

Betterave Biologique et désherbage robotique

Le présent document vise à présenter et à approfondir le travail effectué par 5 étudiants en 3^{ème} année de cycle d'ingénieur de l'Institut Polytechnique UniLaSalle (campus de Rouen). Dans la continuité du partenariat ARTB/UniLaSalle initié en 2021-22, ce second projet 2022-2023 concilie plusieurs objectifs :

- Permettre la conduite d'un projet d'ingénieurs en formation, sur un délai très court de 3 semaines (à raison d'une semaine par mois) en répondant de la manière la plus précise et la plus argumentée possible, au questionnement de la structure commanditaire et encadrante.
- Donner les moyens à la structure d'enrichir son expertise d'une vision « terrain » associée à la rencontre d'agriculteurs.
- Favoriser le lien entre acteurs de recherche de la filière betteravière et entre les agriculteurs eux-mêmes - 32 planteurs à date – en leur fournissant des éléments d'analyse sur leurs pratiques.

Pour ce deuxième projet axé sur l'étude du désherbage de la betterave biologique, les travaux ont permis d'affiner l'équation économique qui se pose pour les agriculteurs lors de cette étape critique pour la rentabilité de cette activité. Pour ce faire, un premier travail de collecte des principales caractéristiques techniques et économiques en lien avec les robots de désherbage a été fait et a permis d'aboutir à un « benchmark » de ces outils. L'analyse de ces données a ensuite été complétée en calculant le point de basculement économique justifiant du passage d'un système ayant recours à la main d'œuvre à un système robotisé.

Table des matières

I. Contexte du projet.....	- 3 -
II. La robotique au service du désherbage de la betterave BIO	- 4 -
1) Le farming GT	- 4 -
2) Le robot W5.....	- 4 -
3) Le robot Blue Bob.....	- 4 -
4) Le FarmDroïd.....	- 4 -
a) Mode opératoire et utilisation.....	- 5 -
b) Freins pour le robot	- 5 -
c) Développement du robot	- 5 -
III. Intérêt du robot pour le planteur.....	- 6 -
IV. Étude économique	- 7 -
1) Itinéraire « standard » betteraves biologiques	- 7 -
a) Le semis.....	- 7 -
b) Le désherbage manuel.....	- 8 -
c) Le désherbage mécanique	- 8 -
2) Itinéraire robot.....	- 8 -
3) Amortissement.....	- 8 -
4) Critiques	- 9 -
V. Conclusion.....	- 9 -
VI. Annexe 1 – Détails des données agriculteurs audités.....	- 10 -

I. Contexte du projet

Dans la continuité du premier projet d'ingénierie 2021-2022 portant sur l'« évaluation des méthodes et du coût du désherbage pour la culture de betteraves à sucre biologique », l'ARTB a souhaité approfondir l'étude de ce poste de charge clé pour la rentabilité de cette activité.

Ce travail a également pour objectif de fournir de nouveaux éléments de référence : la production de betteraves biologiques étant récente en France et le nombre de références quantitatives restant encore un peu limité.

Constat du premier projet et point de départ du second : l'existence de deux itinéraires distincts¹ reflétant des pratiques de désherbage différentes. Tandis que certains planteurs multiplient les passages d'outils et pratiquent un désherbage orienté « mécanique », d'autres privilégient le recours à la main d'œuvre pour un désherbage plus « manuel ». Dans les deux cas, les coûts liés au désherbage peuvent très rapidement atteindre des niveaux élevés pouvant représenter jusqu'à la moitié du coût total de production.

Des solutions alternatives et innovantes existent et/ou sont en cours de développement afin de minimiser les interventions avant couverture du sol par les feuilles. Des essais sur parcelles expérimentales sont notamment réalisés par l'institut technique de la betterave (ITB). Côté solutions innovantes : on peut citer le semis de betterave sous bâches plastiques, le semis au carré (via l'outil Geoseed2) ou encore le repiquage de plants. L'utilisation de ces pratiques restent néanmoins à valider techniquement et économiquement (le coût de ces solutions étant encore très élevés).

Autre solution possible qui semble attractive pour les agriculteurs questionnés : la robotique. Plusieurs sociétés proposent ainsi des robots pour assurer, dans le cas de la betterave bio, le désherbage du rang et de l'inter-rang.

¹ Dans la réalité, il existe autant d'itinéraires que d'agriculteurs : chacun ayant une rotation, un type de sol mais aussi un parc matériel et des conditions climatiques qui lui sont propres.

II. La robotique au service du désherbage de la betterave BIO

S'il existe déjà plusieurs modèles commercialisés et/ou en développement à l'heure actuelle, le manque d'essais et de données économiques rendent l'évaluation de l'intérêt du recours de la robotique dans un itinéraire bio plus difficile qu'il n'y paraît.

1) Le farming GT²

Créé et développé par l'entreprise Farming Revolution de Ludwigsburg, il existe onze prototypes en cours d'utilisation dans différents pays depuis cette année. C'est un robot conçu uniquement pour biner et qui fait appel à des caméras de reconnaissance végétale. Grâce à un système d'intelligence artificielle ("deep learning"), l'algorithme détecte les plantes grâce à une base de données d'images. Il possède un GPS RTK, des moteurs électriques ainsi qu'un groupe électrogène à essence. Ce type de robot devrait avoir un coût d'environ 80 000 €.

Selon le constructeur, ce robot est autonome sur 30h de travail et consomme « peu » pour une forte motricité. Ce robot doit encore faire ses preuves en conditions réelles et nécessite un développement plus complet.

2) Le robot W5³

Initialement développé par Farming Revolution en collaboration avec KWS. Equipé d'un GPS RTK et de caméras performantes, autonome (environ 26h), le rechargement de ses batteries s'effectue par un moteur thermique et sa vitesse de travail est assez faible, environ 0,2 ha/h. Par manque de moyens et de résultats, ce projet n'est visiblement plus d'actualité.

3) Le robot Blue Bob⁴

Développé par Naïo, entreprise pionnière dans la robotique, le Blue Bob peut travailler à une vitesse allant de 0,5 à 1 ha/h. Il a toutefois peu d'autonomie (8h) et nécessite beaucoup de temps de recharge. Il reste néanmoins simple d'utilisation et très léger ce qui limite très fortement le risque de tassement du sol et la destruction de la culture. Son intelligence artificielle lui permet de différencier différents types d'adventices. Avec un coût d'environ 170 000 €, il reste le plus cher sur le marché et ne serait rentabilisé qu'à partir de 50 ha et au bout d'une durée de 6 ans (cf. hypothèses et détails de la méthodologie de calcul dans la partie « Etude économique »).

4) Le FarmDroid

Développé par l'entreprise Stecomat, c'est le premier robot entièrement automatique capable de prendre en charge à la fois le semis et le contrôle des adventices. En 2020, il a semé et désherbé plus de 1500 ha en Europe. A l'heure actuelle, ce robot est considéré comme le leader du marché grâce à ses performances et sa facilité d'utilisation.

Le Farmdroid est capable de travailler une vingtaine d'heures voire plus⁵ si la parcelle n'est pas compliquée à travailler (forme de la parcelle et inclinaison de la parcelle). Il est très précis et fonctionne

² <https://farming-revolution.com/fr/>

³ https://www.kws.com/fr/media/edc-40_robot.pdf

⁴ <https://www.deleplanque.fr/non-classifiee/bluebob-2-0/>

⁵ Pour gagner en autonomie – 24h/24h l'achat d'une batterie complémentaire est possible (pour un coût de l'ordre de 5 000 EUR).

à faible vitesse (environ 800m/h) en désherbant à la fois sur le rang et l'inter-rang. Avec son poids de 850 kg (contre 1.5 tonnes pour le Blue Bob), il n'a pas de difficulté à travailler même dans des conditions plus difficiles.

Il est guidé par des moteurs électriques rechargeables grâce à un panneau solaire (captant les amplitudes lumineuses) positionné sur sa structure et produisant 1,5 fois l'énergie nécessaire à son fonctionnement. Le reste de l'énergie produit est stocké dans des batteries au lithium permettant ainsi au robot d'opérer le jour tout en se rechargeant et ainsi continuer de fonctionner la nuit.

a) Mode opératoire et utilisation

Avant de semer, l'agriculteur fait un tour de la parcelle avec le robot pour qu'il puisse réaliser son plan de semis. Grâce à ce tour, il va aussi déterminer une « safety zone » qu'il ne quittera pas lors de son travail⁶. Lors du semis, le robot dépose une graine et enregistre un point RTK pour géolocaliser les graines lors du désherbage. Une fois le semis terminé, le robot commence le désherbage et ne s'arrêtera qu'à la fin de sa programmation permettant ainsi de réduire fortement la pression des adventices avant la levée des graines de betterave.

b) Freins pour le robot

Les agriculteurs testeurs du robot décrivent un travail précis et constant sur l'ensemble des parcelles même si, pour l'instant, un complément de désherbage manuel peut s'avérer nécessaire.

Le robot fonctionnant via un traçage GPS de la graine, si cette dernière vient à manquer (mangée par un nuisible par exemple) le robot considère qu'elle est toujours présente. La croissance d'une adventice à cet emplacement ne sera pas détectée et donc non stoppée.

L'efficacité du désherbage est par ailleurs très dépendante des aléas climatiques : un désherbage tardif ou précoce se traduit ainsi souvent par une utilisation de main d'œuvre complémentaire. Farmdroïd est toutefois conçu pour s'adapter aux différentes conditions climatiques pour circuler sans encombre dans les parcelles. Néanmoins, il semble que des conditions très pluvieuses et humides puissent mettre à mal le travail du robot. Les sols détrempés peuvent ainsi empêcher le robot de se déplacer correctement au même titre que les ornières qui risquent de lui faire perdre sa ligne de travail déterminée par GPS.

c) Développement du robot

Pour Monsieur LEBEGUE, responsable commercial STECOMAT pour la région Grand-Est, il est possible d'amortir le robot plus rapidement en l'utilisant sur une deuxième culture dans l'année comme le colza, les oignons, le quinoa et d'autres plantes aromatique type persil, thym et basilic. Cependant, le binage se réalisera seulement en inter-rang. Compte tenu des surfaces moyennes betteravières qui sont généralement de l'ordre de 15ha, ces évolutions et l'opérabilité du robot sur d'autres cultures constitue un point clé pour convaincre un plus grand nombre d'agriculteurs à se lancer dans l'aventure de la robotique. En augmentant les surfaces travaillées par le robot, ces évolutions améliorent en effet les conditions de retour sur investissement d'un tel achat.

⁶ Si le robot quitte la « safety zone » avant la fin de son travail, en cas de vol par exemple, le RTK se bloque automatiquement et il devient alors impossible de le réenclencher sans l'intervention d'un technicien.

III. Intérêt du robot pour le planteur

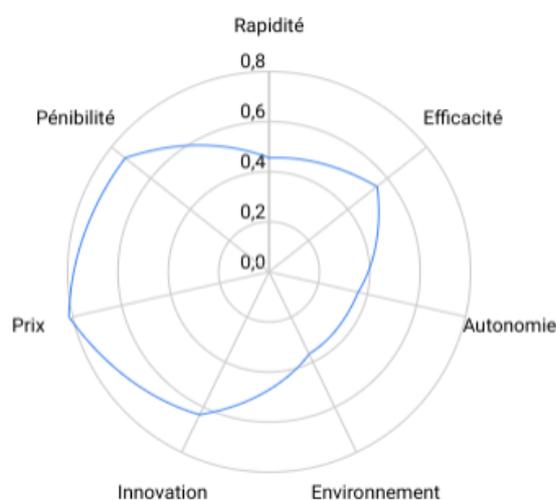
Un questionnaire visant à recenser les pratiques de désherbage d'un panel d'agriculteurs a été proposé par les étudiants. Des données techniques et économiques ont ainsi pu être collectées puis traitées. Les résultats de ces traitements sont fournis dans la suite de ce document.

L'ARTB possède désormais un listing de 32 planteurs BIO répartis sur l'ensemble de la France betteravière – plus précisément dans les départements de l'Yonne, la Seine et Marne, la Seine Maritime, la Somme et l'Essonne - dont 10 d'entre eux ont pu participer au projet #2 de cette année 2022-2023.

La moitié des planteurs questionnés cultivent entre 15 et 20 ha de betteraves bio et moins de 15 ha pour l'autre moitié. Le désherbage est pratiqué manuellement et mécaniquement dans des proportions variables d'un agriculteur à l'autre, quelques-uns ayant également eu l'opportunité de voir et/ou de tester un robot.

Outre l'intérêt de recueillir des données chiffrées, l'enquête a permis d'évaluer les facteurs ayant une importance majeure aux yeux des agriculteurs lors des opérations de désherbage (Graphique A).

Graphique A – Importance des différents critères lors des opérations de désherbage selon les agriculteurs interrogés



Les planteurs BIO questionnés souhaitent ainsi un désherbage :

- Peu pénible et en ayant recours le moins possible à la main d'œuvre humaine,
- Rapide et efficace afin de pouvoir intervenir au bon moment et passer rapidement à d'autres travaux,
- Innovant et respectueux de l'environnement.

Le robot semble donc être la solution répondant à l'ensemble de ces critères. Son choix n'est toutefois pas évident en raison du prix qui reste le facteur clé pour les agriculteurs enquêtés. Au-delà d'assurer une efficacité technique, l'investissement dans un robot doit être rentable. A ce titre, la période d'amortissement du robot et les conditions économiques associées à un tel achat sont prépondérantes.

IV. Étude économique

Les résultats et conclusions présentés sont issus du retour des agriculteurs à l'enquête initiée par les étudiants [Annexe 1]. Il s'agit donc de données « terrain » qui sont liées aux itinéraires techniques pratiqués chez ces agriculteurs (temps, nombre de passages d'outils et coûts associés).

Afin d'appréhender au mieux l'intérêt de l'investissement du robot Farmdroïd, il est nécessaire de faire une estimation de son amortissement. Pour rappel, le Farmdroïd est programmé pour désherber la parcelle qu'il vient de semer : le coût lié au semis est donc à prendre en compte dans l'évaluation économique du cout d'amortissement⁷.

Itinéraire	
Fertilisation	
Préparation de sol	
Semis	
- Semence	
- Semis	} Etapes assurées par le <u>Farmdroïd</u>
Désherbage	
- Mécanique	
- Manuel	
Gestion sanitaire	
Arrachage	

1) Itinéraire « standard » betteraves biologiques

Bien que les itinéraires techniques soient propres à chaque agriculteur, la notion d'itinéraire « standard » désigne ici une méthodologie sans robot. Le désherbage de la betterave biologique est réalisé de façon plus ou moins poussée manuellement et mécaniquement⁸. L'intensité de ce dernier est de plus dépendante des conditions d'implantation de la culture au moment du semis. Une bonne préparation du lit de semences par une ou plusieurs étapes dites de faux-semis permettra de minimiser le recours au désherbage (mécanique et/ou manuel) en cours de culture.

a) Le semis

L'implantation de la culture, hors coût des semences est estimée à 32,90 €/ha⁹.

⁷ Estimation valable pour les parcelles semées par le robot (4 à 5 ha/j).

⁸ Voir projet précédent

⁹ <https://www.artb-france.com/nos-analyses/economie-de-l-exploitation-contractualisation/542-cout-de-production-betteraves-france.html>

b) Le désherbage manuel

Sur une base de 20 €/heure à raison de 51,5 h/ha en moyenne, le coût du désherbage manuel peut atteindre 1030 €/ha. C'est l'état de propreté – pression des adventices - de la parcelle en cours de culture qui déterminera la nécessité et/ou l'intensité du recours aux interventions manuelles.

c) Le désherbage mécanique

Le coût de ce poste va dépendre à la fois des outils utilisés mais également du nombre d'intervention associé. Via notre panel d'agriculteur, le coût moyen associé ressort à 230 €/ha.

d) Itinéraire associé

La partie de l'itinéraire « standard » betterave biologique susceptible d'être assurée par le robot Farmdroïd présente donc un coût moyen de l'ordre de 1265,90 €/ha.

2) Itinéraire robot

Le robot Farmdroïd fonctionne à une cadence avoisinant les 6,5 ha/j dans de bonnes conditions. Son coût d'achat est estimé à 100 000€ auquel il est nécessaire d'ajouter un coût d'entretien de l'ordre de 1500 €/an¹⁰.

3) Amortissement

Le seuil de 20 ha/an retenue permet de réaliser un premier amortissement sur cette base.

Amortissement du robot pour une surface de 20 ha sur 5 ans			
Itinéraire « standard » BIO		Itinéraire robot	
Coût moyen /ha	Coût pour 20ha	Coût achat robot	Coût entretien /an
1267,90 €	25 358 €	100 000 €	1 500 €
Sur 5 ans	126 790 €		107 500 €

La valeur seuil de 15 ha/exploitation permet de réaliser l'amortissement sur cette base.

Amortissement du robot pour une surface de 15 ha			
Itinéraire « standard » BIO		Itinéraire robot	
Coût moyen /ha	Coût pour 15ha	Coût achat robot	Coût entretien /an
1267,90 €	19 018,50 €	100 000 €	1 500 €
Sur 5 ans	92 092 €		107 500 €
Sur 6 ans	114 111 €		110 500 €

Sur la base de ces données, la période d'amortissement nécessaire pour rentabiliser l'achat d'un robot par rapport à un itinéraire « standard » BIO est de 5 à 6 ans.

¹⁰ Source <https://stecomat.com/>

4) Critiques

Il est à rappeler que les données utilisées correspondent à des moyennes qui résultent des données de 10 agriculteurs dont les pratiques et les conditions de cultures sont différentes. Ces données dépendent de plus des conditions météorologiques et sanitaires de l'année.

La rentabilité par le Farmdroid est en outre basée sur le désherbage d'une surface intégralement semée par le robot.

Pour aller plus loin et pouvoir comparer les effets de l'utilisation du Farmdroid, des données de comparaison associées à la notion de rendement d'une même parcelle « standard » VS une parcelle « robot » sont nécessaires. L'augmentation du rendement, par une meilleure densité de semis et/ou une meilleure efficacité du désherbage des rangs et des inter-rangs nécessite d'être approfondie.

V. Conclusion

Même s'il semble qu'une rentabilité à moyen terme soit possible, le recours à la robotique – le Farmdroid dans notre étude – est aujourd'hui freiné à la fois par le manque de recul et donc de résultats liés à son utilisation mais également par son coût d'achat important. L'achat groupé et/ou l'utilisation en CUMA semble de plus compromise à date du fait de la faible vitesse de travail de l'outil qui ne pourrait alors pas répondre à des demandes ponctuelles et simultanées.

Malgré ce caractère onéreux, les planteurs sont dans l'ensemble tous en accord pour affirmer que le recours au désherbage manuel est chronophage, qu'il est de plus en plus difficile à réaliser et nécessite de trouver puis gérer de la main d'œuvre.

Des travaux en lien avec un élargissement du spectre d'utilisation du Farmdroid pour une utilisation sur d'autres cultures¹¹ - tel que le colza, cultivé à grande échelle dans les régions betteravières – sont en cours. Ces derniers permettront sûrement une meilleure optimisation et pourraient in fine inciter certains agriculteurs à franchir le pas.

Il est à noter de plus que dans le contexte de transition agroécologique actuel, des aides à l'acquisition et/ou au renouvellement d'équipements de substitution à l'usage de produits phytosanitaires existent¹². Les aides nationales¹³ peuvent parfois s'accompagner de compléments régionaux¹⁴.

¹¹ <https://farmdroid.dk/fr/cultures-compatibles/>

¹² https://idf.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Ile-de-France/160_Inst-IDF/4_-_Piloter_son_entreprise/Documents/2.4_liste_agroequip_seule_.pdf

¹³ <https://chambres-agriculture.fr/agriculteur-et-politiques/plan-de-relance/agriculteurs/aides-equipements-agroecologiques/>

¹⁴ https://marne.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Grand-Est/047_Inst_Marne/RUB_Gestion/aides/PCAE-2023-Liste-materiels-agricoles-eligibles.pdf

VI. Annexe 1 – Détails des données agriculteurs audités

Planteur BIO	Désherbage manuel		Désherbage mécanique		TOTAL
	Heures / ha	Coût en € /ha	Nombre d'intervention	Coût en € /ha	Coût en € /ha
1	90	1 800	3	164	1 964
2	70	1 400	5	200	1 561
3	20	600	3	111	511
4	50	1 000	6	236	1 236
5	0	0	11	410	328
6	70	1 500	3	110	1 510
7	0	0	7	400	256
8	45	1 000	3	100	966
9	60	1 300	6	209	1 409
10	85	1 700	3	110	1 810
Moyenne	51,5	1 030	5	230	1 235