, mais cette baisse de rendement est à relativiser avec les économies de main d'œuvre pour le désherbage manuel généralement nécessaire en complément. Lors d'un essai conduit en agriculture biologique en 2019 dans l'Aisne le semis en carré avec binage intégral a permis d'économiser 60 h/ha de désherbage manuel relativement à une parcelle semée et binée de façon conventionnelle (Figure 12).



**Figure 12 :** Coûts de production pour un essai conduit en agriculture biologique en 2019 dans l'Aisne

En effet, comme toute technique, l'imprécision est à prendre en compte, et un alignement parfait des betteraves n'est jamais vraiment obtenu. Il sera ainsi plus facile de passer avec la bineuse dans un espacement de 45 cm que dans un espacement plus réduit. Un espacement de 22 cm a été testé sur une parcelle conduite en Champagne. Le binage en perpendiculaire a été très compliqué à guider malgré une intervention à moins de 2 km/h et un seul passage possible du fait de la fermeture rapide du rang.

Afin d'augmenter les chances de réussite du semis en carré (ou rectangle) et le binage en perpendiculaire du semis, différents paramètres doivent être réunis :

- Un signal GPS RTK précis, fiable et stable lors du semis.
- Les semoirs doivent être synchronisés pour l'aller et le retour afin que les graines soient parfaitement alignées dans les deux directions.

#### **4. Communication ITB : Désherb'Avenir, démonstrations locales, fiches CEPP, ...**

##### *4.1 Des démonstrations pratiques*

###### **4.1.1 Désherb'Avenir® : Déjà 6 éditions**

Dans l'objectif d'accompagner les agriculteurs dans la réduction des doses d'herbicides employées en culture de betterave, l'ITB a mis en place, dès 2009, une manifestation en plein champ pour promouvoir la technique du désherbage mécanique comme alternative au tout chimique baptisée: "Désherb'Avenir".

L'ITB a choisi dès 2009 de miser sur la proximité géographique de l'événement, c'est-à-dire d'en faire un événement régional tournant, accessible facilement pour les betteraviers de la région.

L'ensemble de ces éditions a déjà permis de rassembler plus de 6000 visiteurs dans les différentes régions betteravières. Ces éditions sont également l'occasion de présenter les travaux de l'ITB et d'échanger sur le développement du désherbage mécanique dans les pays européens et au-delà, avec les membres de l'IIRB (Institut International de Recherche Betteravière).

###### **4.1.2 Des démonstrations locales**

Des démonstrations et réunions locales sont organisées avec la filière en complément de la démonstration Désherb'Avenir biennale.

On peut citer l'exemple de la démonstration qui s'est déroulée en Limagne en mai 2016 : 130 personnes ont participé à la demi-journée « Binage de précision sur betteraves » à Lempdes (Puy de Dôme).

##### *4.2 Deux fiches CEPP ont été déposées par l'ITB et accordées par l'administration en décembre 2017*

Fort de son expérience sur le désherbage mécanique et la pulvérisation localisée sur le rang, l'ITB a déposé en 2017 deux fiches CEPP (Certificats d'économie de produits phytopharmaceutiques visant à réduire l'utilisation d'herbicides - Arrêté du 12 décembre 2017) :

- La première action 2017-030 encourage l'utilisation de bineuses traditionnelles pour un désherbage de l'inter-rang ou d'outils mécaniques capables de désherber le rang. L'objectif est de promouvoir l'utilisation d'outils de désherbage mécanique sur les rangs et entre les rangs pour les cultures en ligne.
- La seconde action 2017-031 vise à localiser les traitements de post-levée sur le rang avec une rampe localisée, réduisant d'environ 1/3 la quantité d'herbicides appliqués. L'objectif est d'utiliser des matériels permettant de localiser les herbicides uniquement sur le rang de la culture.

L'ITB communique également à travers ses réseaux habituels (Le Betteravier Français, notes d'informations, réunions techniques, ...) afin d'échanger avec les agriculteurs et les représentants de la filière sur cette thématique.

Depuis quelques années, l'ITB renforce également ses collaborations avec les CUMA, les chambres d'agricultures, les instituts techniques de grandes cultures pour montrer la polyvalence des outils au sein d'une rotation betteravière et porter collectivement les mêmes messages.

## 5. Complémentarité chimique /mécanique : gestion des molécules chimiques (résistance) et bio contrôle

Aujourd'hui, le désherbage mécanique n'est pas envisageable sans utilisation de la chimie dans les conditions économiques actuelles. La culture biologique en betterave est possible mais les rendements sont moindres et le rattrapage manuel du désherbage indispensable.

Les mélanges de produits conseillés par l'ITB disposent de modes d'action différents afin d'éviter l'apparition de résistances. Dans ce cadre l'ITB a participé à la rédaction d'une note commune inter instituts (Acta, Arvalis-Institut du végétal, INRAE, ITB, Terres Inovia, Fnams, Agrosolutions) en 2019 sur la gestion des résistances des adventices aux herbicides en grandes cultures.

Aujourd'hui, 6 modes d'action différents sont utilisables contre les adventices dicotylédones en culture de betterave. Ce large choix permet d'utiliser plusieurs modes d'action contre la même adventice, ce qui permet d'éviter ou de limiter la multiplication d'individus résistants.

La situation comme pour les autres cultures est beaucoup plus difficile pour la gestion des graminées, adventices pour lesquelles les interventions mécaniques sont peu efficaces. Le mode d'action inhibiteur des ACCases est fortement utilisé dans la rotation et de nombreuses parcelles sont aujourd'hui touchées par la présence d'individus résistants. Depuis plusieurs années, l'ITB fait la promotion de la lutte agronomique avec la diversification des modes d'action dans les cultures dans la rotation, labour, déchaumage, faux semis, ... Ces conseils sont particulièrement indispensables en cas de pression montante de vulpins ou de ray grass. Cela contribue essentiellement à intervenir en pré-levée avec un mode d'action différent.

Aujourd'hui, aucun biocontrôle herbicide n'est homologué en culture de betterave par l'ITB.

### Conclusion : Situation actuelle et perspectives

#### ▪ Situation actuelle

Aujourd'hui, les différentes familles chimiques autorisées en culture de betterave et le déploiement du désherbage mécanique permettent d'obtenir des cultures propres dans 85 % des parcelles de betterave (source enquête interne ITB). La surface en betterave qui bénéficie du désherbage mécanique en inter – rang est très variable (de quelques pourcents à plus de 50 % (source enquête SITE) suivant les conditions climatiques de l'année.

Les techniques de désherbage alternatives sont contraintes par les conditions climatiques, elles ne sont pas envisageables dans des sols argileux ou caillouteux et peu voire pas efficaces sur certaines adventices (graminées, dicotylédones vivaces). Le désherbage mécanique n'est donc pas possible partout, et n'est pas envisageable tous les ans. Surtout, compte tenu des contraintes de stades à respecter pour les betteraves et pour les adventices, le désherbage chimique reste indispensable lors des premiers stades de la culture quel que soit le type de sol ou les machines utilisées.

Le faible développement des techniques alternatives s'explique en grande partie par les contraintes qu'elles amènent à l'agriculteur qui souhaite augmenter le désherbage mécanique sur son exploitation. Même si les débits de chantier ont évolué, le désherbage mécanique nécessite plus de main d'œuvre. Une main d'œuvre qu'il faudra trouver et qui devra être présente le « bon » jour en fonction des aléas climatiques, sans négliger la technicité demandée par ce type d'intervention. L'autre contrainte forte est l'aléa climatique qui interdira les interventions certaines années, et qui peut freiner un investissement qui vient en supplément d'un matériel de pulvérisation qui reste indispensable.

Le désherbage mécanique est encore à développer dans la culture de la betterave. Mais les matériels actuels avec des systèmes de guidage performants permettent une meilleure rentabilité aujourd'hui. La

complémentarité entre désherbage chimique et mécanique permet d'adapter la meilleure technique en fonction des conditions climatiques.

### ▪ Perspectives

Concernant le désherbage mécanique sur le rang ou la localisation des herbicides, ces techniques ne sont aujourd'hui conduites que sur quelques pourcents de la sole betteravière française. Leur développement doit se poursuivre en étant accompagné par la filière. Des formations pratiques, comme celles déjà réalisées par l'institut pour la récolte, pourraient être une nouvelle base pour le transfert des connaissances et ainsi permettre la diffusion et le développement de ces techniques à plus grande échelle. Ces formations pourraient associer les constructeurs de matériels, avec lesquels la filière reste en contact étroit pour disposer des matériels les plus performants.

L'intérêt manifesté par les agriculteurs pour le désherbage mécanique suscite de nouvelles idées de leur part. Un des enjeux est d'augmenter le nombre de rangs travaillés par les bineuses travaillant sur le rang, jusqu'à 18 voire 24 rangs, sans pénaliser le poids des matériels et respecter la législation concernant le transport sur route. A plus long terme, le développement de la robotisation est confronté aussi à la question des débits de chantier, envisagée avec des flottes de petites unités robotisées.

L'expérience concluante du projet a conduit les partenaires à travailler sur un nouveau projet plus ambitieux, toujours dans le cadre de Dephy Expé. Il s'agit du projet Mini Pest (2018-2024) « Minimisation de l'utilisation des pesticides en systèmes de grandes cultures et cultures légumières en Hauts-de-France » qui vise à réduire à l'extrême l'utilisation de pesticides, d'amplifier le transfert de connaissances vers les producteurs et les apprenants, et de mesurer l'acceptabilité au niveau des acteurs de la filière.

### Références bibliographiques

Bibard V., Bonin L., 2012. Maïs : Mixer désherbage chimique et mécanique, Perspectives agricoles, N°392, Septembre 2012

Delval Ph., Ulrych R., 2017. Matériel PIC « Matériel désherbage alternatif », EcophytoPIC

Duval R., Royer C., Maupas F., 2019. Nouveaux enjeux de la protection de la culture de betterave : les axes de travail de l'ITB, IAA Industries Agroalimentaires, juin 2019

Pottier M., Vacher C., 2011. Alternatives aux herbicides : Désherbage mécanique : une technique à manier avec précaution, Perspectives agricoles, N° 384, Décembre 2011

Rodriguez A., Chauvel B., Darmency H., Munier-Jolain N., 2018. Le désherbage mécanique des grandes cultures, Gestion durable de la flore adventice des cultures, Edition Quae, Pp 231-244

Royer C., 2016. Herbicide reduction in sugar beet crops, 75ème congrès de l'IIRB, 16 et 17 février 2016, Bruxelles.

Vacher C., Vuillemin F., Buridant C., Denieul C., Délye C., Duroueix F., Perriot B., Rodriguez A., Royer C., Bonin L., 2019. Note commune inter-instituts, Pour la gestion des résistances des adventices aux herbicides en grandes cultures, ACTA / ARVALIS-Institut du végétal / INRAE / ITB / TERRES INOVIA/ FNAMS / AGROSOLUTIONS

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL ou DOI).