

Les solutions alternatives au désherbage conventionnel de la pomme de terre



Réalisation : BLASZCZYK Nicolas

Sous la responsabilité de : Catherine VACHER et Benjamin PERRIOT

Synthèse bibliographique réalisée dans le cadre du programme complémentaire pomme de terre 2018-2020.

Table des matières

1. Introduction.....	1
2. Nuisibilité des adventices sur la pomme de terre.....	2
2.1. La nuisibilité directe.....	2
2.2. La nuisibilité indirecte.....	4
3. Le contrôle préventif des adventices avant la plantation.....	4
3.1. Le travail du sol et la rotation.....	4
3.2. Le choix variétal et la gestion des plants.....	9
4. La conduite 100% chimique.....	12
4.1. Le désherbage standard de la pomme de terre.....	12
4.2. Les bioherbicides.....	16
5. Les matériels de désherbage mécanique.....	18
6. Le désherbage 100% mécanique.....	24
6.1. Quand et comment intervenir en mécanique ?.....	29
7. Le désherbage mixte.....	30
7.1. Le désherbage mixte avec localisation des herbicides.....	30
7.2. Le désherbage mixte sans localisation.....	36
8. Les autres conduites alternatives.....	40
8.1. Le contrôle physique des adventices par le paillage.....	40
8.2. Le contrôle des adventices par compétition.....	44
9. Chiffrage économique des systèmes alternatifs.....	47
9.1. Simulation économique de la Chambre d’agriculture du NPDC.....	47
9.2. Évaluation économique dans les systèmes DEPHY EXPE.....	49
10. Conclusions et perspectives.....	53
11. Bibliographie.....	54

1. Introduction

La pomme de terre est une des plantes les plus cultivées à travers le monde. En France, les surfaces emblavées par cette culture ne cessent de croître. D'après l'Union Nationale des producteurs de Pomme de terre (UNPT), elles ont évolué de 125 250 ha en 2016 à 142 710 ha en 2018. En 2019, L'UNPT estime que les surfaces devraient encore progresser de 2.4%. L'accroissement actuel de la production se justifie par une demande sans cesse croissante du marché de l'industrie. Tout comme la pomme de terre conventionnelle, la production biologique évolue elle aussi à la hausse, cette culture représentait une superficie de 795 hectares en 2012, elle a atteint 1 100 hectares en 2018. Le principal débouché reste le marché du frais, mais les besoins pour l'industrie se développent fortement, la part de cette dernière concernant le volume total récolté est passée de 13% lors de la campagne 2017 à 21% en 2018 (enquête AND-CNIPT).

En 2017, la pomme de terre s'est placée comme la culture la plus consommatrice d'intrants avec un IFT total (Indicateur de Fréquence de Traitement) très élevé de 15.8 (SSP, 2017). Si l'IFT fongicide représente une part importante de l'IFT total (11.7) du fait de la lutte contre le mildiou, les herbicides en constituent le second poste avec un IFT de 2.5 (SSP, 2017). En effet, les adventices de par la compétition qu'elles exercent sur la plante, menacent le niveau de production. Les producteurs de pomme de terre ont donc majoritairement recours aux herbicides pour contrôler les adventices dans la culture de pomme de terre. Cependant au regard du contexte actuel, il devient nécessaire de rechercher d'autres alternatives aux herbicides en matière de désherbage. Plusieurs éléments justifient cette recherche de pratiques alternatives, notamment la forte attente du consommateur pour une réduction de l'usage des produits phytosanitaires, un risque de développement de résistance des adventices vis-à-vis des herbicides, un manque d'homologation de nouvelles matières actives et une limitation ou interdiction des matières actives autorisées sur la pomme de terre. L'évolution positive des surfaces de pomme de terre biologique met également en lumière le besoin d'acquérir de nouvelles références en matière de désherbage.

La construction de cette synthèse bibliographique s'inscrit dans la démarche du programme complémentaire pomme de terre, initié par ARVALIS- Institut du végétal, sur la période 2018-2020, pour répondre au besoin d'appréhender de nouvelles méthodes dans la protection de la culture de pomme de terre. La présente étude s'attachera à passer en revue les différentes méthodes et stratégies qui permettent une diminution des herbicides en culture de pomme de terre, qu'elles soient exclusivement mécaniques, ou bien mixtes et complémentaires à la chimie. Cette étude proposera des références pour les agriculteurs s'intéressant à d'autres alternatives de désherbage, ou souhaitant se convertir en culture de pomme de terre biologique. Dans un premier temps, nous aborderons d'abord les effets négatifs que peuvent représenter la présence des adventices sur la production, puis dans un second temps, nous nous consacrerons aux différents leviers qui permettent de diminuer l'utilisation des herbicides. Les formes de lutte préventive contre les adventices seront d'abord traitées, puis dans un second temps, nous aborderons les moyens permettant de contrôler les adventices

lorsque la culture est installée, tels que le désherbage mixte et mécanique. Enfin dans un dernier temps, nous mentionnerons différentes alternatives ou solutions complémentaires, comme le mulchage ou l'usage des plastiques.

2. Nuisibilité des adventices sur la pomme de terre

2.1. La nuisibilité directe

2.1.1. Périodes où la présence des adventices nuit au rendement

La pomme de terre est une culture sensible au développement des adventices en raison de la longue période s'écoulant de la plantation jusqu'à la fermeture des rangs, la distance étant importante entre les rangs de plantation, ce qui laisse un espace important au développement des adventices (Ahmadvand *et al.*, 2009). Ainsi, la majorité des adventices dans une culture de pomme de terre lève entre la plantation et la floraison (Ciuberkis *et al.*, 2007) ou bien dans une période comprise entre 2 jours avant et jusqu'à 25 jours après émergence des tubercules (Nelson & Thoreson, 1981). Après fermeture du rang par la canopée, les pommes de terre sont très compétitives vis-à-vis des adventices. À l'arrivée de la sénescence, l'ouverture de la canopée permet à nouveau la germination de nouvelles adventices.

Pour estimer la période de nuisibilité des adventices sur une culture, le concept de période critique de contrôle des adventices est souvent utilisé (Critical Period of Weed Control, CPWC). La CPWC est définie comme une période de la saison de croissance de la culture où les adventices doivent être éliminées pour éviter une diminution du rendement. La CPWC est délimitée par 2 dates. Avant la première date, les adventices peuvent être laissées dans la culture sans réduire le rendement ; entre les 2 dates la culture doit être maintenue exempte d'adventices pour obtenir le maximum de rendement, à défaut la présence des adventices nuira à la productivité. Les adventices levant après la seconde date ne réduisent peu ou pas le rendement. Ahmadvand *et al.* (2009) et Mondani *et al.* (2011) estiment que la CPWC démarre 19 jours après émergence du tubercule pour se terminer après 51 jours (lorsque 40 à 100% de la canopée est refermée). Maintenir des pertes de rendement inférieures à 10% est possible si les adventices sont contrôlées entre 19 et 22 jours après émergence des pommes de terre (soit durant les 3 premières semaines de la saison de croissance) (Karimmojeni *et al.*, 2014). Ciuberkis *et al.* (2007) affirment que les adventices doivent être contrôlées de manière optimale lorsque la végétation de la pomme de terre a atteint 20 cm jusqu'à la floraison. On observe donc une variabilité de la CPWC en fonction des études considérées. Ces variations sont expliquées par un nombre important de facteurs différents affectant la CPWC comme les conditions pédoclimatiques de la région considérée, la composition spécifique et la densité des adventices (une faible densité ayant tendance à retarder le début de la CPWC), la densité et la variété de la pomme de terre utilisée (la longueur de la CPWC est plus courte quand la densité est forte car la canopée se referme plus vite).

A retenir : Nous n'avons pas retrouvé de références pour notre situation française quant à la période critique de contrôle des adventices chez la pomme de terre. Cela mériterait d'être recherché.

2.1.2. Les mécanismes de compétition

Peu de recherches caractérisent la compétition qui s'exerce entre les adventices et la pomme de terre. La nuisibilité des adventices sur le rendement s'explique par différents facteurs, notamment la compétition pour les nutriments, la lumière et l'eau. La compétition engendrée par les adventices diminue la matière sèche, la surface foliaire, le taux de croissance, l'absorption de la lumière et l'efficacité d'utilisation de la lumière chez la pomme de terre (Mondani *et al.*, 2011). Sans contrôle des adventices, la teneur en azote dans le feuillage de la pomme de terre biologique est significativement réduite par rapport à une modalité dés herbée (Mirabelli *et al.*, 2005). Singh & Lal (1994) ont montré que les adventices pouvaient absorber de 10 à 21 kg d'azote par hectare dans des traitements dés herbés avec des herbicides, alors que les quantités consommées par les adventices pouvaient s'élever jusqu'à 80 kg N ha⁻¹ dans un témoin non dés herbé. Les pertes engendrées par les adventices en azote, phosphore et potassium dans les champs de pommes de terre ont été estimées à 77, 5 et 66 kg.ha⁻¹ (Shehata *et al.*, 2017). En Inde, les données présentées par Pramanick *et al.* (2012) montrent bien que les adventices sont beaucoup plus compétitives pour capter les nutriments que la pomme de terre, notamment pour le potassium (tableau 1).

Tableau 1. Nutriments consommés par la pomme de terre et les adventices environnantes dans chaque traitement considéré (Pramanick *et al.*, 2012).

Traitement	Nutriments consommés par la pomme de terre (kg ha ⁻¹)			Nutriments consommés par les adventices (kg ha ⁻¹)		
	N	P	K	N	P	K
Témoin non dés herbé	51	13.28	59.32	69.8	19.52	219.27
Dés herbage manuel	55.28	17.45	74.27	57.35	15.21	206.08
Dés herbage manuel + mulching	91.03	31.54	132.45	19.43	10.44	91.33
Métribuzine 0.60 kg/ha	69.27	22.54	92.07	64.42	17.14	173.6
Quizalofop ethyl 1 kg/ha	69.62	21.5	88.9	67.73	16.52	176.44
Pendimethaline 1 kg/ha	77.72	24.29	100.7	61.44	17.66	164.79
Métribuzine 0.60 kg/ha + mulching	83.41	26.79	130.5	42.83	15.22	154.19
Quizalofop ethyl 1 kg/ha + mulching	84.51	26.65	107.73	51.65	13.08	139.08
Pendimethaline 1 kg/ha + mulching	102.4	32.56	124.9	43.81	12.43	130.89

Les quantités de nutriments absorbées par les adventices sont fonction de la biomasse et de la composition floristique. Certaines adventices sont très compétitives pour l'azote, comme le chénopode. La période d'émergence des adventices, avant ou après les pommes de terre, affecte aussi la compétitivité des adventices vis-à-vis de la culture, les mauvaises herbes levant avant les pommes de terre sont plus concurrentielles (Love *et al.*, 1995).

La compétition pour les ressources entre la pomme de terre et les adventices se traduit généralement par une diminution du rendement, dans des proportions plus ou moins variables suivant les études. En moyenne des deux cultivars testés (Russet Burbank et Frontier Russet), la présence de mauvaises herbes a entraîné une réduction de 23 % de la biomasse foliaire des pommes de terre lors de la première année, et une réduction de 55 % lors de la seconde année d'étude, avec un impact négatif sur le rendement (Love *et al.*, 1995). Durant 2 années d'expérimentation, le rendement des tubercules en pourcentage du témoin sans mauvaises herbes de chaque cultivar variait de 48 à 64 % et de 46 à 77% dans un traitement non dés herbé lors de la première et seconde année d'expérimentation, respectivement (Colquhoun

et al., 2009). L'absence de contrôle des adventices réduit de 57% le rendement en tubercules commercialisables (Shehata *et al.*, 2018). Ces diminutions de rendement seraient gouvernées par la composition, la densité et la biomasse des adventices. Plus la période de compétition engendrée par les adventices est longue, plus la réduction du rendement est forte. Lorsque les adventices sont en compétition pendant toute la saison de croissance et lorsqu'elles lèvent une semaine après les tubercules, la réduction du rendement est de 54% alors qu'elle n'est que de 16% quand les adventices lèvent 3 semaines après les pommes de terre (Nelson & Thoreson, 1981). La réduction du rendement de par la compétition avec les adventices est corrélée avec la biomasse des adventices (Nelson & Thoreson, 1981) ainsi qu'à la densité d'adventices par m² (Ciuberkis *et al.*, 2007). La perte de rendement se caractérise généralement par une diminution du nombre et de la taille des tubercules, mais sans répercussion sur le poids spécifique (Kołodziejczyk, 2015 ; Nelson & Thoreson, 1981), ce qui peut impacter le pourcentage de tubercules commercialisables. Le contrôle des adventices apparaît donc comme primordial pour éviter des chutes de rendement trop importantes.

2.2. La nuisibilité indirecte

La présence des adventices peut également occasionner d'autres problèmes considérés comme indirects (Vacher, 2019). Elles favorisent l'implantation des maladies et des insectes. Si le désherbage a été peu efficace, la masse végétative des adventices peut poser des difficultés à la récolte entraînant une dépréciation de la qualité des tubercules. Enfin, non contrôlées, les mauvaises herbes peuvent constituer ou renforcer le stock de graines déjà présent et ainsi entraîner des problèmes de maîtrise des adventices pour les autres cultures de la rotation, tout en augmentant les coûts de désherbage.

3. Le contrôle préventif des adventices avant la plantation

Avant plantation de la pomme de terre, il est nécessaire de travailler au préalable pour éviter un développement trop significatif des adventices dans la future culture. Pour ce faire, le travail du sol et la rotation des cultures sont des points clés dans l'assainissement des parcelles, alors qu'une réflexion en amont doit être également menée du point de vue de la sélection variétale pour rendre la pomme de terre la plus compétitive possible vis-à-vis des adventices.

3.1. Le travail du sol et la rotation

3.1.1. Le travail du sol avant la plantation

Le travail du sol constitue un levier majeur dans le contrôle des adventices (Merfield, 2019). Le labour, très souvent réalisé avant une culture de pomme de terre, est une première étape permettant d'enfouir un nombre important de semences d'adventices. 88% des parcelles implantées en pomme de terre sont labourées (enquête SSP 2014). La technique des faux semis permet aussi de gérer les adventices. Le faux semis est utilisé à hauteur de 6% des parcelles plantées en pomme de terre (enquête SSP 2014). Un premier passage d'outil permet de faire lever les adventices, tandis qu'un second permet une destruction de ces dernières. Les nombreux passages d'outils pour préparer la plantation (reprise du labour, fraissage),

positionnés au plus près de la plantation de la pomme de terre, permettent aussi de minimiser la germination de certains types d'adventices dans la future culture.

3.1.2. Mettre en place une rotation adaptée

La rotation est une clé importante dans la gestion des adventices. Une rotation diversifiée alternant des cultures d'hiver et de printemps permet de prévenir la dominance de certaines adventices, en variant les dates de semis, les cultures mises en place et les moyens mis en œuvre pour éliminer les adventices. Ceci permet de diminuer le stock de semences des adventices. La pomme de terre reste considérée comme une culture nettoyante (Boydston, 2010). Un intervalle à minima de 3 années doit être respecté entre deux plantations de pomme de terre. À défaut, on risque de favoriser les adventices ayant le même cycle que la pomme de terre, mais également les maladies et parasites qui lui sont inféodés. Il faudra également prendre en compte l'historique de la parcelle, les parcelles recevant des pommes de terre depuis plusieurs rotations seront plus sujettes à des problèmes de désherbage.

3.1.3. Mettre en place des intercultures

74% des parcelles emblavées en pomme de terre reçoivent une interculture (enquête SSP), notamment en raison de l'implantation obligatoire des intercultures dans beaucoup de territoires en lien avec la problématique des nitrates. Implantés entre deux cultures principales, trois avantages sont identifiés dans la mise en place d'une interculture avant une production de pomme de terre (Merfield, 2019): couvrir le sol afin de rentrer en compétition avec les adventices pour éviter de laisser le sol nu et ainsi limiter la production de graines d'adventices, limiter la germination des adventices si le mulch est restitué à la surface du sol et enfin utiliser les bénéfiques des propriétés allélopathiques de certaines plantes pour limiter la présence des adventices dans la culture. Les propriétés allélopathiques sont liées à la libération de composés par les plantes (glucosinolates, isothiocyanates...) qui permettent de limiter la germination de certaines adventices. La quantité de molécules allélopathiques est fortement variable entre espèces, mais également au sein des variétés retrouvées au sein d'une même espèce. Le choix de l'espèce utilisée en interculture avant implantation de la pomme de terre revêt donc une grande importance.

Eshel *et al.* (2015) ont cherché à déterminer l'impact de différentes espèces d'interculture afin de répondre à des problématiques d'érosion du sol sous le climat méditerranéen de l'étude, située en Israël. La densité des adventices a aussi été évaluée dans l'interculture puis dans la culture de pomme de terre qui suivait cette interculture. Les auteurs s'appuient sur les mécanismes de compétition et d'allélopathie pour limiter la présence des adventices. Les intercultures sont implantées directement sur billons (figure 1). Hormis pour le colza, la densité des adventices s'est avérée être significativement inférieure dans les modalités avec couverture du sol, comparativement au sol nu, pendant l'interculture (tableau 2). Une fois la pomme de terre implantée, les couverts végétaux précédemment implantés ont montré beaucoup moins d'efficacité pour réduire la présence des adventices. Seul le mélange avoine-vesce a permis une réduction significative du nombre d'adventices par rapport au témoin correspondant au sol nu, 60 jours après la plantation (tableau 2).

Tableau 2. Densité d'adventices (nombre/m²) retrouvée dans l'interculture puis dans la pomme de terre qui suit (Eshel *et al.*, 2015).

	Nombre de jours après semis de l'interculture				Nombre de jours après plantation des pommes de terre
	14	30	53	76	60
Trèfle	19 b	19 b	4 b	6 b	38 ab
Triticale	11 b	12 b	10 b	3 b	20 abc
Avoine	24 b	16 b	4 b	2 b	19 abc
Avoine + vesce	25 b	22 b	7 b	2 b	11 bc
Canola	26 b	20 b	10 b	9 b	43 a
Sol nu	82 a	72 a	40 a	36 a	44 a

Des lettres différentes dans une colonne indiquent une différence significative $P < 0.05$

En Italie, dans un système en transition vers l'agriculture biologique, les effets de 5 intercultures (colza, ray-grass italien, vesce velue, luzerne à écusson, trèfle souterrain) ont aussi été recherchés sur la maîtrise des adventices dans la culture de pomme de terre suivante (Campiglia *et al.*, 2009). Les couverts sont implantés en Septembre et labourés en Mars juste avant implantation des pommes de terre. La biomasse et la densité des adventices sont mesurées lors de l'incorporation au sol des couverts et non pas durant la culture de la pomme de terre. Dans la stratégie de désherbage mécanique (1 binage inter-rang + 1 buttage), la densité des adventices fût la plus faible avec une interculture de colza et de ray-grass (8.1 et 9.5 plantes/m² en 2003 et 2004, respectivement), en comparaison des autres couverts utilisés (en moyenne 19.9 et 31.4 plantes/m² en 2003 et 2004, respectivement). La biomasse des adventices a été la plus grande dans l'interculture au sol nu et la plus faible dans le colza et le ray-grass. L'étude menée par Boydston & Hang (1995) a comparé l'effet de 3 types d'interculture (sorgho, colza et sol nu) sur la présence des adventices, sur des parcelles recevant ou non des herbicides (métribuzine et pendimethaline). Le sorgho et le colza ont été choisis pour leurs propriétés allélopathiques, les variétés sélectionnées (Jupiter pour le colza et Trudan 8 pour le sorgho) étant connues pour contenir beaucoup de glucosinolates. La densité des adventices est déterminée en Juin lorsque la canopée de la pomme de terre est refermée, tandis que la biomasse en adventices est évaluée juste avant la récolte des tubercules. Les adventices principalement retrouvées sont l'amarante (*Amaranthus retroflexus*) et le chénopode blanc (*Chenopodium album*). Dans les traitements sans herbicides, lors de la première année d'essai, la biomasse des adventices a été réduite de 96% et 98% dans la culture de pomme de terre avec une interculture de colza, comparativement au sol nu et au sorgho, respectivement. Durant la seconde année, la biomasse des adventices a été réduite de 73 et 50% dans la culture de pomme de terre avec le colza, comparativement au sol nu et au sorgho, respectivement. Du point de vue de la densité en adventices, elles étaient significativement inférieures dans la culture de pomme de terre avant fermeture de la canopée dans les modalités qui étaient implantées avec une interculture de colza (tableau 3). A noter, les densités en adventices sont toujours inférieures dans les traitements utilisant des herbicides

(tableau 3). Les auteurs rapportent un contrôle efficace des adventices par la mise en place des intercultures lors d'année à faible infestation d'adventices. L'utilisation des herbicides semble indispensable quand l'infestation est trop forte, l'efficacité des couverts d'interculture étant jugée non satisfaisante.

Tableau 3. Densités en adventices retrouvées dans les 3 intercultures testées lors des 2 années d'expérimentation (Boydston & Hang, 1995).

	1992		1993	
	Sans herbicides	Herbicides (pendimethaline 1 kg/ha et metribuzine 0.5 kg/ha)	Sans herbicides	Herbicides (pendimethaline 1 kg/ha et metribuzine 0.5 kg/ha)
	Densité (nbre/m ²)		Densité (nbre/m ²)	
Sol nu	0.61 a	0.01 a	0.62 a	0.00 a
Sorgho	0.54 a	0.03 a	0.61 a	0.00 a
Colza	0.09 b	0.00 b	0.17 b	0.00 b

Le mode d'incorporation au sol des intercultures joue un rôle sur la mise en place des mécanismes allélopathiques. Les résidus doivent être enfouis dans le lit de semence pour que les processus allélopathiques s'établissent, ce qui n'est pas le cas lorsque les résidus sont laissés à la surface du sol (Teasdale, 1993). Bellinder *et al.* (1996) rapportent un contrôle significativement supérieur des adventices lorsque le couvert est incorporé sous la forme d'un mélange homogène terre-résidus grâce à du travail simplifié comparativement à un système labouré. L'enfouissement des résidus en profondeur par un labour montre moins d'efficacité car les résidus sont plaqués au fond de la raie. L'efficacité de l'allélopathie s'établit sur le court terme. 7 semaines après implantation, les auteurs de la même étude ne rapportent plus de différence en termes de niveau d'infestation des adventices entre les 2 systèmes d'implantation étudiés (labour et travail simplifié). Boydston & Hang (1995) ne retrouvent pas de différence du point de vue de la maîtrise des adventices entre l'incorporation d'une interculture de colza ou sorgho à l'aide d'une fraise sur 10 cm de profondeur et une incorporation sur le futur rang de la pomme de terre au strip-till.



Figure 1. Interculture de seigle-vesce implanté à l'aide d'un semoir modifié pour semer sur des billons (à gauche) et sol nu (à droite) avant une culture de pomme de terre, en Israël (Eshel *et al.*, 2015).

En terme d'impact sur le rendement, Eshel *et al.* (2015) n'ont pas noté de diminution ou d'augmentation significatives des rendements avec cinq intercultures, comparativement à une

interculture au sol nu. Boydston & Hang (1995) ont montré que l'utilisation d'un herbicide de pré-levée couplé à une interculture de colza a permis d'augmenter les rendements, comparativement à un traitement avec pré-levée et sans couvert d'interculture. Une culture de pomme de terre précédée par des intercultures de vesce velue ou trèfle souterrain présentant de fortes biomasses aériennes (entre 5 et 4.4 t/ha de MS) a permis d'obtenir un rendement équivalent (48.5 t ha^{-1}) à un traitement fertilisé avec 100 kg.ha^{-1} d'azote, 100 kg.ha^{-1} de phosphore et 50 kg.ha^{-1} de potassium (Campiglia *et al.*, 2009). Dans cette étude, les rendements les plus faibles ont été obtenus avec des intercultures de colza, ray-grass et sol nu. Les couverts peuvent par conséquent dans certaines situations augmenter les rendements grâce à différents services (fixation biologique de l'azote, recyclage des nutriments, etc.). Pour améliorer la maîtrise des adventices via les intercultures, on s'orientera plutôt vers des plantes réputées pour leurs effets allélopathiques comme les brassicacées (colza, moutarde) ou bien des graminées comme l'avoine. Enfin, la mise en place des intercultures nécessite de revoir le coût de production, car il faut prendre en compte l'investissement lié aux semences et à l'implantation des couverts.

A retenir : la présence des couverts végétaux en interculture montre généralement une bonne répression des adventices lorsque ces derniers sont installés. Toutefois, lorsque la pomme de terre est implantée, l'efficacité des couverts pour réduire la présence des adventices est véritablement partielle. Cela s'explique notamment par le fait que nous n'avons pas encore appréhender de manière suffisante tous les paramètres qui permettraient de maximiser les performances des couverts sur le contrôle des adventices, notamment vis-à-vis du choix de l'espèce et de la variété à planter, les mécanismes permettant de favoriser les processus allélopathiques et le mode d'incorporation le plus approprié.

3.1.4. Travailler la densité de plantation et l'arrangement spatial

Travailler sur les distances inter et intra-rangs est une solution pour tenter de limiter le développement des adventices. Logiquement, planter à une distance la plus faible possible (75 cm) permettrait d'accroître la compétitivité de la pomme de terre contre les adventices en limitant l'espace et le temps de concurrence des adventices car la canopée se referme plus vite. Pourtant Love *et al.* (1995) n'ont pas constaté d'effet de la diminution de l'espacement inter-rang sur la biomasse des adventices alors que la diminution de l'espacement intra-rang a eu une tendance à diminuer la biomasse des mauvaises herbes. Les auteurs de l'étude expliquent ces résultats par le fait que l'espacement plus étroit entre les plants sur le rang a entraîné une concurrence précoce entre les plants de pommes de terre et un rapide allongement des tiges permettant un recouvrement plus rapide de l'inter-rang. Dans la même étude (Love *et al.*, 1995), la réduction de la distance intra-rang entre les plants de 35 à 15 cm afin d'améliorer la compétitivité contre les adventices a permis d'augmenter les rendements chez les 2 cultivars utilisés. Hussain *et al.* (2016) ont aussi constaté de meilleurs rendements avec une distance intra-rang de 15 cm. Avec cet écartement, les plants de pommes de terre étouffent plus vite les adventices, grâce à une hauteur végétative plus importante, ce qui diminue la densité et la biomasse des adventices, comparativement à des distances intra-rang de 25 et 35 cm (tableau 4).

D'autres éléments ont été recherchés, notamment du point de vue de l'orientation des rangs de pomme de terre. Au Pakistan, les pommes de terre cultivées selon une orientation nord-Sud s'avèrent plus compétitives vis-à-vis des adventices par rapport à celles implantées dans la direction Ouest-Est. Orientées de cette manière, la réception du rayonnement solaire est améliorée, les pommes de terre présentent alors un nombre de feuilles plus important et un feuillage davantage développé en hauteur (tableau 4). L'amélioration de ces paramètres permet de gagner du rendement, ils évoluent de 18.11 t.ha⁻¹ pour une plantation Est- Ouest à 19.58 t.ha⁻¹ pour des rangs orientés Nord-Sud (Hussain *et al.*, 2016).

Tableau 4. Effet de l'orientation de la plantation et de l'espacement intra-rang des plants de pommes de terre sur les adventices et les paramètres mesurés chez la pomme de terre (Hussain *et al.*, 2016).

Traitements	Densité d'adventices (m-2)	Biomasse en adventices (kg.ha-1)	Hauteur de la pomme de terre (cm)	Nombre de feuilles par plant	Rendement (t.ha-1)
Direction de la plantation					
Est- Ouest	117.1 a	940.32 a	46.5 b	20.47 b	18.11 b
Nord-Sud	106.2 b	857.68 b	51.5 a	22.63 a	19.58 a
Espacement intra-rang					
15 cm	104.0 b	728.3 c	50.6 a	17.6 c	20.00 a
25 cm	111.5 ab	892.2 b	48.6 b	22.3 b	18.80 b
35 cm	119.6 a	1076.5 a	47.8 b	24.7 a	17.72 c

Des lettres différentes dans une colonne indiquent une différence significative $P < 0.05$

A retenir : Planter à des distances plus faibles de l'ordre de 15 cm semble être une piste intéressante pour améliorer la compétitivité des pommes de terre sur les adventices car la fermeture de la canopée est plus rapide. Cependant, ceci mérite réflexion notamment en termes d'impacts sur le rendement et surtout sur les calibres obtenus avec cette technique.

3.2. Le choix variétal et la gestion des plants

3.2.1. Utiliser des variétés à fort développement foliaire

La pomme de terre est très sensible aux adventices à ses premiers stades de croissance en raison de son émergence peu rapide et lors de la sénescence lorsque la canopée s'ouvre (Love *et al.*, 1995). Du point de vue variétal, la compétitivité de la pomme de terre vis-à-vis des adventices peut être définie par 2 paramètres. D'abords, la capacité de tolérance du cultivar en lien avec ses aptitudes à produire des rendements convenables en présence des adventices, et ensuite, la capacité de la culture à réduire la présence des adventices (Cavalieri *et al.*, 2018).

Les capacités de suppression des adventices chez la pomme de terre sont très variables entre variétés. Les variétés les plus compétitives sont associées à une émergence et une croissance rapide du plant et une capacité à maintenir une canopée bien développée sur le long terme (Callaway, 1992). Les traits associés à une plus grande compétitivité sont donc

principalement liés à une forte production de biomasse aérienne et une hauteur élevée pendant les premiers stades de croissance (Cavalieri *et al.*, 2018). Ces caractéristiques sont essentiellement retrouvées chez les variétés semi-tardives ou tardives. Au cours de 2 années d'étude dans un traitement sans contrôle des adventices, « Russet Burbank », variété tardive, à présenter une biomasse foliaire plus élevée et un rendement total plus élevé que « Frontier Russet », variété considérée comme précoce à intermédiaire (Love *et al.*, 1995). Durant les 2 années d'étude, la biomasse des mauvaises herbes chez « Russet Burbank » était diminuée de 81 % par rapport à « Frontier Russet » (141 contre 726 g.m²) lors de la première année et de 16 % (1180 contre 1412 g.m²) lors de la seconde année, respectivement. La compétitivité des pommes de terre est conditionnée par sa capacité à ombrager le plus rapidement possible le sol selon Connell *et al.* (1999), une augmentation de 22% de la biomasse des adventices étant répertoriée chez un cultivar précoce ombrageant peu le sol, comparativement à un cultivar tardif. En Italie, Cavalieri *et al.* (2018) ont cherché à évaluer la capacité concurrentielle de différentes variétés de pommes de terre. La flore d'adventices est essentiellement représentée par de l'amarante et du chénopode. La biomasse aérienne des adventices à maturité des pommes de terre était la plus élevée chez les variétés précoces « Agata » et « Monalisa » (valeur moyenne de 125 g.m² de matière sèche (MS)), suivi des variétés intermédiaires « Marabel » et « Liseta » (85 g.m² de MS), et la plus faible chez les variétés moyennement tardives « Désirée » et « Kuroda » (63 g.m² de MS). **Les variétés précoces semblent donc beaucoup moins compétitives par rapport aux variétés considérées comme intermédiaires ou tardives.**

Le second paramètre évaluant la tolérance du cultivar vis-à-vis des adventices se traduit par le maintien d'un bon rendement malgré la présence de mauvaises herbes. Les variétés réagissent différemment à la présence des adventices. Par exemple en présence de mauvaises herbes, le rendement chez « Frontier Russet » est réduit en moyenne de 43% (passant de 32,1 à 18,2 t/ha) alors que chez « Russet Burbank », il est seulement réduit de 10% (évoluant de 40,6 à 36,4 t/ha) (Love *et al.*, 1995). La capacité de la variété à maintenir un bon rendement en présence d'adventices peut être en relation avec ses aptitudes à capter plus vite les nutriments du sol. En comparant 2 variétés différentes, Kołodziejczyk *et al.* (2017) ont montré que certaines variétés sont plus compétitives vis-à-vis des adventices car elles captent mieux les nutriments du sol que d'autres. La variété « Tajfun » accumule davantage d'azote, de phosphore, de potassium et de calcium que « Vineta ». À noter que si les variétés tardives semblent être les plus compétitives sur les adventices, elles peuvent présenter des rendements moindres par rapport aux variétés précoces car elles allouent davantage de nutriments à la construction du feuillage, ce qui peut se faire au détriment du rendement en tubercules. Dans l'étude de Cavalieri *et al.* (2018), les variétés semi-tardives présentent une plus forte tolérance aux adventices comparativement aux variétés précoces ou intermédiaires, mais les variétés intermédiaires présentent les plus hauts rendements. L'adoption des variétés de type intermédiaires semble être le meilleur compromis pour garantir à la fois le rendement et une suppression acceptable des adventices (Cavalieri *et al.*, 2018). Si l'on désire choisir une variété à fort développement foliaire, il faudra se reporter au catalogue variétal qui donne des informations concernant la taille, les feuilles et le port de chaque variété.

A retenir : les variétés tardives semblent être les plus compétitives vis-à-vis des adventices grâce à un fort développement foliaire. L'utilisation de ces cultivars permettra de réduire les doses d'herbicides et de diminuer la fréquence de passage des outils mécaniques. Cependant, il ne faut pas oublier que les plantes caractérisées par un développement foliaire important peuvent amener d'autres problèmes, comme des difficultés de destruction du feuillage lors du défanage ou bien favoriser davantage les maladies du feuillage en augmentant la surface d'entrée des pathogènes. Le choix de la variété reste donc un compromis, d'autant plus que la résistance au mildiou et la variété imposée par la filière restent des critères prépondérants dans le choix variétal.

3.2.2. Pré-germer les plants pour prendre de vitesse les adventices

La pré-germination consiste à exposer les plants à la lumière et aux courants d'air de manière intensive, afin d'obtenir des germes courts et trapus d'un demi-centimètre (Ryckmans, 2013a). Couramment utilisée chez les producteurs biologiques en Allemagne, Pays-Bas et Belgique, son utilité première est de gagner du temps sur le mildiou avant la mise en place du pic de l'épidémie. Elle permet d'arriver plutôt sur le marché pour les productions de primeurs ou hâtives. Cette pratique pourra être mise à profit dans le cas de la gestion des adventices, grâce à un démarrage rapide et homogène des plants, ce qui permettra de prendre de cours et de concurrencer davantage les adventices. Les plants peuvent être pré-germés dans des caissettes ou bien des sacs réservés à cet effet (figure 2). Différentes techniques de pré-germinations peuvent être mises en œuvre, en fonction du débouché (figure 3).



Figure 2. Caissettes et sac de pré-germination disposés sur un râtelier

Le coût de cette technique est compris entre 125 et 175 euros/ha pour une production de 45 tonnes/ha avec des sacs de pré-germination (Ryckmans, 2013a), tandis qu'il est en moyenne de 300 à 700 euros/ha avec des caissettes (Ryckmans, 2013b). Cette méthode nécessite également une adaptation des équipements, une planteuse à courroie étant requise. Elle nécessite également davantage de main-d'œuvre et de manipulation des plants.

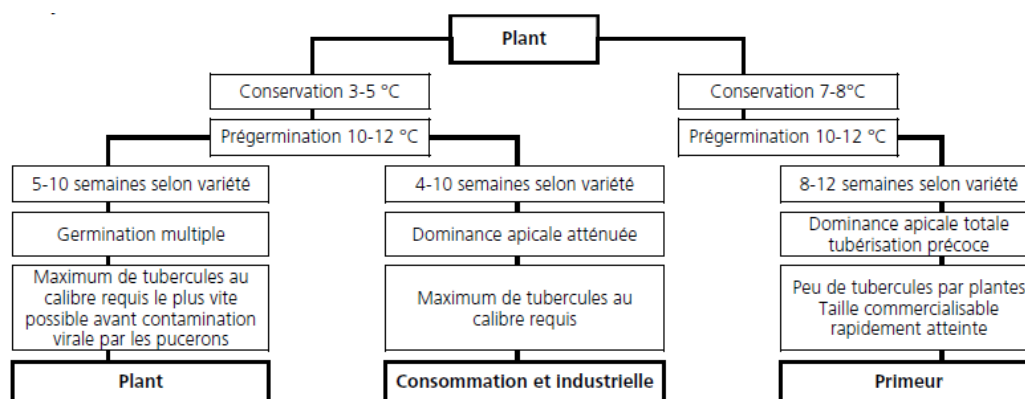


Figure 3. Techniques de pré-germination en fonction du type de débouché

4. La conduite 100% chimique

4.1. Le désherbage standard de la pomme de terre

En raison du mode d'action de la plupart des herbicides autorisés sur la pomme de terre, le désherbage standard est très majoritairement réalisé en pré-levée.

4.1.1. Bien connaître la flore de la parcelle

Avant d'établir une stratégie de désherbage, il convient de bien cerner le type d'adventices présentes sur la parcelle. Le choix des produits homologués sera donc fonction des mauvaises herbes ayant posé problème dans la rotation sur la parcelle qui sera implantée. Le choix effectué tiendra également compte du fait que de nombreuses adventices ont un cycle de développement comparable à celui de la pomme de terre (chénopodes, morelles, renouées...).

4.1.2. Mode d'action et efficacité des herbicides de pré-levée

Appliqués sur la couche superficielle du sol, les herbicides de pré-levée ont un mode d'action racinaire, ils sont absorbés par les racines des adventices alors que la pomme de terre, située plus en profondeur dans la butte, n'est pas touchée. L'action des spécialités de pré-levée vise à la fois les dicotylédones et les graminées. L'utilisation de mélange de différentes matières actives est très courante pour le désherbage en pomme de terre, cette pratique permettant de s'adapter à des cortèges floristiques divers et variés. La métribuzine est la matière active constituant la base des stratégies de désherbage chimique. Dans la mesure où certaines variétés sont sensibles à cette matière active, il convient de bien prendre en compte ce paramètre pour éviter des problèmes de phytotoxicité (tableau 5).

Les doses autorisées et l'efficacité de chaque spécialité sur la flore sont décrites au sein du tableau 6. Le prosulfocarbe (DEFI / ROXY 800 EC) reste une référence sur morelle noire. L'association avec la métribuzine offre un large spectre d'efficacité. La clomazone (CENTIUM 36 CS) est également utilisée en association avec d'autres herbicides. L'association avec de la métribuzine donne de bons résultats sur renouée. L'aclonifen (CHALLENGE 600) est généralement utilisé en association triple avec de la métribuzine et du prosulfocarbe. Il apporte une efficacité intéressante sur chénopode, gaillet et mercuriale. Le flufenacet associé à la métribuzine (BASTILLE) propose un large spectre d'efficacité. Cet herbicide peut être renforcé avec de la clomazone pour lutter contre la renouée liseron.

Tableau 5. Sensibilité variétale de la pomme de terre à la métribuzine

	Application	Pré-levée	Post-levée
		Dosage maximale de produit kg ou l/ha	
Adriana, Auréa, Celtiane, Chérie, Désirée, Draga, Eva, Jetta, Lady Felicia, Lady Roseta, Kaptah Vandel, Logita, Multa, Osirène, Pansta, Pétra, Prima, Résy, Rubis, Scorpio, Sensor, Shepody, Spartaan, Starlette, Stefano, Sybilla, Turbo, Vebeca, Vivaks		0.6 l/ha	
Celtiane, Chérie, Daisy, Lady Claire, Nicola, Universa, Russet bank		0.9 l/ha	0.25 l/ha
Agata, Annabelle, Franceline, Pompadour, Résy	Pas d'application en post-levée	0.9 l/ha	–
Belle de Fontenay, Fambo, Frieslander, Hermès, Innovator, Lady Christl, Lyra, Morène Concorde, Pasha, Vitesse	Pas d'application	–	–

4.1.3. Conditions d'application des herbicides

Le désherbage en pré-levée doit être réalisé sur buttes définitives et au moins une semaine avant la levée des tubercules, pour éviter les problèmes de phytotoxicité. Les spécialités en pré-levée doivent être appliquées sur une butte rappuyée (pour éviter un entraînement de la terre par ravinement), bien émietée et sans vent pour répartir de manière uniforme le produit sur les flancs de butte. Les applications avec un désherbage chimique racinaire en pré-levée voient leur efficacité optimale lorsque le sol à un bon niveau d'humidité et idéalement avant une faible pluie. À défaut, l'efficacité des herbicides se voit limitée par des conditions sèches. Si une pluviométrie trop importante intervient après application, des problèmes de phytotoxicité par entraînement en profondeur peuvent aussi être constatés. Les doses appliquées doivent également être modulées selon le type de sol rencontré. En sol sableux et filtrant, elles seront diminuées pour éviter une éventuelle phytotoxicité, alors qu'en sol humifère elles seront utilisées à la dose maximale autorisée afin de contrecarrer les blocages par adsorption.

4.1.4. Herbicides de post-levée

Un recours en post-levée peut être nécessaire en cas d'infestation non contrôlée par une première application en pré-levée ou bien si les conditions climatiques en ont fortement limité l'efficacité. Avant intervention, il reste nécessaire de bien identifier la flore présente, et d'intervenir sur des adventices faiblement développées (2 feuilles maximum). Les spécialités ciblant les dicotylédones sont très peu nombreuses, les matières actives sollicitées étant soit le rimsulfuron ou la métribuzine (tableau 7). La spécialité à base de rimsulfuron (Elden) devra être utilisée prioritairement sur des adventices entre les stades cotylédons et 4 feuilles. La métribuzine peut aussi être utilisée en rattrapage, mais il faudra tenir compte de la sensibilité variétale (tableau 5). Enfin, des spécialités commerciales visant les graminées sont nombreuses à pouvoir être utilisées chez la pomme de terre, mais leur recours doit être raisonné pour tenir compte des problèmes de résistances.

Tableau 6. Spécialités commerciales autorisées en pré-levée sur pomme de terre, doses et spectres d'efficacité (ARVALIS, protection contre les maladies, les adventices et les ravageurs, dépliant 2018)

LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES														MAUVAISES HERBES											
HERBICIDES														November 2018											
SPECIALITES COMMERCIALES	FIRMES	Doses autorisées kg/ha ou l/ha ou g m.a./ha	SUBSTANCES ACTIVES	HRAC	Formulation	Classement toxicologique / CLP	Stockage séparé	Restriction en mélange	Nbre max. d'application	Délai de REntree (DRE) en heures	Zone Non Traitee (ZNT) en mètres	Dispositif Végétalisé Permanent (m)	Délai Avant Récolte (DAR) en jours ou stade BBCH	Aethusa (ombellifères)	Chenopode	Fumeterre	Gaillet	Malicite	Mercuriale	Morelle	Renouée liseron	Renouée oiseaux	Paturin annuel		
POST-PLANTATION (8 à 15 jours après plantation, après buttage) / PRE-LEVEE (au moins une semaine avant la levée) antigraminées/antidicotylédones																									
ALMERIA 70 WG (1)(2)	Sapac Agro France	0,75	metribuzine 70 %	C1	WG	H 302, H410	non	non	1	6	5	-	F												
ARCADE (1)(2)(10)	Syngenta France	5	prosulfocarbe 800 g/l + métribuzine 80 g/l	N+C1	EC	H410	non	non	1 an sur 3	6	5	-	BBCH 09												
AFAENA 360 CS(3)(4)	Adama France	0,3	clomazone 360 g/l	F4	CS	H317, H412	non	non	1	48	5	-	F / BBCH 05												
BASTILLE(1)(2)	Bayer CropScience	2,5	métribuzine 240 g/kg + flufenacet 175 g/kg	C1+K3	WG	H302, H317, H373, H410	non	oui	-	48	5	-	F												
BRETTEUR(1)(8)	Adama France	0,75	métribuzine 70%	C1	WG	H410	non	non	1	6	(8)	(8)	BBCH 19												
CENTIUM 36 CS(3*)(4)	FM C	0,3	clomazone 360 g/l	F4	CS	H413	non	non	1	6	5	-	F												
CHALLENGE 600 (5)	Bayer CropScience	4	actonifen 600 g/l	F3	SC	H 351, H410	oui	oui	1	48	20	5	BBCH 08												
DEFI(10)	Syngenta France	5	prosulfocarbe 800 g/l	N	EC	H304, H315, H317, H319, H410	non	non	1	48	5	5	F												
KARM IN 600 (5)	Adama France	4	actonifen 600 g/l	F3	SC	H 351, H410	oui	oui	1	48	20	5	BBCH 08												
METRIC (1)	Belchim C.P.	1,5	clomazone 60 g/l + métribuzine 233 g/l	F4+C1	ZC	H400, H410	non	non	1	6	5	-	72												
PROMAN / SOLETO / INIGO (9)	Belchim C.P.	4	metobromuron 500 g/l	C2	SC	H351, H 373, H400, H 410	oui	oui	1	48	20	(9)	BBCH 09												
RACER ME	Adama France	2	flurochloridone 250 g/l	F1	CS	H317, H361d, H410	oui	oui	1	48	5	-	90												
ROXY 800 EC (10)	Belchim C.P.	5	prosulfocarbe 800 g/l	N	EC	H319, H400, H410	non	non	1	24	5	5	90												
SENCORAL SC (1) (2)(7)	Bayer CropScience	0,9	métribuzine 600 g/l	C1	SC	H317, H410	non	non	1	48	5	-	F												
TAVAS (1)	Adama France	1,2	métribuzine 250 g/l + diflufenicanil 62,5 g/l	C1+F1	SC	H410	non	non	1	6	5	5	F / BBCH 09												
TOUTATIS DAMTEC	Bayer CropScience	2,4	actonifen 500 g/kg + clomazone 30 g/kg	F3+F4	WG	H315, H351, H410	oui	oui	1	24	20	20	F												

- (1) Tenir compte des sensibilités variétales : se conformer aux prescriptions.
 (2) Pour protéger les organismes aquatiques, ne pas appliquer ce produit au voisinage d'un point d'eau sans avoir mis en place un dispositif de cloisonnement des inter-rangs pour éviter le ruissellement.
 (3) Ne pas utiliser en production de plant
 (3*) En production de plants de pomme de terre, réduire la dose à 0,25 l/ha. Avant toute utilisation de la préparation en production de plants de pomme de terre, se rapprocher des établissements producteurs de plants. Réduire la dose à 0,2 l/ha en sol léger ou pauvre en matière organique ainsi que sur culture de primeur sous plastique.
 (4) Toujours en association à 0,25 l avec un herbicide racinaire.
 (5) Ne pas utiliser sur pomme de terre primeur. En production de plant, se conformer aux prescriptions
 Ne pas utiliser sur variété MONALISA en terre crayeuse quelque soit le type de production
 (6) Application en prélevée ou en postlevée sans dépasser 0,75 kg/ha en prélevée et 0,5 kg/ha en postlevée
 (7) Ne pas dépasser 0,9 l/ha au total dans le cas d'une application de prélevée + postlevée
 (8) Application en pré-levée : Pour protéger les organismes aquatiques, respecter une zone non traitée comportant un dispositif végétalisé permanent d'une largeur de 20 mètres en bordure des points d'eau
 Application en post-levée : Pour protéger les organismes aquatiques, respecter une zone non traitée de 5 mètres en bordure des points d'eau
 (9) Pour protéger les organismes aquatiques, respecter une zone non traitée de 20 m par rapport aux points d'eau pour les usages sur pomme de terre.
 Pour protéger les organismes aquatiques des risques liés au ruissellement pour les usages sur pomme de terre, cette ZNT de 20 m doit :
 * Soit comporter un dispositif végétalisé permanent non traité d'une largeur de 20 m en bordure des points d'eau.
 * Soit être accompagnée d'un dispositif de cloisonnement inter-rang pour les parcelles au voisinage des points d'eau.
 (10) : Pour l'application des produits à base de prosulfocarbe, utilisation obligatoire depuis le 21/10/2017 d'un dispositif homologué pour limiter la dérive de pulvérisation des produits.

Tableau 7. Spécialités commerciales autorisées en post-levée sur pomme de terre, doses et spectres d'efficacité (ARVALIS, protection contre les maladies, les adventices et les ravageurs, dépliant 2018)

LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES

HERBICIDES													Novembre 2018							Dicotylédones			Graminées		
SPECIALITES COMMERCIALES	FIRMES	SUBSTANCES ACTIVES	Doses autorisées kg/ha ou l/ha ou g m.a./ha	HRAC	Formulation	Classement toxicologique / CLP	Stockage séparé	Restriction en mélange	Nbre maxi. d'application	Délai de REntree (DRE) en heures	Zone Non Traitée (ZNT) en mètres	Dispositif Végétalisé Permanent (m)	Délai Avant Récolte (DAR) en jours ou stade BBCH	Chénopode	Fumetierre	Morèle	Mercuriale	Renouée liseron	Renouée oiseaux	Chardon des champs	Folle avoine	Pâurin annuel	Chiendent rampant		

POST-LEVEE (adventices entre cotylédons et 4 feuilles maximum, stade de la culture limitant par l'effet parapluie) - anticotylédones

ALMERIA 70 WG (1)(2)(6)	Sapac Agro France	metribuzine 70 %	0,5	C1	WG	H302, H319, H400, H410	non	non	1	6	5	-	F											
ELDEN(3)	Belchim C.P.	rimsulfuron 25 %	0,06	B	WG	H400, H410	non	non	1	6	5	5*	BBCH 30											
SENCORAL SC (1)(2)(6)	Bayer CropScience	metribuzine 600 g/l	0,9	C1	SC	H317, H410	non	non	1	48	5	-	F											

POST-LEVEE antigaminées foliaires

AGIL / CLAXON / AMBITION	Adama France	propaquizafop 100 g/l	12	A	EC	H304, H319, H411	non	non	1	24	5	-	45	Sans action																
CENTURION 240EC / SELECT / EXOSET (4)(5)	Arysta LifeScience	cléthodime 240 g/l	0,5	A	EC	H304, H317, H336, H411	non	non	1	24	5	-	60																	
ETAMINE	Philagro	quizalofop-P-éthyle 50 g/l	12(a), 3(v)	A	SC	H317, H319, H411	non	non	1	48	5	-	45																	
FOLY R / NOROIT / BALISTIK / ISOR (4)	Arysta LifeScience	cléthodime 100 g/l	1	A	EC	H304, H336, H411	non	non	1	24	5	-	60																	
LEOPARD 120	Adama France	quizalofop-P-éthyle 120 g/l	125	A	EC	H304, H317, H319, H411	non	non	1	48	5	-	90																	
PILOT	Philagro	quizalofop-P-éthyle 50 g/l	12 (a), 3 (v)	A	EC	H304, H315, H317, H319, H332, H336, H410	non	non	1	48	5	-	45 BBCH 74																	
STRATOS ULTRA	BASF Agro	cycloxydime 100 g/l	2 (a), 4 (v)	A	EC	H304, H315, H319, H336, H361d, H411	oui	oui	1	48	5	-	70																	

(1) Tenir compte des sensibilités variétales : se conformer aux prescriptions.

(2) Pour protéger les organismes aquatiques, ne pas appliquer ce produit au voisinage d'un point d'eau sans avoir mis en place un dispositif de cloisonnement des inter-rangs pour éviter le ruissellement.

(3) S'utilise avec un mouillant Trend 90 0.1 l/ha

(4) Ne pas utiliser sur pomme de terre primeur

(5) S'utilise toujours avec de l'huile (végétale estérifiée de préférence) ; attendre le stade 3 feuilles des graminées adventices pour intervenir.

(6) Ne pas dépasser 0.9 l/ha au total dans le cas d'une application de prélevée + postlevée

dose	Efficacité satisfaisante	dose	Efficacité moyenne à insuffisante
dose	Efficacité moyenne	dose	Efficacité bonne à moyenne
dose	Efficacité insuffisante		

(a) : dose autorisée graminée annuelle

(v) : dose autorisée graminée vivace

(*) En cas de ruissellement possible sur la parcelle, prévoir un dispositif végétalisé non traité d'une largeur de 5 mètres en bordure des points d'eau

4.2. Les bioherbicides

L'utilisation des bioherbicides peut constituer un outil supplémentaire dans les stratégies de désherbage à la fois dans les systèmes conventionnels ou biologiques. Les publications scientifiques ont principalement évalué l'efficacité de l'acide acétique pour le contrôle des adventices dans la culture de pomme de terre. Beaucoup de variabilité dans la performance des bioherbicides a été constatée, du fait de nombreux paramètres qui peuvent agir sur cette efficacité, comme le volume et la concentration appliqués, le stade et le type d'espèces ciblées et les conditions d'application.

Les bioherbicides ont tendance à être plus efficaces sur les dicotylédones que sur les graminées (Boydston, 2010). Avec de l'acide acétique concentré à 20% et appliqué à hauteur de 107 L ha⁻¹, les populations d'amarantes et de chénopodes communs sont diminués de 90% mais l'efficacité sur la sétaire et la digitale est faible (Brainard *et al.*, 2013). Le manque d'efficacité des bioherbicides sur les graminées à un stade précoce serait liée à la protection de la feuille par la gaine foliaire. L'efficacité de la maîtrise des adventices varie avec la concentration en acide acétique. Ivany (2010) a recherché les concentrations d'acide acétique les plus efficaces pour désherber en l'appliquant sur une bande 30 cm de largeur sur le rang des pommes de terre (tableau 8). La concentration doit être d'au moins 20% pour un contrôle acceptable du chénopode et de la renouée liseron. En moyenne sur 2 ans d'essai, l'acide acétique concentré à 20 %, 6 semaines après le traitement, permet de contrôler le chénopode à 86 % (*Chenopodium album*), la spargoute des champs à 96 % (*Spergula arvensis*), tandis que la renouée liseron (*Polygonum convolvulus*) était mieux contrôlée par l'acide acétique (93%) que la métribuzine (80 %). À une concentration de 10% d'acide acétique, le contrôle n'est plus que de 50%, 62% et 64%, pour le chénopode, la spargoute des champs et la renouée liseron, respectivement (tableau 8). Concernant l'acide citrique, son utilisation montre moins d'efficacité. Concentré à 10%, le contrôle des adventices n'est que de 70 % (Shehata *et al.*, 2018).

Tableau 8. Contrôle des adventices après application de différentes concentrations d'acide acétique (Ivany, 2010).

	Contrôle des adventices (%)									
	Phytotoxicité sur la pomme de terre		Chénopode		Spargoute des champs		Renouée liseron			
	Nombre de semaines après traitement									
	3	6	3	6	3	6	3	6		
Concentration en acide acétique (%)										
30	31	11	97	91	99	95	98	95		
20	23	9	95	86	95	96	97	93		
10	11	2	51	50	48	62	54	64		
Métribuzine	0	0	100	100	100	100	100	80		
Témoin non désherbé	0	0	0	0	0	0	0	0		

Chez la pomme de terre, l'application de l'acide acétique peut être réalisée en pré ou en post-émergence sur des adventices levées au stade cotylédon. Du point de vue des rendements, l'application en pré-levée d'acide acétique concentré à 20% et du mélange d'acide acétique-acide citrique (concentré à 10% et 5%, respectivement) a permis d'obtenir un rendement en tubercules similaire à un traitement utilisant de la métribuzine (Shehata *et al.*, 2018). Cependant, appliqué en post-levée, l'acide acétique fait chuter le rendement par rapport aux herbicides traditionnels, notamment en raison de problème de phytotoxicité (Ivany, 2010). Cette étude mentionne que plus les concentrations en acide acétique augmentent, plus les dégâts sur le feuillage sont importants. Les détériorations du feuillage de la pomme de terre étaient de 11% à la concentration de 10% et de 31% à la concentration de 30%, 3 semaines après le traitement. L'application séquentielle d'acide acétique à 10, 20 ou 30% avec 7 à 10 jours d'intervalle entre chaque pulvérisation, entraîne une diminution de 10 à 15 % du rendement comparativement à celui obtenu avec une seule application (Ivany, 2010). Enfin, du point de vue des conditions d'application, Brainard *et al.* (2013) rapportent que le contrôle de la moutarde brune par l'acide acétique est amélioré avec de fortes températures et une humidité relative élevée.

A retenir : L'utilisation des bioherbicides, notamment l'acide acétique, semble montrer un potentiel de désherbage prometteur, particulièrement sur les dicotylédones mais avec beaucoup moins d'efficacité sur les graminées. En France, cette molécule n'est pas autorisée en agriculture biologique.

Aujourd'hui homologué pour le défanage des pommes de terre, l'efficacité de l'acide pélargonique (spécialité BELOUKHA) a été recherchée à des fins exploratoires par la chambre d'agriculture du Nord Pas-de-Calais (CA NPDC) en tant qu'herbicide total. BELOUKHA a été appliqué en plein avec un volume de 12 l/ha, au tout début de la levée des pommes de terre, dans 2 stratégies utilisant du désherbage mécanique, soit avec 1 buttage (modalité 6) ou 2 buttages (modalités 7). Les résultats sont présentés dans la figure 4. Évaluée pendant 3 campagnes, l'efficacité des stratégies (6) et (7) s'est révélée proche du témoin de référence utilisant un désherbage classique en pré-levée (modalité 1) en 2017, mais l'efficacité a été moindre en 2015 et 2018.

À noter, la spécialité BELOUKHA à base d'acide pélargonique est très coûteuse. Pour une dose appliquée de 12 l/ha en plein, le coût du désherbage s'élève à 222 euros/ha.

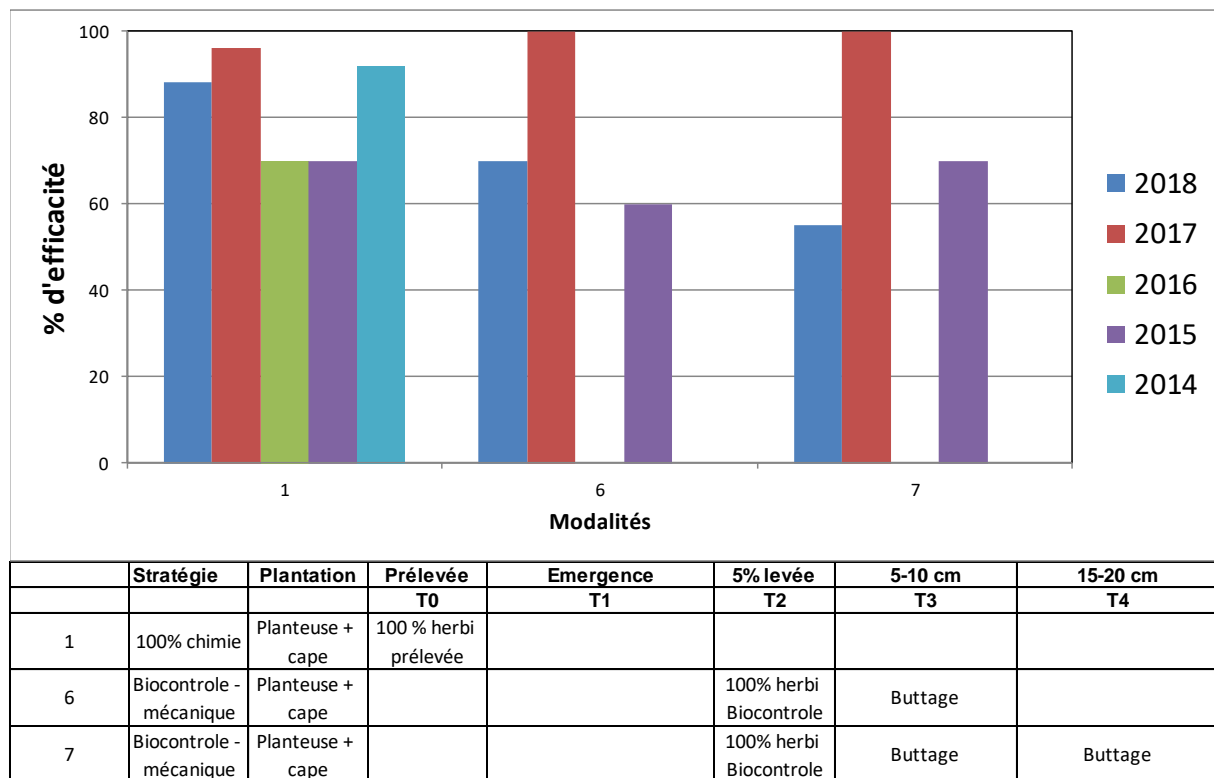


Figure 4. Efficacité de contrôle des adventices par l'acide pélagronique comparée à un désherbage standard (Chambre d'agriculture du Nord- Pas de Calais, 2019).

5. Les matériels de désherbage mécanique

Le matériel de désherbage mécanique en pomme de terre est essentiellement représenté par 2 outils, la herse étrille et le buttoir.

Herse étrille : Cet outil simple, constitué de dents montées sur un bâti, permet de ratisser ou d'extirper les adventices par l'action vibrante des dents. On distingue 2 types de herse étrille : les modèles d'ancienne génération à dent fixe et les nouveaux modèles type TREFFLER. Les dents sont indépendantes sur les modèles nouvelle génération, ce qui permet d'appliquer une même pression sur le sol, que ce soit dans le fond de l'inter-rang ou bien au sommet de la butte, dans le cas de la culture de la pomme de terre. Le contrôle de la profondeur de travail est également bien meilleur avec les herses nouvelle génération, ce qui est très important, nous le verrons plus tard, pour éviter d'endommager le système racinaire de la pomme de terre ce qui peut se traduire par des pertes de rendement. La herse étrille est principalement cantonnée à un passage en pré-levée de la pomme de la terre. On peut également recourir à la herse étrille en post-levée, mais le réglage devra être minutieux pour éviter d'endommager trop intensivement le feuillage de la pomme de terre. Les réglages s'opèrent sur l'inclinaison des dents, la profondeur et la vitesse de travail. L'agressivité de l'outil est obtenue en jouant sur l'inclinaison de la dent. Son principal avantage réside dans le débit de chantier, bien supérieur au buttoir. Très polyvalente, la herse étrille pourra être utilisée sur d'autres cultures.

Buttoir : L'action du buttoir permet de déchausser et de recouvrir les adventices. Comparativement à la herse étrille, cet outil permet d'intervenir à un stade avancé de la pomme de terre, jusqu'à 20-25 cm. Une attention particulière devra cependant être apportée au système racinaire lors de passage à un stade avancé de la pomme de terre pour éviter de sectionner ou d'arracher des stolons. Si différents types de buttoir existent sur le marché, des outils combinés sont disponibles aujourd'hui, sur lesquels on peut adapter diverses options pour désherber : sarclage des flancs de butte grâce à une patte d'oie (disponible chez AVR et GRIMME), raclage des flancs de buttes (AVR).

Le tableau 9 résume les périodes d'intervention des différents outils de désherbage pour la culture de la pomme de terre, le stade des adventices et des éléments plus techniques comme le débit de chantier et la vitesse de travail.

Tableau 9. Description, mode d'intervention sur la culture et des adventices, des principaux matériels de désherbage mécanique utilisés sur la pomme de terre.

	Herse étrille classique	Herse étrille TREFFLER	Buttoir classique	Buttoir AVR Ecoridger avec option raclage	Buttoir avec option sarclage	Désherbage thermique
Mode de fonctionnement	Travail par extirpation ou peignage à l'aide de dents	Travail par extirpation ou peignage, action des dents homogènes de l'inter-rang jusqu'au sommet de la butte permise par un travail indépendant de chaque dent	Déchaussement et recouvrement des adventices	Raclage des flancs de butte pour déchausser les adventices	Socs à ailettes sarclant le flanc de butte	Destruction par choc thermique
Période d'intervention sur la culture	De pré-levée à émergence puis de 5-10 cm à 25 cm avec davantage de prudence vis-à-vis de la culture	De pré-levée à émergence puis de 5-10 cm à 25 cm avec davantage de prudence vis-à-vis de la culture	Jusqu'à 20-25 cm	Jusqu'à 20-25 cm	Jusqu'à 20-25 cm	En pré-levée, permet un buttage définitif lors de la plantation
Réglage	Privilégier l'extirpation plutôt que le ratissage	En post-levée, privilégier l'extirpation avec orientation des dents à 45°, chercher à avoir une pression de travail égale entre le haut des buttes et l'inter-rang	Retirer les 2 dents extérieures travaillant le fond de l'inter-rang pour éviter d'endommager le système racinaire lors du dernier passage	Nécessite au préalable un calibrage identique de la butte		
Stade d'intervention sur les adventices	Fil blanc à 2 feuilles	Fil blanc à 2 feuilles	Adventices jusqu'au stade 2-4 feuilles	Adventices jusqu'au stade 2-4 feuilles. Moins d'efficacité sur certains types d'adventices	Adapté aux adventices développées > 2 feuilles (contrairement à l'option raclage)	Limité aux dycotylédones du stade cotylédon à 1ère feuille vraie
Débit de chantier (ha/h)	2-9 ha/h (9 mètres)	6.8 ha/h (9 mètres)	0.9-1.5 ha/h (4 rangs)	0.9-1.5 ha/h (4 rangs)	0.9-1.5 ha/h (4 rangs)	3-4 ha/h
Vitesse de travail (km/h)	8-10 km/h (en prélevée) - 4-5 km/h (post-levée)	8-10 km/h (en prélevée) - 4-5 km/h (post-levée)	8-10 km/h	8-10 km/h	8-10 km/h	2.5-5 km/h
Prix d'achat (neuf en euros)		13 000 euros (2 000 euros/ml)		15 à 25 000 euros en fonction des options	15 à 25 000 euros en fonction des options	35 000 euros

Illustrations de quelques matériels disponibles pour le désherbage mécanique de la pomme de terre :



Figure 5. Herse étrille ancienne génération. Ce modèle est encore très utilisé dans la culture de la pomme de terre biologique. Leur conception ne permet pas un réglage très précis de la profondeur de travail, le désherbage est plus difficile notamment dans le fond de l'inter-rang. Suite à son passage, le système racinaire de la pomme de terre peut être endommagé car la butte est fortement démontée.



Figure 6. Buttoirs traditionnels. Il faut veiller à ne pas endommager le système racinaire de la pomme de terre en retirant les 2 extérieures travaillant le fond de l'inter-rang lors des passages à un stade avancé de la pomme de terre.



Figure 7. Herse étrille TREFFLER. Ce type de herse étrille nouvelle génération est à privilégier, car chaque dent travaille indépendamment. Ceci permet d'épouser au mieux la forme des buttes, le travail étant uniforme à la fois au sommet de la butte mais aussi dans le fond de l'inter-rang.

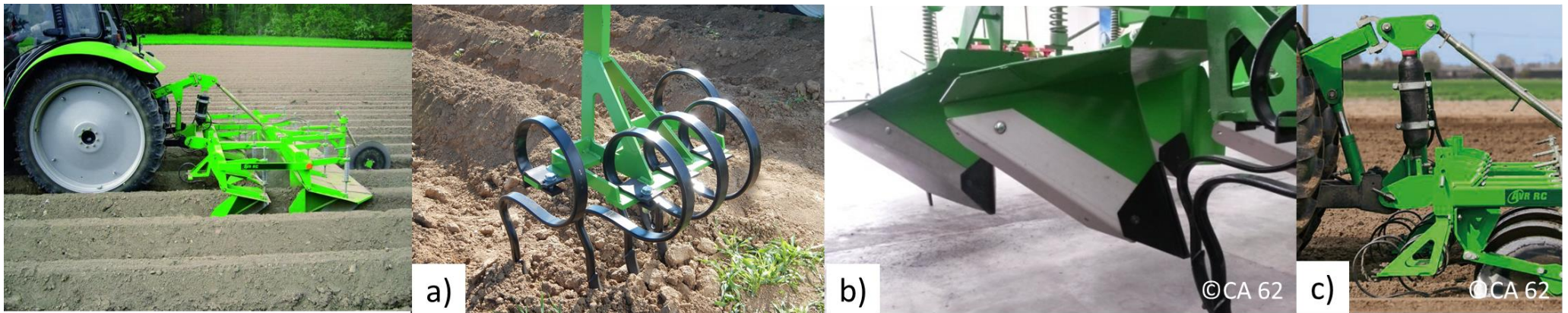


Figure 8. Buttoir AVR Ecoridger. Cet outil combine plusieurs options pour une efficacité du désherbage maximale : a) dents travaillant le fond de l'entre-rang, b) la forme spécifique des socs pousse la terre au niveau des flancs de butte pour déchausser les adventices, sans atteindre le système racinaire de la pomme de terre, c) le réglage du transfert de poids sur le châssis permet d'exercer une pression plus ou moins forte sur la butte. Les capes situées à l'arrière de l'outil reforment la butte.



Figure 9. Sarclage des flancs de butte. Des socs à ailettes permettent d'intervenir sur des adventices développées. Disponible chez a) AVR et b) Grimme.



Figure 10. Brûleur thermique. L'élimination des adventices est réalisée grâce au choc thermique engendré par la flamme. Encore peu pratiqué en raison de son coût élevé, le désherbage thermique doit être réalisé sur des adventices au stade cotylédon. Il permet d'intervenir sur une plantation avec un buttage définitif et est moins dépendant des conditions climatiques que les outils mécaniques. Il ne relance pas de nouvelles germinations. Les carburants utilisés sont généralement des gaz (butane ou propane) mais de nouvelles sources apparaissent aujourd'hui, certains agriculteurs utilisent par exemple de l'huile de colza.

6. Le désherbage 100% mécanique

Dans cette partie consacrée au désherbage opéré uniquement à l'aide de moyens mécaniques, nous nous appuierons tout particulièrement sur la conduite réalisée en agriculture biologique. Cette méthode consiste après plantation, à débiter et rebuter en alternant des passages de herse étrille et de buttoir. L'itinéraire proposé ici en conduite biologique est celui expérimenté et recommandé par les conseillers spécialisés en culture biologique de la pomme de terre de la Chambre d'Agriculture du Nord-Pas-de-Calais (figure 11).

À la plantation, il est d'abord nécessaire de placer les tubercules suffisamment en profondeur pour éviter leur détérioration par les passages de herse étrille. Le sommet du tubercule doit être placé à 2 cm sous le niveau du sol. Un premier passage à l'aveugle à la herse étrille est réalisé en pré-levée à une vitesse de 8-10 km/h sur des adventices au stade 2 feuilles maximum. Comme la herse étrille a démontée la butte et fait relever des adventices, un passage de buttoir est réalisé (travail des dents dans le fond de la butte et recouvrement des adventices sur les flancs). Un 3^{ème} passage est effectué avec la herse étrille en post-levée lorsque le feuillage de la pomme de terre a atteint 5-10 cm. Celui-ci peut se mettre en place jusqu'au stade 20-25 cm, mais il faut veiller à réduire l'agressivité des dents et la vitesse de travail à 4-5 km/h. Il convient de ne pas étriller entre les stades émergence et une végétation de 5-10 cm, car l'agressivité pour les tiges venant d'émerger est trop élevée. Enfin, un 4^{ème} passage s'effectue par l'intermédiaire d'un buttage lorsque la végétation a atteint 15-20 cm de hauteur. Un 5^{ème} passage facultatif peut être opéré juste avant que la moitié des rangs soient fermés, pour recouvrir et éviter le verdissement des tubercules. Dans ce cas, il faudra être très vigilant pour ne pas endommager le système racinaire de la pomme de terre (retirer alors les 2 dents extérieures travaillant le fond de l'inter-rang).

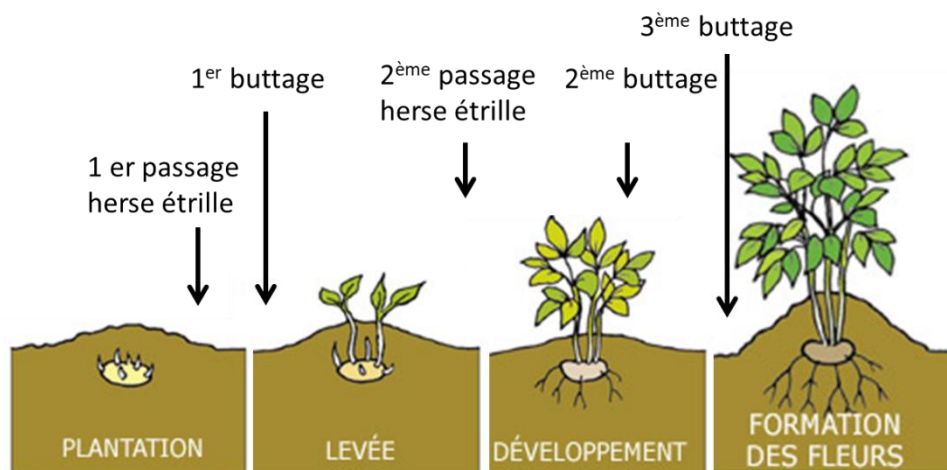


Figure 11. Itinéraire de désherbage de la pomme de terre biologique.

Un film de synthèse reprenant les différentes étapes de désherbage mentionnées précédemment a été réalisé par la Chambre d'Agriculture du NPDC. Il est disponible à l'adresse suivante : https://www.youtube.com/watch?v=b_ocrDF_oaM.

Si cet itinéraire de désherbage mécanique constitue une bonne base de travail, il faut cependant noter qu'il variera au cours des années, mais également en fonction des opérateurs. Une synthèse des pratiques de désherbage opérées chez 10 producteurs de pomme de terre biologique représentatifs de la grande Région Nord-Pas-de-Calais – Picardie, présentée dans le tableau 12, montre bien la variabilité des itinéraires de désherbage appliqués chez les agriculteurs (Bruyere, 2011).

Tableau 12. Synthèse des pratiques de désherbage réalisées chez les producteurs de pomme de terre biologique en région NPDC-Picardie (Bruyere, 2011).

Interventions mécaniques	1er buttage	2ème buttage	3ème buttage	4ème buttage	1er passage Herse étrille	2ème passage Herse étrille
% des cas observés	100%	100%	55%	11%	78%	22%
Nombre moyen de jours après plantation	25	39 si un 3ème buttage suit sinon 51	56	64	28 si une seconde intervention est réalisée sinon 38	37.5

Cette synthèse analyse la fréquence d'utilisation des outils de désherbage mécanique dans l'itinéraire de la pomme de terre. Un premier constat est que les $\frac{3}{4}$ des producteurs réalisent au moins un passage de herse étrille. La herse étrille, outil agressif sur le feuillage, reste principalement cantonnée à une utilisation en pré-levée (28 jours après plantation). Cette agressivité explique certainement que seulement 22% des producteurs l'utilisent une seconde fois. Pour le cas du buttage, tous les agriculteurs pratiquent au moins 2 passages. Près de la moitié des producteurs (55%) réalisent un troisième buttage. Un 4^{ème} passage de buttoir, intervenant tardivement et juste avant fermeture des rangs (64 jours après plantation), est peu pratiqué (11% des producteurs), en raison des dégâts qui peuvent être engendrés sur le système racinaire et aboutir à des pertes de rendement. À noter, lorsque le nombre d'interventions mécaniques est minimisé, par exemple dans le cas d'un seul passage à la herse étrille ou de seulement 2 passages de buttoir, les producteurs interviennent toujours plus tardivement que les autres pour cette intervention.

Des essais menés de 2006 à 2012 par la FREDON et la Chambre d'agriculture du Nord-Pas-de-Calais (CA NPDC), ont cherché à estimer l'impact de stratégie de désherbage tout mécanique sur la productivité. Les rendements mesurés figurent dans le tableau 13 et sont comparés à une stratégie 100% chimique. Les outils utilisés étaient des herse étrilles de première génération associées à du buttage. Au niveau de cet essai pluriannuel, les rendements ont été réduits en moyenne d'environ 10 % dans la stratégie mécanique. Divers enseignements sont tirés de cet essai. **D'abord, la chute de rendement est principalement attribuée aux interventions mécaniques en raison des dégâts causés au système racinaire et au feuillage de la pomme de terre. Ainsi, il est conseillé de ne pas étriller entre la pré-**

émergence des tiges et le stade 10 cm : l’outil peut avoir un impact négatif sur les jeunes tiges. Un autre enseignement de cet essai est que les interventions mécaniques sont moins préjudiciables sur des rangs de plantation distants de 90 cm que sur une plantation de 75 cm car les outils atteignent moins le système racinaire. De plus, les dégâts sur le feuillage engendrés par les outils peuvent être également source d’autres problèmes importants, constituant notamment des portes d’entrée pour les maladies comme le mildiou. La phase d’apprentissage de l’utilisation de ce type de matériel pour l’utilisateur novice est aussi responsable en partie de la perte de rendement (Rouselle, 2019).

Tableau 13. Comparaison pluriannuelle de 2 stratégies de désherbage sur le rendement (Chambre d’agriculture du Nord- Pas de Calais, 2019)

Conditions du printemps	Normales				Sèches	Humides	Moyenne	Humides avec des plages de travail
	2006	2007	2009	2010	2011	2012		2013
Rendement net des programmes testés								
100% chimique	41.7	48.8	45.3	41.5	69.2	31.3		45.1
100% mécanique	38.9	37.6	39.4	48.2	66.4	23.3		43.2
Comparaison des programmes								
100% mécanique/ 100% chimique	-6.7	-23.0	-13.0	16.1	-4.0	-25.6	-9.4	-4.2

Aujourd’hui, les matériels de désherbage mécanique ont évolué permettant des réglages plus fins. Par exemple, les herse étrille de nouvelle génération (type TREFFLER) sont à privilégier car elles permettent de travailler uniformément dans l’inter-rang et sur le haut de la butte. Cette évolution des agro-équipements vise à réduire l’impact négatif des outils mécaniques sur les rendements, afin de s’approcher davantage de la productivité observée dans les stratégies 100% chimique.

Ainsi, d’autres stratégies de désherbage mécanique se dessinent aujourd’hui, en lien avec l’apparition de matériel spécifique. Des essais sont réalisés depuis 2014 par la Chambre du NPDC avec une utilisation exclusive du buttoir AVR Ecoridger pour désherber (figure 8). Les résultats pluriannuels en terme de gestion des adventices avec ce type d’outil sont présentés dans la figure 10 (modalité 5). Ils sont comparés à une modalité standard où les adventices sont contrôlés avec des herbicides (modalité 1). Les résultats montrent, avec 3 passages de buttoir, une maîtrise efficace et équivalente à des moyens chimiques en année sèche (2017), mais un contrôle moyen lors des années plus humides, avec une efficacité mesurée aux alentours de 60-70 %. **Les auteurs de l’étude soulignent que l’efficacité des interventions mécaniques sur les adventices est fortement dépendante des conditions pédoclimatiques de l’année qui offre ou non des fenêtres météorologiques favorables aux interventions. Il faut donc intervenir en conditions sèches et sur des adventices le moins développées possible, à un stade de 2 feuilles maximum, pour obtenir une efficacité maximale.**

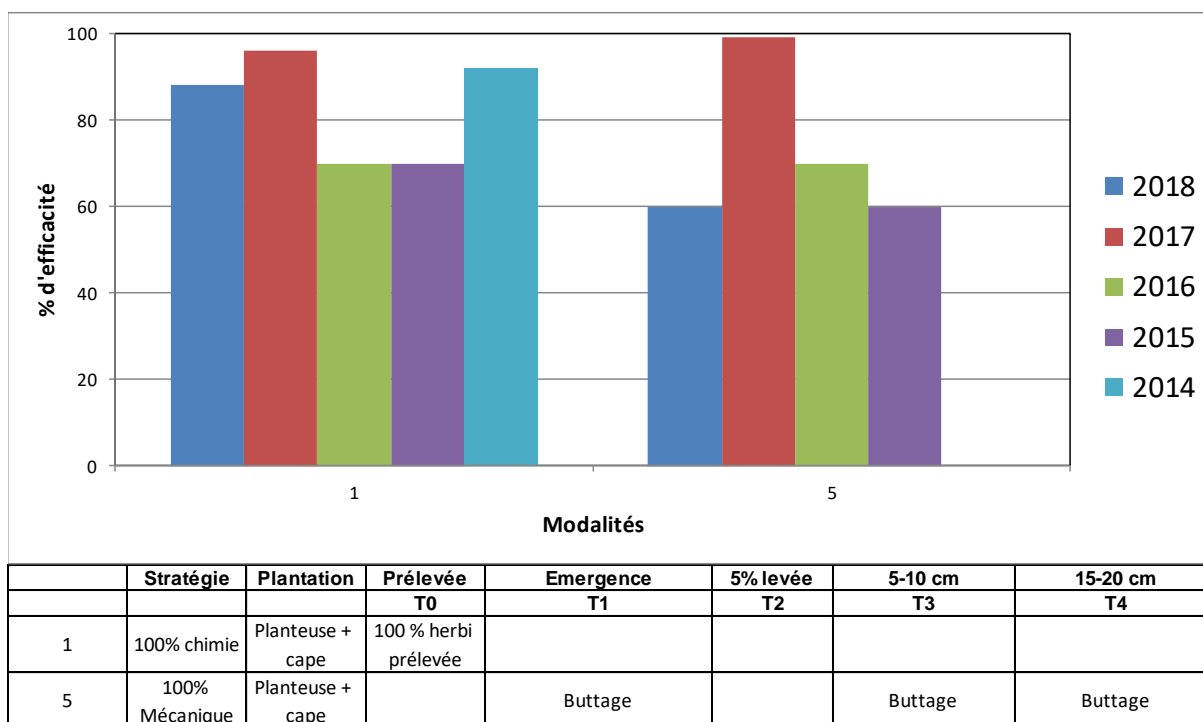


Figure 10. Efficacité du désherbage dans la stratégie 100% chimique et 100% mécanique (Chambre d'agriculture du Nord- Pas de Calais, 2019).

Dès lors en printemps humides, 4 à 5 interventions seront nécessaires pour contrôler les adventices (2 étrillages et 3 buttages) tandis qu'en année sèche, elles pourront se limiter à 3 (1 étrillage et 2 buttages). Dans une expérimentation réalisée en Pologne (Kołodziejczyk *et al.*, 2017), les auteurs rapportent qu'un désherbage mécanique constitué par 3 passages de herse étrille-buttage avant émergence, suivie par 2 buttages après émergence des pommes de terre, procure un contrôle insuffisant des adventices lors des années au printemps humide, une diminution de seulement 33% de la biomasse des adventices étant effectué par rapport à un témoin non désherbé. Cette étude confirme les résultats obtenus par la CA NPDC.

L'efficacité du désherbage mécanique a aussi été testée sur la réduction des adventices en production biologique de pomme de terre dans le centre de l'Italie (Mirabelli *et al.*, 2005). Le désherbage est pratiqué à l'aide d'une bineuse, alterné avec du buttage. La flore est essentiellement représentée par du chénopode et de l'amarante. En moyenne, le désherbage mécanique réduit de 75% la densité des adventices comparativement à une modalité sans contrôle des adventices. L'efficacité du désherbage mécanique est meilleure sur le chénopode (67%) que chez l'amarante (37%), comparativement au contrôle non désherbé (figure 11). La combinaison 1 binage- 1 buttage aboutit à une réduction plus efficace de la biomasse des adventices (65%) contre seulement 45 % pour 1 binage.

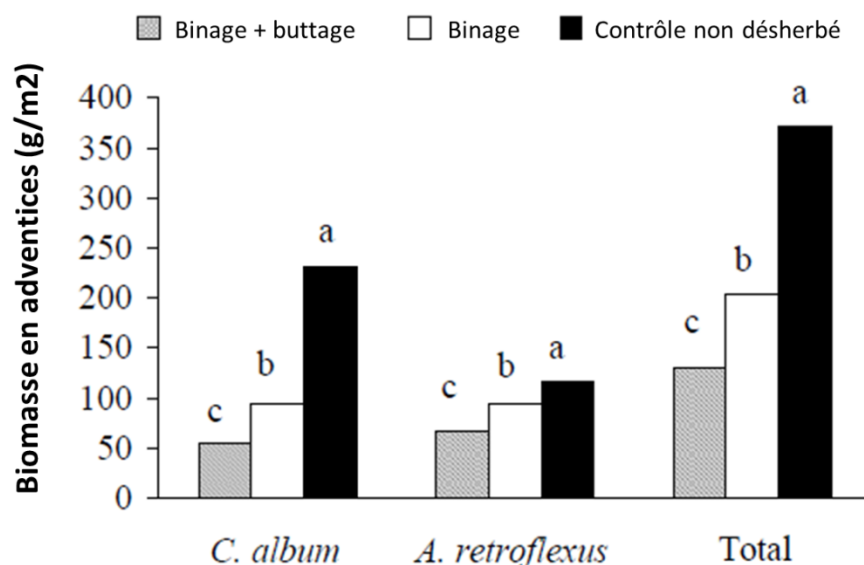


Figure 11. Effet des stratégies de désherbage mécanique sur la biomasse des 2 espèces d’adventices dominantes, à la récolte de la pomme de terre. Des lettres différentes indiquent une différence significative (Mirabelli *et al.*, 2005).

Le rendement dans la modalité utilisant un seul binage est de 24.2 t ha⁻¹ et celui de la combinaison 1 binage-1 buttage est de 27 t ha⁻¹. Le témoin exempt d’adventices grâce au désherbage manuel présente un rendement de 30 t ha⁻¹, ce qui montre bien l’effet négatif des adventices sur la productivité.

Une étude menée pendant 3 ans dans l’Oregon aux États-Unis, sur pommes de terre irriguées, a comparé l’efficacité de contrôle des adventices d’un buttage combiné à un ou deux passages de roto-étrille, par rapport à un témoin standard utilisant des herbicides de pré-levée après buttage (Eberlein *et al.*, 1997). Les résultats présentés dans le tableau 12 montrent que l’efficacité du désherbage mécanique varie avec la pression en adventices.

Tableau 12. Biomasse en adventices retrouvées en fin de saison végétative de la pomme de terre dans chaque stratégie de désherbage, lors des 3 années d’étude (Eberlein *et al.*, 1997).

Traitement	Biomasse sèche en adventices (g/m²)		
	1993	1994	1995
Buttage	86 a	766 a	251 a
Buttage + 1 passage de roto-étrille	0.9 b	536 ab	4 b
Buttage + 2 passages de roto-étrille	1.4 b	301 b	2 b
Buttage + désherbage en pré-levée (Pendiméthaline 0.84 kg/ha + Métribuzine 0.43 kg/ha)	0.8 b	6 c	2 b

Le traitement avec un buttage suivi d’un désherbage mécanique procure un excellent contrôle des adventices en 1993 et 1995, lorsque les populations d’adventices demeurent faibles (pression inférieure à 45 plantes/m²). Les populations sont réduites de 98 à 99%

comparativement à un témoin non désherbé. Un second passage de roto-étrille n'apporte pas de différence significative. Cependant en 1995, lors d'une forte infestation d'adventices (pression supérieure à 145 plantes/m²), les populations ne sont plus réduites que de 30% et 61% dans les modalités avec un passage ou deux passages de roto-étrille, respectivement. **On remarque également que plus les interventions mécaniques sont nombreuses, plus la biomasse en adventices est diminuée.** En conséquence, au niveau de la productivité, les rendements sont diminués quand la pression des adventices est forte, de 13 à 35% par rapport au traitement avec herbicides, et demeurent équivalents lorsque la pression en adventices est faible.

A retenir : L'efficacité des interventions mécaniques est liée aux conditions climatiques du printemps, au nombre de passages réalisés ainsi qu'à la densité et au type d'adventices rencontrées.

6.1. Quand et comment intervenir en mécanique ?

Les opérations de désherbage mécanique requièrent des conditions d'intervention précises qu'on l'on doit approcher au maximum pour être le plus efficace possible :

- **Intervenir en conditions sèches et avoir conscience que l'efficacité des opérations mécaniques est très dépendante des conditions climatiques (il faudra s'attendre à une moins bonne maîtrise des adventices en année humide)**
- **Intervenir sur des adventices les moins développées possible, idéalement entre les stades fil blanc-cotylédon et 2 feuilles maximum**
- **Après les interventions mécaniques, 2 à 3 jours de temps sec sont nécessaires pour dessécher correctement les adventices, pour éviter les phénomènes de repiquage**
- **Une bonne connaissance de l'outil est nécessaire pour régler de manière optimale ce dernier afin de limiter les dégâts sur le feuillage ou la tubérisation: démonter le moins possible la butte avec la herse étrille pour éviter une atteinte au système racinaire, ne pas étriller à partir du début de l'émergence jusqu'au stade 5-10 cm pour éviter d'endommager les jeunes tiges de la pomme de terre, retirer les 2 dents extérieures travaillant le fond de l'inter-rang sur les buttoirs pour éviter de sectionner le système racinaire surtout lors des interventions à un stade avancé (20-25 cm).**

A noter que les démontages/rebuttages successifs de la butte peuvent assécher le sol et entraîner un stress hydrique chez la pomme de terre. Les alternances étrillage/buttage pourrait également favoriser l'apparition de la galle en favorisant l'oxygénation de la butte.

Un suivi rigoureux de ces différents éléments met en avant 2 points importants : la capacité pour l'agriculteur à intervenir parfois sur des fenêtres très courtes de l'ordre de quelques heures et également le fait de disposer du personnel nécessaire pour pouvoir

intervenir. Enfin, d'autres points n'ont pas été abordés dans cette partie consacrée au désherbage mécanique. Il s'agit notamment de l'impact répété des opérations de désherbage mécanique en termes de compaction du sol. Difficilement quantifiable, l'impact de ce facteur sur la productivité reste peu étudié et mériterait d'être recherché.

7. Le désherbage mixte

Le désherbage mixte, associant la chimie et des moyens mécaniques, constitue un premier pas vers une réduction de l'utilisation des herbicides pour les conduites conventionnelles. D'après l'enquête SSP 2014, 6% des agriculteurs combinent la chimie et les outils mécaniques pour désherber leurs cultures de pomme de terre. Deux stratégies sont identifiées en termes de désherbage mixte : la première consiste à réduire la surface pulvérisée (désherbage localisé) tandis que la seconde s'attachera d'abord à utiliser des moyens mécaniques pour désherber, pour ensuite recourir à des moyens chimiques en rattrapage.

7.1. Le désherbage mixte avec localisation des herbicides

7.1.1. Le désherbage en bandes au Québec

Le désherbage localisé sur le rang de la pomme de terre est appelé désherbage en bande au Canada. L'application d'herbicide en bandes a été travaillée par le syndicat des producteurs de pomme de terre de la région du Québec. La localisation de l'herbicide permet de désherber chimiquement le sommet de la butte alors que l'inter-rang et les flancs de la butte sont travaillés mécaniquement. **L'application des herbicides n'ayant lieu que sur 30% de la surface, les volumes appliqués sont en conséquence diminués d'environ 2/3.**

L'herbicide peut être positionné à 2 périodes : directement à la plantation ou plus tard dans le cas d'un buttage retardé. Cette stratégie nécessite également une modification des équipements. Des buses doivent être installées soit à l'arrière de la planteuse dans le cas d'un buttage à la plantation, ou bien à l'arrière d'un buttoir ou d'un autre outil de désherbage pour un traitement en post-levée. 1 seule buse est suffisante mais elles peuvent être au nombre de 3 si on envisage de pulvériser également les flancs de la butte (1 buse pour le sommet de la butte et 2 buses pour chaque flanc). Une cuve contenant la bouillie doit également être utilisée, placé généralement sur le relevage avant du tracteur.

Dans une expérimentation réalisée au Québec, différentes stratégies de désherbage mixte ont été évaluées sur la ferme Deschambault (Gosselin *et al.*, 2003) :

- Modalité témoin: pas de contrôle des adventices
- Traitement conventionnel : application sur toute la superficie à pleine dose en pré-levée (linuron 3,0 l/ha Afolan 480 EC)
- Traitement plantation à 1 buse : herbicide de pré-levée (linuron 3,0 l/ha Afolan 480 EC) localisé à la plantation à l'aide d'une buse installée sur les unités de plantation et à pleine dose.
- Traitement plantation à 3 buses : herbicide de pré-levée (linuron 3,0 l/ha Afolan 480 EC) localisé à la plantation à l'aide de 3 buses installées sur les unités de plantation et à pleine dose.

- Traitement post-levée + sarclage : herbicide de post-levée (métribuzine 0,9 kg/ha Lexone) localisé sur le rang à pleine dose lors du désherbage mécanique de l'inter-rang

Tableau 13. Pourcentage de suppression des adventices mesuré sur le site de la ferme Deschambault (Gosselin *et al.*, 2003).

Traitement		Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3	Répétition 4	Moyenne
Témoin	Graminées	0	0	0	0	0
	Dicotylédones	0	0	0	0	0
Conventionnel	Graminées	98	98	100	100	99
	Dicotylédones	98	100	100	100	99.5
Plantation 1 buse	Graminées	40	90	60	80	67.5
	Dicotylédones	90	98	100	40	82
Plantation 3 buses	Graminées	0	0	0	60	15
	Dicotylédones	100	80	0	80	65
Post-levée + sarclage	Graminées	98	98	100	60	89
	Dicotylédones	98	100	100	100	99.5

Les résultats des différentes stratégies en termes d'efficacité sur les adventices figurent dans le tableau 13. Nous avons décidé de présenter les résultats pour chaque répétition afin d'observer les variabilités qui peuvent exister entre chaque parcelle. Les principales conclusions retenues sont une moindre efficacité du désherbage localisé lorsque celui-ci est réalisé à la plantation, à la fois dans la stratégie utilisant 1 ou 3 buses. Les auteurs attribuent ces résultats à un orage survenu juste après la plantation, qui aurait diminué la qualité de la pulvérisation. À noter, les désherbages localisés montrent beaucoup moins d'efficacité notamment sur les graminées, le contrôle de ces dernières n'étant que de 15% dans la modalité utilisant 3 buses et de 67% dans celle utilisant 1 buse. Dans les conditions pédoclimatiques du site étudié, les auteurs rapportent une très bonne efficacité du désherbage mécanique dans l'inter-rang, associé avec un désherbage localisé sur le haut de la butte après levée des pommes de terre. L'efficacité de cette combinaison est quasiment similaire au traitement conventionnel, c'est-à-dire à un désherbage en plein sur toute la surface (tableau 13).

7.1.2. Le désherbage en bandes aux Etats-Unis

Bellinder *et al.* (2000) ont conduit une expérimentation afin de comparer les effets de l'application en bande d'herbicides combinée avec différents types d'outils de désherbage mécanique : herse étrille, houe rotative et bineuse. Le buttage est réalisé tardivement, juste avant la fermeture de la canopée, soit de 47 à 53 jours après la plantation, ce qui est la pratique courante dans cette région des Etats-Unis où se déroule l'étude. Le désherbage mécanique intervient donc avant le buttage, la première fois de 10 à 17 jours après plantation et la seconde de 21 à 36 jours après emblavement. Les herbicides sont pulvérisés sur une largeur de 25 cm au niveau du rang de la pomme de terre (metolachlor et linuron 1.68 kg/ha chacun), entre les 2 passages de désherbage mécanique. Les principales adventices retrouvées sont le chénopode, l'amarante et la sétaire.

Tableau 14. Densités d'adventices relevées sur le rang et dans l'entre-rang dans chaque stratégie de désherbage lors des 3 années de l'expérimentation (Bellinder *et al.*, 2000).

Traitement	Positionnement de l'herbicide	Densité en adventices (No/m ²)					
		1995		1996		1997	
		Rang	Inter-rang	Rang	Inter-rang	Rang	Inter-rang
Standard avec herbicide	En plein	0	1	0	0	13	13
Standard avec herbicide	Localisé	5	70*	4	47*	14	55
Herse étrille à dents plates	Localisé	7	26	1	39*	30	115
Herse étrille à dents courbées	Localisé	5	54*	2	32	63	132*
Bineuse	Localisé	11	66*	6	109*	44	266*
Houe rotative	Localisé	5	43	14	153*	77	272*
Herse étrille à dents courbées+ bineuse	Localisé	2	27	12	81*	40	253*

Lastérisque (*) indique une différence significativement plus grande comparativement au traitement avec herbicide en plein.

Les résultats présentés dans le tableau 14 mettent en avant que l'application des herbicides sur le rang est un facteur plus important que le type d'outil utilisé dans le contrôle des adventices. Quel que soit l'outil utilisé, il n'y a jamais de différence significative en termes de densité d'adventices, sur le rang, par rapport au traitement avec herbicide en plein, même si les densités s'avèrent légèrement supérieures. Bien que l'on affirme que la herse étrille contrôle mieux les adventices sur le rang, une meilleure performance de cet outil sur le rang n'est pas relevée. Toute fois des différences significatives sont observées dans l'entre-rang entre traitement avec outil mécanique et désherbage chimique en plein, sans pouvoir affirmer qu'un outil est plus efficace qu'un autre. Les auteurs ne rapportent pas de différence du point de vue des rendements entre les modalités étudiées et concluent que la combinaison de la localisation de l'herbicide avec du désherbage mécanique constitue une bonne stratégie pour réduire les herbicides sans prendre trop de risque sur le rendement.

7.1.3. Expérimentations de la Chambre d'agriculture du Nord-Pas-de-Calais

La chambre d'agriculture du Nord-Pas-de-Calais (CA NPDC) a aussi travaillé la technique du désherbage localisé afin de reproduire la technique du désherbinage utilisée en maïs. Évaluées sur la période 2014-2018, ces expérimentations se sont surtout attachées à quantifier l'efficacité de suppression des adventices dans chaque stratégie abordée.

Différents protocoles ont été testés, ils sont présentés au sein de la figure 15. Les stratégies de désherbage mixte (modalités 2, 3 et 4) consistaient à désherber chimiquement le haut de la butte et à intervenir mécaniquement dans l'entre-rang et au niveau des flancs de butte, avant ou après levée des pommes de terre. Les modalités varient entre elles de par le nombre d'application de l'herbicide et le nombre de buttages. L'outil utilisé a été un buttoir spécifique AVR Ecoridger permettant un raclage des flancs de butte. Un système de pulvérisation a été adapté sur le buttoir afin de localiser les herbicides (figure 14).



Figure 14. Dispositif de localisation de la pulvérisation placé sur le buttoir (Chambre d'agriculture du Nord- Pas de Calais, 2016).

Les résultats présentés sur la figure 15, montrent que la maîtrise des adventices est très variable en fonction des années. Cette variabilité est en lien avec les conditions climatiques.

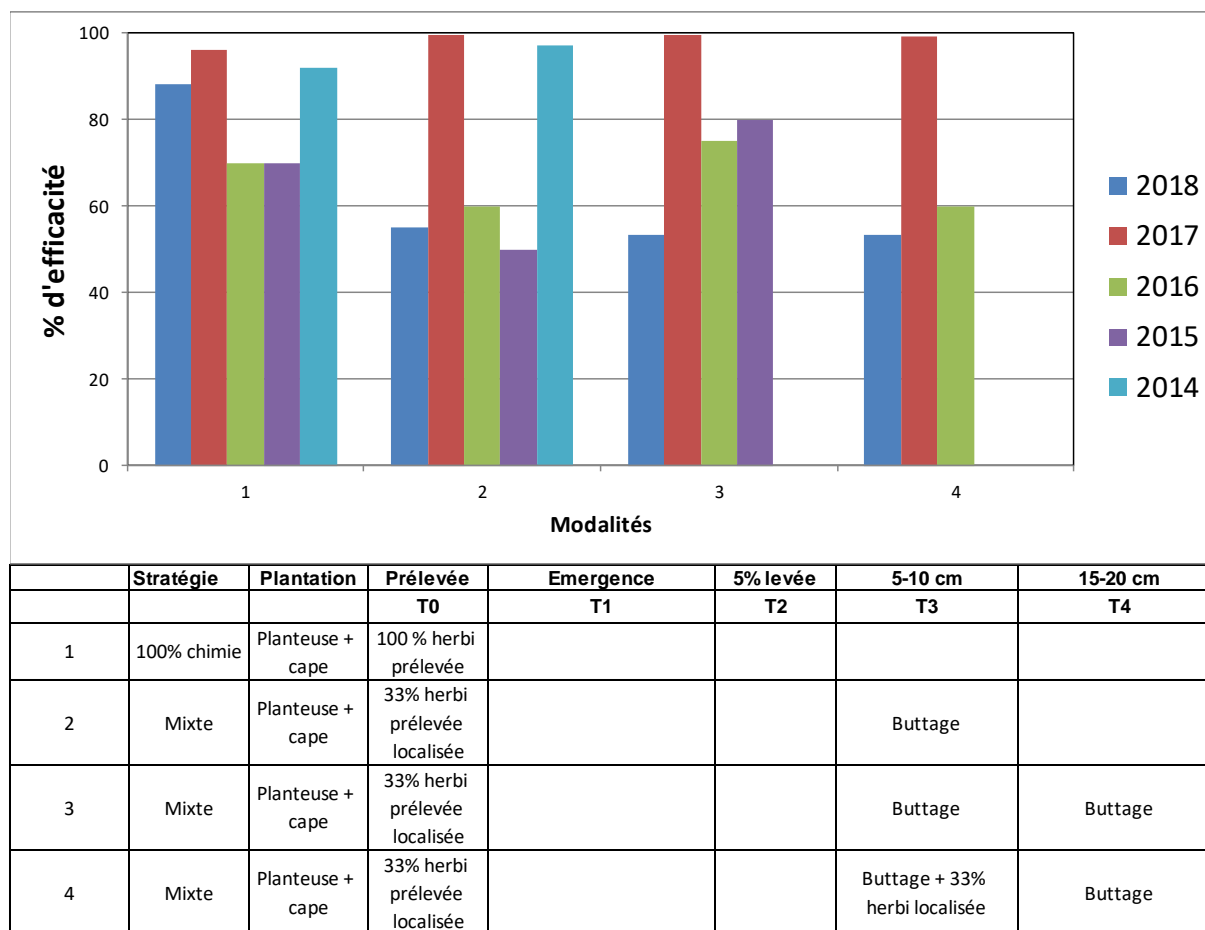


Figure 15. Efficacité de différentes stratégies de désherbage 100% chimique ou mixtes (Chambre d'agriculture du Nord- Pas de Calais, 2019).

Lors des années sèches (2017), le contrôle des adventices via les stratégies mixtes (2, 3 et 4) est très bon, proche de 100% et équivalent à un traitement en pré-levée (1). Cependant, la suppression des adventices s'avère médiocre lors des années humides (2016 et 2018), le contrôle des adventices étant compris entre 40 et 60% dans ces stratégies mixtes. La stratégie

(3) mettant en place un deuxième buttage après la localisation de l'herbicide en pré-levée permet d'améliorer les résultats comparativement à un seul passage de buttoir réalisé dans la stratégie (2). Une deuxième localisation des herbicides lors du premier passage de buttoir (4) ne semble pas améliorer les résultats. Du point de vue des expérimentateurs, **l'efficacité du buttoir est maximale quand l'intervention est réalisée en conditions sèches et sur des adventices peu développées, dont le stade est compris entre cotylédons et 2 feuilles au maximum.**

Dans le tableau 15, pour l'année 2015, nous présentons des résultats davantage détaillées quant à l'efficacité de chaque stratégie mixte (modalités 2, 3 et 4) sur le cortège floristique. Les coûts économiques partiels de ces stratégies sont aussi comparés à une stratégie standard (1). L'essai a été réalisé sur une parcelle à forte infestation de renouées liserons et chénopodes. **Le principal enseignement tiré de l'essai de 2015, est que l'efficacité des interventions mécaniques réalisées avec le buttoir AVR, peut être limitée sur certaines adventices, notamment ici la renouée liseron. En raison de son système racinaire pivotant, son déchaussement par le buttoir est plus difficile.** Du point de vue économique, les coûts de désherbage diminuent de moitié avec la localisation des herbicides, quand le coût des passages mécaniques n'est pas pris en compte. Dans le tableau 15, nous avons associé d'autres résultats obtenus en 2013, afin de présenter une référence en termes d'IFT. À titre d'information, d'autres stratégies sont présentées, comme du désherbage 100% mécanique ou utilisant des produits de biocontrôle. **Du point de vue des résultats au niveau de l'IFT herbicide, il peut être considérablement réduit, en général aux alentours de deux tiers, par les solutions de désherbage localisé.**

Tableau 15. Efficacité et coût de différentes stratégies de désherbage chez la pomme de terre mesurés en 2013 et 2015 (Chambre d'agriculture du Nord- Pas de Calais, 2016).

Modalités	Stratégie de désherbage	Programme de désherbage	Nombre de passage à la herse étrille	Nombre de passage au buttoir (3)	Coût/ha du désherbage	IFT	Efficacité du désherbage par rapport au témoin (16 Juin)					(15 Sept)	Rendement		
							Renouée Liseron	Chénopode	Arroche	Morelle	Fumeterre	Efficacité globale		Efficacité globale	
2015	1	Standard	DEFI 3l/ha + Centium 36CS 0,25l/ha + Bretteur 0,15l/ha			74		71%	88%	100%	100%	100%	92%	70	
	2	Localisé	DEFI 3l/ha + CHALLENGE 600 2l/ha + CENTIUM 36CS 0,2l/ha			36		81%	81%	62%	100%	100%	85%	50	
	3	Localisé + mécanique	DEFI 3l/ha + CHALLENGE 600 2l/ha + CENTIUM 36CS 0,2l/ha		1	36 (1)		71%	78%	42%	81%	75%	69%	50	
	4	Localisé + mécanique	DEFI 3l/ha + CHALLENGE 600 2l/ha + CENTIUM 36CS 0,2l/ha		2	36 (1)		76%	84%	81%	81%	100%	84%	80	
	5	100% Mécanique			2			76%	84%	75%	62%	100%	79%	40	
	6	Biocontrôle + mécanique	BELOUKHA 12 l/ha		1	222 (1)		85%	88%	100%	100%	75%	90%	60	
	7	Biocontrôle + mécanique	BELOUKHA 12 l/ha		2	222 (1)		78%	100%	81%	100%	100%	92%	80	
2013		Standard	DEFI 2,5l/ha + CHALLENGE 600 2l/ha + CENTIUM 36CS 0,2l/ha			100	1.6								45 t/ha
		Localisé	DEFI 2,5l/ha + CHALLENGE 600 2l/ha + CENTIUM 36CS 0,2l/ha			27 (2)	0.5								45 t/ha
		Mixte (herbicide en rattrapage)	Elden 40 gr/ha + Trend 0,2l/ha	1	1	134 (46 chimie + 98 méca)	0.7								42.1 t/ha
		100% Mécanique		1	2	157	0								43.2 t/ha

(1) Hors coût du passage mécanique

(2) Hors coût d'investissement dans le matériel de désherbage localisé

(3) Buttoir AVR ECORIDGER

7.2. Le désherbage mixte sans localisation

7.2.1. Désherber mécaniquement après un échec du désherbage en pré-levée

Lors des années sèches, les agriculteurs voient l'efficacité des applications en pré-levée fortement réduites. Au lieu d'utiliser des solutions chimiques en post-levée, peu nombreuses, et dont l'efficacité est assez aléatoire si les adventices sont trop développées ou bien si les conditions restent limitantes, une autre stratégie est d'intervenir mécaniquement. En 2017, confrontée à ce cas de figure, la Chambre d'agriculture du NPDC a recherché l'efficacité d'autres solutions alternatives. Ainsi, différentes stratégies ont été évaluées en post-levée, avec un ou plusieurs passages en mécanique associés ou non à une ou deux localisations d'herbicide (tableau 16). L'outil mis en œuvre pour les interventions mécaniques reste un buttoir AVR Ecoridger.

Tableau 16. Efficacité des stratégies de désherbage mises en œuvre en 2017 en post-levée (Chambre d'agriculture du Nord- Pas de Calais, 2018).

Modalités	Prélevée 10 Mai	1% levée 18 mai	Pdt 15 cm stade cotylédons des adventices 29 mai	Pdt stade début floraison 12 juin	Efficacité	
					Haut de la butte	Flancs de la butte
2017	1	Désherbage de pré-levée 100 % de la surface			100%	77%
	2	Travail mécanique + application d'herbicide de prélevée localisée (1)	Travail mécanique entre rangs		100%	100%
	3	Travail mécanique + application d'herbicide de prélevée localisée (1)	Travail mécanique entre rangs	Travail mécanique entre rangs	100%	100%
	4	Travail mécanique + application d'herbicide de prélevée localisée (1)	Travail mécanique entre rang + post-levée localisée (2)	Travail mécanique entre rangs	100%	100%
	5		Travail mécanique entre rangs	Travail mécanique entre rangs	100%	100%
	6		Travail mécanique entre rang + post-levée localisée (3)	Travail mécanique entre rang + post-levée localisée (3)	100%	100%
	7		Travail mécanique entre rang + post-levée localisée (2)	Travail mécanique entre rangs	100%	97%

(1) CHALLENGE 600 2 + CENTIUM 36CS 0,25 + SENCORAL SC 0,3

(2) ELDEN 40g + 0,2 TREND + SENCORAL SC 0,1

(3) ELDEN 30g + 0,2 TREND + SENCORAL SC 0,1

La modalité standard (1) utilisant des herbicides en pré-levée avec buttage à la plantation s'est montrée peu efficace sur les flancs de butte où l'efficacité sur les adventices était de 77%. Les

modalités combinant localisation d'herbicide de post-levée et désherbage mécanique (4, 6 et 7) ou celles intégrant strictement du désherbage mécanique après levée des pommes de terre (2, 3 et 5) se sont révélées quant à elles très efficaces. L'efficacité est surtout attribuée au désherbage mécanique, et non pas aux herbicides de post-levée. Un autre essai réalisé la même année a simulé un échec du désherbage de pré-levée (application du programme de pré-levée au tiers de la dose), afin de tester l'efficacité des programmes de post-levée sans recours aux outils de désherbage mécanique. Les conditions climatiques étaient défavorables aux traitements et le stade des adventices allait de 2 à 4 feuilles. La flore de la parcelle était représentée par du chénopode ($4/m^2$), de la morelle ($4.9/m^2$), de la fumeterre ($1.3/m^2$), de la renouée liseron ($3.1/m^2$) et des oiseaux ($1.6/m^2$) ainsi que de la mercuriale ($1.3/m^2$). Les programmes de post-levée sans désherbage mécanique se sont révélés peu efficaces (tableau 17). À l'échelle de la parcelle, les notes d'efficacité moyennes étaient comprises entre 2.3 et 3.7, sur une échelle de 0 à 10.

Tableau 17. Description et efficacité des programmes de post-levée après un échec du désherbage de pré-levée (Chambre d'agriculture du Nord- Pas de Calais, 2018).

Programme	Première intervention - Pomme de terre levée 5cm	Seconde intervention	Efficacité (0 à 10)
1	TNT	TNT	2.3
2	Elden 40gr + Trend 0.2l + Sencoral 0.2l		3
3	Elden 30 gr + Trend 0.2l + Sencoral 0.1l	Elden 30gr + Trend 0.2l + Sencoral 0.2l	3.7
4	Sencoral 0.2l		3.3

A retenir : L'introduction des solutions de désherbage mécanique peut donc constituer une réponse pertinente dans les situations où la stratégie de pré-levée a été mise en échec, mais seulement si les conditions météorologiques qui suivent permettent les interventions mécaniques afin d'obtenir une bonne efficacité sur les adventices.

7.2.2. Expérimentations DEPHY EXPE

À l'inverse de ce qui a été présenté précédemment, une stratégie envisageable en situation mixte est d'appliquer d'abord des interventions mécaniques, pour ensuite recourir à des herbicides de post-levée pour compléter le désherbage, si les interventions mécaniques n'ont pas eu le résultat escompté.

En 2013, 2 projets DEPHY EXPE ont été initiés dans les Hauts de France, sur la plateforme du site Pôle Légumes à Lorgies (62) et sur le site EPLEFPA de Tilloy-Les-Mofflaines (62). Ces expérimentations ont pour objectif de comparer un système de référence (IFT 100) à un programme de réduction de 50% des produits phytosanitaires (IFT 50), dont les herbicides. Sur le site de Lorgies, la pomme de terre est intégrée dans une rotation de 7 années : 2 Choux Fleurs/ Oignons/ Blé/ 1 Chou fleurs/ Pomme de terre/ Blé et dans une rotation betterave/ Pomme de terre/ Blé/ Pois de conserve/ Colza/ Blé sur le site de Tilloy-Les-Mofflaines. Sur les 2 sites, la pomme de terre est présente chaque année mais sans répétition spatiale. La stratégie de maîtrise des adventices consiste à alterner des passages de herse étrille (TREFFLER) et de buttoir (AVR Ecoridger). Les interventions mécaniques sont privilégiées par rapport à la chimie. Certaines années, des herbicides de post-levée sont utilisés en

rattrapage. Les tableaux 18 et 19 mentionnent les itinéraires de désherbage entrepris chaque année dans le programme IFT 50, sur les 2 sites.

Tableau 18. Itinéraire de désherbage réalisé sur le site de Lorgies dans le programme IFT 50.

LORGIES		2013	2014	2015	2016	2017	2018
Herbicide de pré-levée			CENTIUM 36 CS 0.2 l/ha				
Nombre de passage à la herse étrille						1	
Nombre de buttage		2	1	3	3	3	1
Herbicide de post-levée		ELDEN 0.03 kg/ha + METRIPHAR 70WG 0.1 kg/ha + TREND 90 0.2 l/ha	ELDEN 0.03 kg/ha+ METRIPHAR 70WG 0.1 kg/ha + TREND 90 0.1 l/ha		METRIPHAR 70WG 0.1 kg/ha		
Défanage	Chimie	Broyage + SPOTLIGHT PLUS 0.8 l/ha	Broyage + SPOTLIGHT PLUS 0.8 l/ha				Broyage + SPOTLIGHT PLUS 1 l/ha
	Biocontrôle			Broyage + BELOUKHA 16 l/ha		Broyage + BELOUKHA 16 l/ha	

Les résultats en termes de réduction des herbicides sont exprimés à travers l'IFT dans les figures 16 et 17, pour les sites de Lorgies et Tilloy-Les-Mofflaines, respectivement. Attention à l'interprétation des résultats, car l'IFT présenté comprend les solutions de défanage et les produits de biocontrôle.

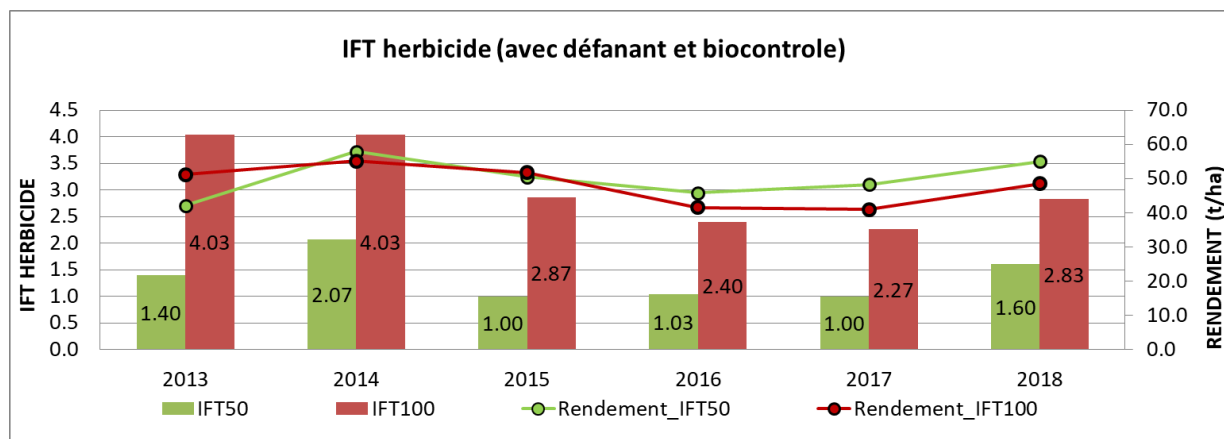


Figure 16. Rendements et IFT herbicide obtenu dans les programmes IFT50 et IFT100 sur le site de Lorgies, lors de la période 2013-2018.

Pour le cas du site de Lorgies, en moyenne sur la période 2013-2018, l'IFT herbicide est diminué de 56% dans l'itinéraire IFT50 par rapport au programme IFT100, évoluant de 3 à 1.3. Certaines années (2015 et 2017), le désherbage mécanique étant suffisant, aucun herbicide pour le désherbage n'est appliqué, l'IFT étant seulement représenté par les produits de biocontrôle (BELOUKHA). À noter, les rendements sont peu affectés dans le programme IFT50 et restent proches du système IFT 100, mais ces niveaux de production sont peu comparables car les variétés utilisées entre les 2 systèmes sont différentes. Une variété plus résistante au mildiou est privilégiée dans le programme IFT50.

Sur le site de Tilloy-Lès-Mofflaines, par rapport à l'itinéraire de référence (ITK100), l'IFT moyen du programme IFT50 a diminué de 60%, évoluant de 3.4 à 1.4, sur la période 2013-2016 (figure 17). Les rendements sont légèrement supérieurs dans le système IFT100, ils sont de 31.7 t.ha⁻¹ en moyenne sur la période 2013-2016 dans ce système, et de 33.1 t.ha⁻¹ dans le programme IFT50. Ces résultats mettent en avant qu'une réduction d'au moins 50% des herbicides est réalisable chez la pomme de terre grâce au désherbage mécanique. Les expérimentateurs insistent beaucoup sur le fait que la maîtrise technique du désherbage mécanique nécessite un temps d'apprentissage. Au cours du temps, la maîtrise technique des outils de désherbage progresse, améliorant les performances des systèmes IFT50.

Tableau 19. Itinéraire de désherbage réalisé sur le site de Tilloy-Lès-Mofflaines dans le programme IFT 50.

Tilloy		2013	2014	2015	2016
Nombre de passage à la herse étrille				2	1
Nombre de buttage		2	2	3	1
Herbicide de post-levée		ELDEN 0.03 kg/ha+ METRIPHAR 70WG 0.1 kg/ha + TREND 90 0.2 l/ha	ELDEN 0.03 kg/ha + METRIPHAR 70WG 0.1 kg/ha+ TREND 90 0.2 l/ha		ELDEN 0.03 kg/ha+ SENCORAL ULTRADISPERSIBLE 0.1 l/ha+ TREND 90 2 l/ha
Défanage	Chimie	Broyage + SPOTLIGHT PLUS 0.8 l/ha	Broyage + SPOTLIGHT PLUS 0.8 l/ha		
	Biocontrôle			BELOUKHA 16 l/ha	Broyage + BELOUKHA 16 l/ha

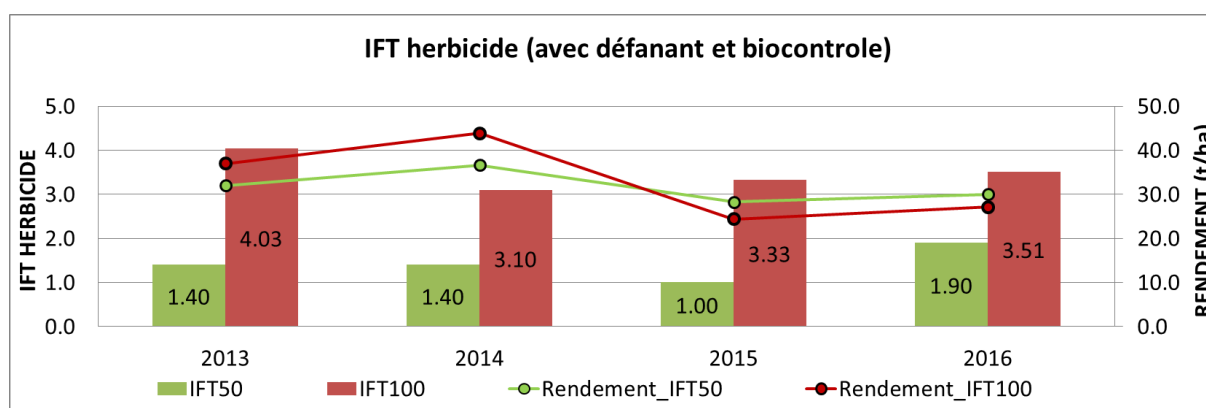


Figure 17. Rendement et IFT herbicide obtenu dans les programmes IFT50 et IFT100 sur le site de Tilloy-Lès-Mofflaines, lors de la période 2013-2016.

7.2.3. Un rendement diminué dans les stratégies mixtes

Afin de répondre aux objectifs du plan Ecophyto 2018 qui visait à limiter le recours aux herbicides, une évaluation a été réalisée entre 2006 et 2013, conjointement par la FREDON et la Chambre d'agriculture du NPDC, pour déterminer les impacts de stratégie mixte sur le niveau de production. Deux itinéraires ont été comparés :

- La pratique de référence de l'agriculteur « 100% chimique » qui correspond à la pratique habituelle de l'agriculteur recevant l'essai
- Un itinéraire « mixte » combinant passages mécaniques en premier lieu (1 passage de herse étrille classique + 1 buttage), suivi par un programme herbicide à dose réduite (1/2 dose de l'agriculteur)

Si le programme mixte s'est avéré être satisfaisant du point de vue du désherbage, les rendements ont été inférieurs en moyenne de 7.5% dans la pratique mixte, comparativement à la pratique « tout chimique ». Les pertes de rendement sont plus prononcées lors d'années humides (tableau 20).

Tableau 20. Comparaison des rendements des programmes chimiques et mixtes du point de vue des rendements (t.ha⁻¹), (CA et FREDON NPDC).

Conditions du printemps	Normales				Sèches	Humides	
	2006	2007	2009	2010	2011	2012	
Rendement net des programmes testés							
100% chimique	41.7	48.8	45.3	41.5	69.2	31.3	
Mixte	43.6	45.5	38.7	_	71.3	23.8	
Comparaison des programmes							Moyenne
Mixte/ 100% chimique	4.6%	-6.8%	-14.6%		3.0%	-24.0%	-7.5%

A retenir : Comparativement au désherbage 100% mécanique, le désherbage mixte permet d'améliorer la maîtrise des adventices mais la perte de rendement reste assez élevée, de l'ordre de -7.5%. La stratégie de désherbage mixte est certainement le meilleur compromis permettant de limiter l'impact sur le niveau de production tout en réduisant l'usage des herbicides d'au moins 50%.

8. Les autres conduites alternatives

Couvrir le sol par des plastiques ou bien du mulch constitue une option dans le contrôle des mauvaises herbes, bien que ces pratiques restent cantonnées à de petites superficies typiques du maraîchage.

8.1. Le contrôle physique des adventices par le paillage

8.1.1. Le mulching

Le mulching peut être une stratégie alternative ou complémentaire dans les stratégies de lutte contre les adventices en agriculture biologique. L'application d'un mulch sur le sol permet d'empêcher la germination et la croissance des adventices par occultation du sol. Le mulch est réalisé à partir de différents types de résidus : paille de céréales, paille de riz, foin, couvert végétal ensilé. L'occultation du sol est améliorée lorsque les résidus constituant le mulch sont broyés. Si lors des essais expérimentaux, le mulch est souvent appliqué manuellement, un

épandeur à fumier peut être utilisé pour de plus amples surfaces. En agriculture biologique, l'application d'un mulch sur 8-10 cm de hauteur (soit 50 t.ha⁻¹), à partir d'un couvert de pois d'hiver/seigle ou vesce/triticales ensilé, sur buttes de plantation, peut être effectué pour limiter les adventices (figure 18).



Figure 18. Application d'un mulch ensilé sur buttes de pomme de terre sur le site expérimental de l'université de Kassel en Allemagne (Finckh *et al.*, 2015).

Du point de vue du contrôle des adventices, un mulch constitué de paille de riz à hauteur de 10 t.ha⁻¹ montre une maîtrise des adventices efficace à 90%, similaire à du désherbage mécanique (Shehata *et al.*, 2018). L'application d'un mulch de paille de blé et de colza à hauteur de 5 t.ha⁻¹ a permis de réduire la densité des adventices de 84% et 79% par rapport à un témoin non désherbé, le niveau de présence des adventices étant similaire à une modalité utilisant des herbicides (Azadbakht, 2017). Döring (2004) pointe la nécessité d'appliquer une biomasse conséquente pour éviter que les adventices ne traversent le mulch, une application de 2.5 à 5 t ha⁻¹ étant jugée insuffisante. Bhullar *et al.* (2015) ne constatent pas de différence en terme de biomasse d'adventices avec différentes quantités de mulch, allant de 4 à 7 t.ha⁻¹. Les auteurs de cette étude rapportent un contrôle différent en fonction du type d'adventice par le mulch: la maîtrise du rumex est très efficace (90%) alors que le chénopode est moins bien contrôlé (de 70 à 80%). Une fois épandu, le mulch se décompose au cours du temps, ce qui peut faire germer de nouvelles adventices si la biomasse initialement apportée est insuffisante. La mise en place du mulch peut être effectuée après buttage ou plus tard après des premiers désherbages mécaniques. Le contrôle des adventices en agriculture biologique s'avère plus efficace si le mulch de paille est appliqué juste après plantation des pommes de terre, comparativement à un épandage réalisé 4 semaines après plantation et juste après un désherbage mécanique (Johnson *et al.*, 2004). La station de recherche d'agriculture du Madison Ouest située aux États-Unis a comparé du désherbage mécanique à une stratégie de contrôle des adventices utilisant un mulch de paille de 20-25 cm de hauteur, en agriculture biologique (Genger *et al.*, 2013). Le nombre de graminées et de dicotylédones a été suivi de la 8^{ème} à la 15^{ème} semaine après plantation de la pomme de terre. Le mulch de paille procure un meilleur contrôle des adventices que le désherbage mécanique, particulièrement en fin de saison juste avant la sénescence lorsque le désherbage mécanique n'est plus réalisable (figure 19).

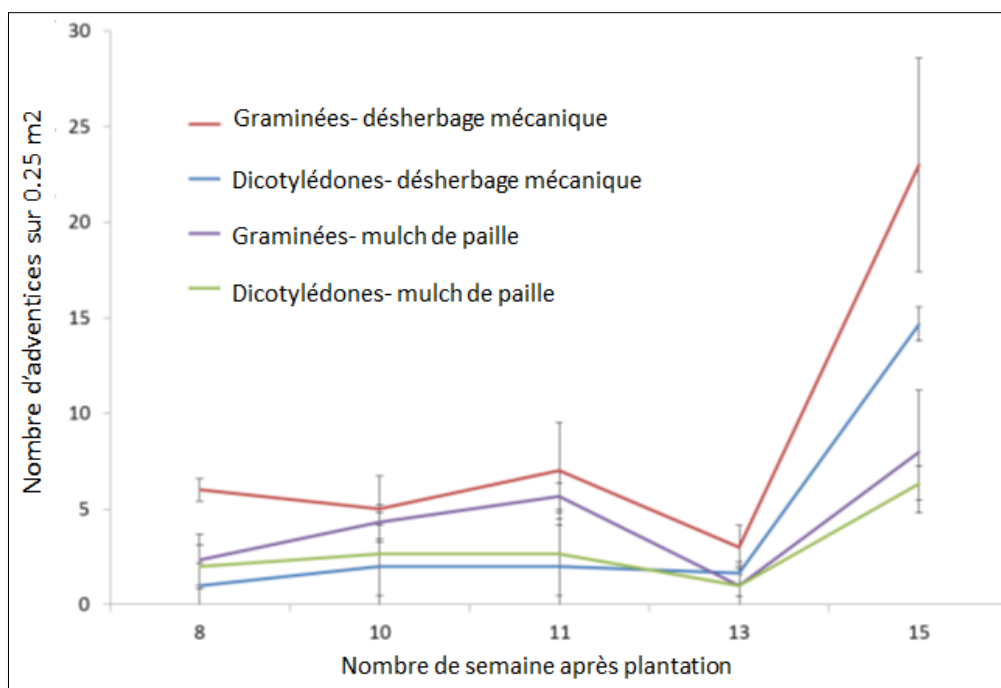


Figure 19. Nombre d’adventices retrouvées dans chaque stratégie de désherbage lors de la saison végétative de la pomme de terre (Genger *et al.*, 2013).

En dehors de la lutte contre les adventices, le mulching apporte d’autres avantages ou contraintes. Les impacts sur le rendement de la pomme de terre sont variables et dépendants des conditions climatiques. La présence d’un mulch a tendance à réduire la température et à conserver l’humidité du sol (Johnson *et al.*, 2004). Lors des années humides, un important volume de mulch ($> 10 \text{ t ha}^{-1}$) fait chuter les rendements par humidité excessive, retarder l’émergence des tubercules par un moindre réchauffement du sol et favoriser les dégâts liés aux campagnols (Döring, 2004; Finckh *et al.*, 2015). À l’inverse lors des années sèches, les rendements sont améliorés car le mulch conserve mieux l’eau du sol (Finckh *et al.*, 2015). Si différents matériaux peuvent être utilisés pour constituer le mulch, il faut veiller à ce que ces derniers ne présentent pas un rapport Carbone/Azote trop élevé sous peine de réduire le rendement par immobilisation de l’azote (Döring, 2004). Enfin, d’autres études ne signalent pas d’impact du mulching au niveau du rendement (Johnson *et al.*, 2004; Bhullar *et al.*, 2015).

A retenir : la technique du mulching en grandes cultures mériterait d’être davantage travaillée. En agriculture biologique, elle peut constituer une solution de secours intéressante, en particulier lors des années humides où le désherbage mécanique est très difficile, mais avec un potentiel effet négatif sur le rendement. Enfin, elle nécessite d’avoir sur l’exploitation les matériaux nécessaires pour pouvoir mulcher ainsi qu’un équipement approprié pour épandre (épandeur à roues étroites pour éviter l’écrasement des buttes).

8.1.2. Les bâchages par plastiques

La suppression des adventices par les plastiques est permise grâce à une diminution de la transmission de la lumière limitant ainsi la germination et les activités photosynthétiques. Les

plastiques constituent aussi une barrière physique au développement des adventices. Ils présentent des variations de composition et de couleur, la transmission de la lumière étant dépendante de la couleur du plastique. La couleur et la composition du plastique sont fonction des objectifs : noir pour désherber et blanc pour réchauffer le sol. Plus spécifiquement, certains plastiques ont la capacité de sélectionner certaines longueurs d'onde, pour à la fois réchauffer le sol et désherber. Les plastiques sont généralement produits à partir de polyéthylène tandis que les versions biodégradables sont avantageuses, car elles peuvent être incorporées au sol à la fin de la saison de végétation (Kasirajan & Ngouajio, 2012). Les plastiques sont appliqués sur le sol après formation des buttes ou des billons.

Le contrôle des adventices par les plastiques s'avère très efficace. La quantité de lumière transmise par le plastique est un bon indicateur du contrôle des mauvaises herbes. Avec 1% de lumière transmise, le plastique de couleur noire est le plus efficace pour le désherbage (figure 20) (Ngouajio & Ernest, 2004). Shehata *et al.* (2018) ont cherché à déterminer l'efficacité de contrôle des adventices avec des plastiques de différentes couleurs et composition. Les auteurs rapportent une très bonne efficacité de maîtrise des adventices du plastique blanc (89,6 %), du plastique IRT laissant passer les infrarouges (88,1 %), du plastique bleu (83,7 %), du plastique noir (98 %), du plastique biodégradable (93 %). Dvořák *et al.* (2012) constatent que la couverture du sol par un plastique noir procure un meilleur contrôle des adventices par rapport au désherbage mécanique.



Figure 20. Pommes de terre sous plastique noir en maraichage.

Si la lutte contre les adventices est très efficace, d'autres fonctions sont attribuées aux plastiques par exemple le réchauffement du sol. Ainsi, d'autres effets positifs des plastiques sont répertoriés. Sous les plastiques, les teneurs en chlorophylle de la pomme de terre sont améliorées (Shehata *et al.*, 2018), la température du sol est plus élevée ce qui permet d'augmenter la croissance de la biomasse foliaire et le poids des tubercules de la pomme de terre (Dvořák *et al.*, 2012). Ils permettent de mieux conserver l'humidité du sol, améliorent la température de l'air et créent un micro climat autour de la plante (Shehata *et al.*, 2018). Au

final, les pommes de terre placées sous plastique présentent des rendements supérieurs à un traitement utilisant de la métribuzine pour le désherbage (Shehata *et al.*, 2018).

Malgré tous les avantages présentés concernant l'utilisation des plastiques, de nombreuses limites à leur utilisation sont identifiées. D'abord, leurs utilisations soulèvent tous les problèmes liés au recyclage. Les plastiques ont des coûts assez élevés, leur mise en place est chronophage et nécessite beaucoup de main-d'œuvre. Leur utilisation reste donc cantonnée à des exploitations de petite superficie (maraîchage, agriculture biologique sur de petites surfaces...) même si des équipements spécialisés tendent aujourd'hui à se développer pour pouvoir appliquer les plastiques sur de plus grandes superficies.

8.2. Le contrôle des adventices par compétition

8.2.1. Contrôle des adventices par des plantes compagnes

À l'instar de ce qui se pratique pour d'autres cultures, l'introduction de plantes compagnes est une stratégie nouvelle pour limiter le développement des adventices dans la culture de pomme de terre. Les plantes compagnes sont installées soit à la plantation (ce qui nécessite de modifier les équipements existants), soit lors des opérations mécaniques qui suivent la plantation (étrillage, buttage). Par exemple, la plante compagne peut être semée à la volée, puis recouverte par un buttage. L'insertion des plantes compagnes permet d'occuper l'espace avant fermeture de la canopée et génère une concurrence contre les adventices pour l'accès à l'eau, aux nutriments et à la lumière. L'efficacité de contrôle des adventices par l'introduction des plantes compagnes est dépendante du choix de l'espèce et de la date de semis.

Aux Etats-Unis, Rajalahti *et al.* (1999) ont cherché à déterminer la meilleure date de semis des plantes compagnes dans une culture de pomme de terre. La stratégie de contrôle des adventices était de substituer le désherbage en pré-levée par un semis de plantes compagnes à 3, 4 ou 5 semaines après plantation. Les plantes compagnes/adventices sont contrôlées chimiquement en post-émergence si leur développement végétatif est trop important. Différentes plantes compagnes sont semées en inter-rang lors du buttage : avoine de printemps, orge, trèfle rouge, deux variétés de vesces, mélange vesce-avoine. Un semis 3 semaines après la plantation des pommes de terre s'est avérée être la date optimale d'implantation des plantes compagnes (tableau 21), permettant une réduction de 20 à 27% des levées d'adventices comparativement au témoin sans plantes compagnes, tout en réduisant de 70% l'utilisation des herbicides, et ceci sans perte de rendement. Semées plus tard à 4 ou 5 semaines, les plantes compagnes sont moins efficaces pour réduire la biomasse des adventices.

Tableau 21. Pourcentages de réduction de la biomasse des adventices observés dans la culture de la pomme de terre, à différentes périodes de semis des plantes compagnes (Rajalahti *et al.*, 1999).

Stratégie de désherbage	Nombre de semaines après plantation	Réduction de la biomasse des adventices (en %)	
		1995	1996
Céréales	3	85	94
Céréales	4	33	21
Céréales	5	32	0
Légumineuses	3	44	70
Légumineuses	4	0	0
Légumineuses	5	21	0
Désherbage chimique	5	99	98

En agriculture biologique, Uchino *et al.* (2012) ont recherché les paramètres caractérisant la compétition exercée par les plantes compagnes de la pomme de terre sur les adventices. Pour ce faire, le ratio de couverture végétatif a été utilisé (VCR), défini comme le pourcentage de sol couvert par la végétation par unité de surface, afin de mesurer la concurrence pour la lumière. L'utilisation du seigle et de la vesce en tant que plantes compagnes dans l'inter-rang a permis de réduire significativement la croissance des adventices, en augmentant le ratio de couverture du sol par la végétation. En Pologne, Kołodziejczyk (2015) a recherché le potentiel de suppression des adventices de la combinaison désherbage mécanique-plantes compagnes. Avant émergence des pommes de terre, 3 buttages-sarclage sont réalisés, puis après émergence, les plantes compagnes sont semées manuellement dans l'inter-rang et recouvertes par un buttage. Les plantes compagnes utilisées étaient de la moutarde blanche, de la vesce commune, du trèfle de Perse et de la phacélie. Alors que le désherbage mécanique seul réduit de 32% la biomasse des adventices, le même désherbage mécanique couplé à des plantes compagnes a amélioré le contrôle des mauvaises herbes en réduisant en moyenne la biomasse des adventices de 54% (tableau 22).

Tableau 22. Biomasse des adventices et des plantes compagnes moyennées sur les 3 années d'essai dans chaque stratégie de désherbage (Kołodziejczyk, 2015).

Stratégie de désherbage	Biomasse des adventices (g.m ²)	Biomasse de la plante compagne (g.m ²)
Témoin sans contrôle des adventices	161 a	
Désherbage mécanique	110 b	
Désherbage mécanique-chimique	36 d	
Désherbage mécanique + moutarde blanche	70 c	64 b
Désherbage mécanique + vesce commune	79 c	53 bc
Désherbage mécanique + trèfle de Perse	73 c	96 a
Désherbage mécanique + phacélie	77 c	47 c

Des lettres différentes pour une même colonne indiquent une différence significative à $p=0.05$.

Le type d'espèce implantée en tant que plante compagne module différemment la répression des adventices. Rajalahti *et al.* (1999) a montré que les céréales procurent un potentiel de suppression des adventices plus fort que les légumineuses (tableau 21). Kołodziejczyk *et al.* (2017) rapportent que la vesce est efficace pour limiter le nombre de monocotylédones tandis que le trèfle de perse est quant à lui plus apte à limiter les dicotylédones (Kołodziejczyk *et al.*, 2017).

Les effets des plantes compagnes peuvent être négatifs sur la productivité. Aux Etats-Unis, Rajalahti *et al.* (1999) constatent une perte de rendement lors des années sèches par compétition pour l'eau, tandis que lors des années humides les rendements sont égaux entre modalités avec plantes compagnes et la modalité standard. Uchino *et al.* (2012) n'a pas constaté de différence de productivité en pomme de terre biologique du fait de l'introduction des plantes compagnes, à condition que la fertilisation soit suffisante et si une absence de concurrence pour la lumière entre plantes compagnes et pommes de terre est constatée. Pour mettre en évidence la compétition qui peut s'exercer sur les nutriments et résulter en une diminution du rendement, Kołodziejczyk *et al.* (2017) ont comparé les quantités de nutriments absorbées, soit par la pomme de terre seule, soit par les plantes voisines de la pomme de terre (c.-à-d. plantes compagnes et adventices). Les quantités d'azote absorbées par les plantes voisines de la pomme de terre variaient de 5 à 34% de la quantité absorbée par la pomme de terre, de 6 à 38% pour le Phosphore, de 5 à 36% pour le Potassium, de 27 à 190% pour le Calcium, de 12 à 55% pour le Magnésium. Cette compétition pour les nutriments peut expliquer les pertes de rendement constatées avec les plantes compagnes.

Un essai est en cours chez Arvalis- Institut du végétal sur la station de Villers-Saint-Christophe pour mesurer les effets des plantes compagnes sur la culture de la pomme de terre. Utilisant essentiellement des légumineuses, les premiers résultats sont attendus dans le courant de la campagne 2019. Enfin, du point de vue économique, l'introduction des couverts en inter-rang nécessite également de prendre en compte le coût des semences. D'autres

recherches sont à mener pour comprendre l'effet des plantes compagnes sur la pomme de terre.

A retenir : l'insertion de plantes compagnes chez la pomme de terre reste une technique exploratoire. Comparativement à un désherbage classique de pré-levée, elle procure un contrôle partiel des adventices. Dans certains cas, si elles ne sont pas contrôlées, elles engendrent une compétition intense sur la pomme de terre qui peut faire chuter le rendement. Des recherches sont à mener pour mieux cerner cette pratique, identifier les bonnes espèces à implanter et les dates optimales de semis, pour en limiter les effets négatifs.

9. Chiffrage économique des systèmes alternatifs

Après avoir abordé les différentes techniques de désherbage alternatif, il convient d'évaluer précisément les impacts de ces pratiques du point de vue économique.

9.1. Simulation économique de la Chambre d'agriculture du NPDC

En 2018, la Chambre d'agriculture du NPDC s'est attaché à simuler les coûts de production du désherbage mixte et 100% mécanique à l'aide de l'outil Systerre développé par Arvalis, afin de les comparer à un désherbage standard réalisé dans une ferme type représentative du réseau d'exploitation du Nord et du Pas-de-Calais. Cette ferme type s'appuie sur une production moyenne de 47 t/ha de Bintje, avec un agroéquipement classique et un coût de production départ au champ de 86.31 euros/ha. 4 pratiques sont évaluées : la pratique standard avec un buttage définitif à la plantation et un désherbage en pré-levée ; un buttage décalé de la plantation avec un désherbage en pré-levée ; une pratique mixte dans laquelle le buttage est décalé de la plantation avec un désherbage en post-levée ; une pratique 100% mécanique où le buttage est décalé de la plantation.

Une description plus précise de chaque pratique est disponible dans le tableau 23, où figurent également les résultats de la simulation à l'échelle de chaque indicateur étudié. La couleur orange désigne une dégradation de l'indicateur tandis que la couleur verte souligne une amélioration.

Tableau 23. Calcul des indicateurs techniques, environnementaux et des coûts de production pour une production départ au champ de chaque stratégie de désherbage (Chambre d'agriculture du Nord- Pas de Calais, 2019)

	Buttage définitif + Désherbage standard en prélevée	Buttage décalé + Désherbage chimique en prélevée	Buttage décalé de la plantation + Désherbage mixte	Buttage décalé de la plantation + Désherbage 100% mécanique
	Plantation puis buttage en simultané puis désherbage chimique (PROMAN 2, DEFI 2,5, SENCORAL SC 0,3)	Plantation et buttage en 2 temps puis désherbage chimique (PROMAN 2, DEFI 2,5, SENCORAL SC 0,3)	Plantation puis buttage Ecoridger puis herse trefler puis buttage Ecoridger. Désherbage chimique en post (ELDEN 40, TREND 0,2, SENCORAL SC 0,15)	Plantation puis buttage Ecoridger puis herse trefler puis buttage Ecoridger puis herse trefler puis buttage Ecoridger.
Surface (ha)	27,5	27,5	27,5	27,5
Temps de travail Total (h/ha)	16,4	0,66	1,4	2,15
Main d'œuvre Total (€/ha)	292,6€	11,7€	25,8€	38,2€
Nombre de passages Total	31,0	1,00	3,0	4,0
Consommation Carburant (L/ha)	166,5	11,7	25,6	37,8
Ch Herbicides (€/ha)	83,7€	0	-46,7€	-83,7€
Ch Mécanisation (dont GNR) (€/ha)	1 102,2€	18,7€	68,9€	85,5€
IFT Herbicide	1,3	0	-0,5	-1,3
Consommation Energie Primaire Totale (MJ/ha)	29600	102%	101%	103%
Emissions GES Totales (kgéqCO2/ha)	3925	101%	101%	102%
Charges en plus	-	30,5€	94,7€	123,7€
Charges en moins	-		-46,7€	-83,7€
Différence €/ha	-	30,5€	48,0€	40,0€
Cout de production départ champs en €/T	86,3€			
Impact sur le cout de production en considérant que Rendement = Rendement de la situation standard (47T/ha)	-	0,5€	1,1€	0,9€

L'analyse des résultats montre, si le rendement est maintenu dans les 3 pratiques alternatives à un niveau équivalent de la pratique standard, un impact très minime sur les coûts de production. Les stratégies mixtes et 100% mécaniques entraînent logiquement une augmentation du nombre de passage, du temps de travail, de la consommation de carburant et des charges de mécanisation (tableau 23). Par exemple la pratique 100% mécanique accroît le temps de travail de 2.15 h/ha, les charges de main d'œuvre de 38.2 euros/ha et les charges de mécanisation de 85.5 euros/ha. Il s'avère que le coût des opérations mécaniques supplémentaires dans les pratiques mixtes et 100% mécanique est compensé en partie par la diminution des charges en herbicides. Au final, le coût de production supplémentaire engendré par les pratiques alternatives est de +/- 1 euro par tonne de pommes de terre.

Les indicateurs environnementaux, du point de vue des gaz à effet de serre (GES) et de la consommation en énergie primaire, sont très légèrement dégradés, alors que l'IFT est nul dans la stratégie mécanique et réduit d'environ 2/3 dans la pratique mixte.

Cependant, comme nous l'avons vu de nombreuses fois, il est compliqué de maintenir un rendement équivalent dans les pratiques alternatives, du fait notamment que l'efficacité du désherbage mécanique est dépendante des conditions climatiques. En ce sens, une seconde

évaluation a été mise en place en simulant différents écarts de rendement par rapport à la pratique standard afin de déterminer un nouveau coût de production (tableau 24).

Tableau 24. Simulation considérant les écarts de rendement dans chaque stratégie étudiée (CA NPDC).

	Buttage définitif + Désherbage standard en prélevée	Buttage décalé + Désherbage chimique en prélevée	Buttage décalé de la plantation + Désherbage mixte	Buttage décalé de la plantation + Désherbage 100% mécanique
Coût de production départ champs en €/T	86,31 €			
IMPACT SUR LE COUT DE PRODUCTION				
en considérant que Rendement = Rendement de la situation standard	-	0,56€		
en considérant que le Rendement est inférieur - 7,5% au rendement standard	-		8,24€	
écart de rendement le plus faible + 5%	-		- 3,02€	
écart de rendement le plus fort- 24%	-		28,76€	
en considérant que le Rendement est inférieur - 9,4% au rendement standard	-			9,97€
écart de rendement le plus faible - 4%	-			4,55€
écart de rendement le plus fort- 26%	-			31,56€

Les écarts de rendement utilisés pour la simulation par rapport à une stratégie de désherbage standard, sont ceux que nous avons précédemment mis en avant dans ce rapport, soit en moyenne -7.5% pour une stratégie mixte et - 9.4% dans le cas d'une pratique 100% mécanique. **La simulation montre des coûts de production affectés négativement, de l'ordre de 8.24 et de 9.97 euros/ha dans la stratégie mixte et la pratique 100% mécanique, respectivement.** Comme les rendements peuvent varier fortement en fonction des années, et si on s'intéresse aux situations les plus extrêmes, les coûts de production peuvent augmenter jusqu'à 28.76 euros/ha si le rendement est diminué de 24 % dans une stratégie mixte ou s'élever jusqu'à 31.56 euros/ha si le rendement est affecté de 26% dans la pratique 100% mécanique.

A retenir : Cette analyse a mis en évidence que les coûts de production seront dégradés, à la fois dans la stratégie de désherbage 100% mécanique et les pratiques mixtes, si le rendement n'est pas maintenu vis-à-vis d'une pratique standard.

9.2. Évaluation économique dans les systèmes DEPHY EXPE

Dans un second temps, nous nous sommes intéressés aux expérimentations DEPHY EXPE, où bon nombre d'indicateurs économiques ont été mesurés. Rappelons que ces deux systèmes, situés sur les sites de Lorgies et Tilloy-Les-Mofflaines, appliquent des stratégies de désherbage mixte, avec des interventions prioritairement mécaniques et un recours si nécessaire à la chimie en dernier lieu. Nous nous sommes intéressés à différentes composantes économiques, présentées au sein des tableaux 25 et 26 pour le site de Lorgies et du tableau pour le cas de Tilloy-Les-Mofflaines.

Du point de vue économique, en raison de l'introduction du désherbage mécanique, les charges de mécanisation sont augmentées de 13% sur le site de Tilloy et de seulement 3% sur

la plateforme de Lorgies. Les coûts de production sont relativement peu impactés. Il est augmenté de 8 euros/tonne sur Tilloy (ce qui correspond à la valeur simulée d'après Systerre pour le cas du système mixte avec une réduction de -7.5% du rendement). Sur Lorgies, le coût de production du système IFT 50 est équivalent à celui du programme IFT 100, le rendement étant légèrement meilleur dans la modalité IFT 50.

Sur le site de Tilloy-Les-Mofflaines, la marge nette avec aides est négative lorsqu'elle est moyennée pendant les 4 années d'expérimentation, et diminuée de près de 90% dans le système IFT 50. Toutefois, il faut aussi noter que la marge nette du programme IFT 100 est elle aussi négative, certainement en raison des rendements s'avérant trop faibles (33 t/ha en moyenne pour le système IFT100). À titre de comparaison, le rendement moyen est de 48 t/ha dans le système IFT 100 pour le site de Lorgies. Concernant ce site, la marge nette n'est diminuée que de 4% dans le système IFT50 comparativement au programme IFT 100. Le temps de travail total à l'hectare est augmenté de 2h et de 3h dans la modalité de réduction sur les sites de Tilloy et Lorgies, respectivement, en lien avec les passages d'outils mécaniques.

Enfin, au niveau des performances environnementales, les systèmes IFT 50 et 100 diffèrent peu entre eux au niveau des émissions de GES et de la consommation primaire d'énergie primaire, quelle que soit la plateforme considérée.

Si le système de Lorgies semble beaucoup plus viable économiquement, il faut modérer les observations du site de Tilloy, car les données que nous présentons s'appuient sur seulement 4 années d'expérimentation. Enfin, le système de Lorgies montre, malgré l'introduction d'une stratégie de désherbage mixte, une viabilité de ce type de système, le seul bémol constaté étant l'augmentation du temps de travail passé à l'hectare.

Tableau 25. Performances économiques, environnementales et sociales des programmes IFT 100 et IFT 50 mis en place sur le site de Lorgies.

	Agronomiques			Economiques								
	Rendement (t/ha)			Charges Mécanisation (€/ha)			Coût de Production Complet (€/t)			Marge Nette avec aides (€/ha)		
Campagne	IFT100	IFT50	Variation (en %)	IFT100	IFT50	Variation (en %)	IFT100	IFT50	Variation (en %)	IFT100	IFT50	Variation (en %)
2013	51	42	-18	647	416	-36	67	70	5	4597	3088	-33
2014	55	58	5	700	761	9	62	63	2	-1433	-1588	-11
2015	52	50	-2	746	805	8	71	78	10	2936	2539	-14
2016	42	46	10	673	731	9	86	90	4	3412	3594	5
2017	41	48	18	667	749	12	108	102	-6	1016	1495	47
2018	48	55	13	669	748	12	85	78	-8	4048	4926	22
Moyenne	48	50	4	684	702	3	80	80	0	2429	2342	-4
	Environnementales						Sociales					
	Consommation Energie Primaire Totale (MJ/ha)			Emissions GES Totales (kgéqCO2/ha)			Temps de travail Total (h/ha)					
Campagne	IFT100	IFT50	Variation (en %)	IFT100	IFT50	Variation (en %)	IFT100	IFT50	Variation (en %)			
2013	32310	28205	-13	3979	3809	-4	19	25	33			
2014	26255	27839	6	3265	3578	10	18	20	11			
2015	38733	39315	2	3764	3408	-9	27	30	11			
2016	32657	34882	7	3634	3739	3	21	22	5			
2017	38135	41600	9	3938	4149	5	25	29	15			
2018	46624	46855	0	4141	4068	-2	28	31	13			
Moyenne	35786	36449	2	3787	3792	0	23	26	14			

Tableau 26. Performances économiques, environnementales et sociales des programmes IFT 100 et IFT 50 mis en place sur le site de Tilloy-Les-Mofflaines.

	Agronomiques			Economiques								
	Rendement (t/ha)			Charges Mécanisation (€/ha)			Coût de Production Complet (€/t)			Marge Nette avec aides (€/ha)		
Campagne	IFT100	IFT50	Variation (en %)	IFT100	IFT50	Variation (en %)	IFT100	IFT50	Variation (en %)	IFT100	IFT50	Variation (en %)
2013	37	32	-14	1209	1333	10	106	121	14	1760	1133	-36
2014	44	37	-16	1185	1372	16	91	112	24	-1988	-2329	-17
2015	24	28	16	1128	1352	20	154	145	-6	-2365	-2518	-6
2016	27	30	10	978	1033	6	119	124	4	1281	1231	-4
Moyenne	33	32	-4	1125	1273	13	118	126	7	-328	-621	-89
	Environnementales						Sociales					
	Consommation Energie Primaire Totale (MJ/ha)			Emissions GES Totales (kgéqCO2/ha)			Temps de travail Total (h/ha)					
Campagne	IFT100	IFT50	Variation (en %)	IFT100	IFT50	Variation (en %)	IFT100	IFT50	Variation (en %)			
2013	28000	27802	-1	3178	3243	2	11	14	21			
2014	28064	29337	5	3209	3370	5	12	14	20			
2015	31141	31579	1	3422	3191	-7	10	15	42			
2016	17631	19369	10	1659	1588	-4	10	11	3			
Moyenne	26209	27022	3	2867	2848	-1	11	13	22			

10. Conclusions et perspectives

Nous avons pu démontrer tout au long de cet état de l'art que le désherbage alternatif était réalisable chez la pomme de terre. Les conditions climatiques du printemps de chaque campagne seront déterminantes dans la maîtrise des adventices avec la mise en place du désherbage mécanique. Une phase d'apprentissage sera nécessaire pour l'agriculteur afin de maîtriser l'utilisation des outils de désherbage. Cette maîtrise est cruciale car c'est elle qui influence en partie le devenir des rendements. En ce sens, l'évolution des agroéquipements sera certainement un point majeur permettant d'améliorer les performances du désherbage mécanique.

Lors des années difficiles, il faudra s'attendre à un moins bon contrôle des adventices. Certaines années des chutes de rendements seront observées. Du point de vue économique, il faut rappeler que les coûts de production et le temps de travail au champ seront augmentés. Cela pourra engendrer des modifications importantes au sein des exploitations, notamment au niveau de la charge de travail mais aussi du point de vue de la main d'œuvre. Il faudra être mobilisable rapidement pour intervenir, parfois sur des fenêtres très courtes.

A l'heure actuelle, les stratégies de désherbage en pré-levée avec des herbicides racinaires ne sont pas menacées. Cet état de l'art rassemblant les différentes solutions alternatives au désherbage conventionnel de la pomme de terre pourra en conséquent être mobilisable si le besoin se fait sentir. Toutefois, nous identifions différentes lacunes dans cette synthèse bibliographique qui mériteraient d'être approfondies dans de futurs travaux. D'abord, il serait nécessaire d'apporter des références du point de vue de la nuisibilité des adventices dans la culture de la pomme de terre dans notre contexte français. Deuxièmement, il serait judicieux d'obtenir davantage de données à propos de l'évolution des rendements dans les stratégies alternatives, notamment en lien avec l'évolution des agroéquipements. Rechercher de nouvelles références quant à la faisabilité du désherbage mécanique dans d'autres régions françaises productrices de pomme de terre serait approprié, dans la mesure où les conditions pédo-climatiques conditionnent la réussite des interventions mécaniques. Enfin, dans la mesure où ce sont les opérations mécaniques qui sont responsables de la perte de rendement dans les stratégies alternatives, il serait nécessaire de quantifier l'impact de chaque opération mécanique, avec tel outil, à chaque stade de la pomme de terre, sur la productivité.

Des essais recherchant des solutions alternatives au désherbage conventionnel de la pomme de terre seront initiés en 2019 chez ARVALIS- Institut du végétal, sur la plateforme de Boigneville, dans le but d'enregistrer de nouvelles références.

Nous concluons ce rapport avec un compte-rendu reprenant un échange à propos du désherbage mécanique effectué avec Alain Lecat, conseillé en production biologique. Ce compte rendu est visible en annexe A.

11. Bibliographie

- Ahmadvand, G., Mondani, F., Golzardi, F., 2009. Effect of crop plant density on critical period of weed competition in potato. *Sci. Hortic.* 121: 249-254.
- Azadbakht, A., 2017. The effect of chemical and non-chemical control methods on weeds in potato (*Solanum Tuberosum* L.) cultivation in Ardabil Province, Iran. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 15: 1359–1372. https://doi.org/10.15666/aeer/1504_13591372
- Bellinder, R.R., Kirkwyland, J.J., Wallace, R.W., Colquhoun, J.B., 2000. Weed Control and Potato (*Solanum tuberosum*) Yield with Banded Herbicides and Cultivation. *Weed Technol.* 14: 30–35.
- Bhullar, M.S., Kaur, S., Kaur, T., Jhala, A.J., 2015. Integrated Weed Management in Potato Using Straw Mulch and Atrazine. *Hort Technol.* 25: 335–339. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.25.3.335>
- Boydston, R.A., 2010. Managing Weeds in Potato Rotations Without Herbicides. *Am. J. Potato Res.* 87: 420–427. <https://doi.org/10.1007/s12230-010-9153-4>
- Boydston, R.A., Hang, A., 1995. Rapeseed (*Brassica napus*) Green Manure Crop Suppresses Weeds in Potato (*Solanum tuberosum*). *Weed Technol.* 9: 669–675. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00024039>
- Brainard, D.C., Curran, W.S., Bellinder, R.R., Ngouajio, M., VanGessel, M.J., Haar, M.J., Lanini, W.T., Masiunas, J.B., 2013. Temperature and Relative Humidity Affect Weed Response to Vinegar and Clove Oil. *Weed Technol.* 27: 156–164. <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00073.1>
- Bruyere, J., 2011. Quelles méthodes alternatives développer pour la culture de pomme de terre ? Quatrième conférence internationale sur les méthodes alternatives en protection des cultures. Lille.
- Callaway, M.B., 1992. A compendium of crop varietal tolerance to weeds. *Am. J. Altern. Agric.* 7: 169. <https://doi.org/10.1017/S088918930000477X>
- Campiglia, E., Paolini, R., Colla, G., Mancinelli, R., 2009. The effects of cover cropping on yield and weed control of potato in a transitional system. *Field Crops Res.* 112: 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.01.010>
- Cavaliere, A., Paolini, R., Mirabelli, C., 2018. Yield and competitive ability in potato cultivars characterised by different developmental timing. *Weed Res.* 58: 121–130. <https://doi.org/10.1111/wre.12293>
- Chambre d'agriculture du Nord- Pas de Calais, 2019. Evaluation de différentes solutions de désherbage mécanique en conduite conventionnelle. *Pommes de Terre Expérimentations 2018*. Réf. Tech.
- Chambre d'agriculture du Nord- Pas de Calais, 2018. Désherbage. *Pommes de Terre Expérimentations 2017* Réf. Tech.
- Chambre d'agriculture du Nord- Pas de Calais, 2016. Désherbage. *Pommes de Terre Expérimentations Tech.* 2015.
- Ciuberkis, S., Bernotas, S., Raudonius, S., Felix, J., 2007. Effect of Weed Emergence Time and Intervals of Weed and Crop Competition on Potato Yield. *Weed Technol.* 21: 213–218.
- Colquhoun, J.B., Konieczka, C.M., Rittmeyer, R.A., 2009. Ability of Potato Cultivars to Tolerate and Suppress Weeds. *Weed Technol.* 23: 287–291. <https://doi.org/10.1614/WT-08-062.1>
- Döring, T.F., 2004. Straw mulch in organically grown potatoes. Evaluation and optimisation for virus vector control. *University of Kassel*.
- Dvořák, P., Tomášek, J., Kuchtová, P., Hamouz, K., Hajšlová, J., Schulzová, V., 2012. Effect of mulching materials on potato production in different soil-climatic conditions. *Romanian Agric. Res.* 29: 201-209.

- Eberlein, C.V., Patierson, P.E., Gutieri, M.J., Stark, J.C., 1997. Efficacy and Economics of Cultivation for Weed Control in Potato (*Solanum tuberosum*). *Weed Technol.* 11: 257-264.
- Eshel, G., Egozi, R., Goldwasser, Y., Kashti, Y., Fine, P., Hayut, E., Kazukro, H., Rubin, B., Dar, Z., Keisar, O., DiSegni, D.M., 2015. Benefits of growing potatoes under cover crops in a Mediterranean climate. *Agric. Ecosyst. Environ.* 211: 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.05.002>
- Finckh, M.R., Bruns, C., Bacanovic, J., Junge, S., Schmidt, J.H., 2015. Organic potatoes, reduced tillage and mulch. *Org. Grow.* 33: 20–22.
- Genger, R., Rouse, D., Charkowski, A., 2013. Weed management in organic potatoes : Straw mulch as an alternative to cultivation.
- Gosselin, B., Bernier, D., Gauthier, L., Painchaud, J., Turmel, R., 2003. L'application des herbicides en bandes dans la pomme de terre. Syndicat des producteurs de pommes de terre de la région de Québec, Québec.
- Hussain, Z., Khan, M.A., Ilyas, M., Luqman, Khan, I.A., 2016. Non-chemical weed management in potato at higher elevations. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 14: 67–76. https://doi.org/10.15666/aeer/1405_067076
- Ivany, J.A., 2010. Acetic acid for weed control in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Can. J. Plant Sci.* 90: 537–542. <https://doi.org/10.4141/CJPS09026>
- Johnson, J.M., Hough-Goldstein, J.A., Vangessel, M.J., 2004. Effects of Straw Mulch on Pest Insects, Predators, and Weeds in Watermelons and Potatoes. *Environ. Entomol.* 33: 1632–1643. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-33.6.1632>
- Karimmojeni, H., Barjasteh, A., Mousavi, R.S., Bazrafshan, A.H., 2014. Determination of the critical period of weed control in potato (*Solanum tuberosum* L.). *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* 42: 151–160.
- Kasirajan, S., Ngouajio, M., 2012. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 32: 501–529. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0068-3>
- Kołodziejczyk, M., 2015. The effect of living mulches and conventional methods of weed control on weed infestation and potato yield. *Sci. Hortic.* 191: 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.05.016>
- Kołodziejczyk, M., Antonkiewicz, J., Kulig, B., 2017. Effect of living mulches and conventional methods of weed control on weed occurrence and nutrient uptake in potato. *Int. J. Plant Prod.* 11:275-283.
- Love, S.L., Eberlein, C.V., Stark, J.C., Bohl, W.H., 1995. Cultivar and seed piece spacing effects on potato competitiveness with weeds. *Am. Potato J.* 72: 197–213. <https://doi.org/10.1007/BF02855036>
- Merfield, C.N., 2019. Integrated Weed Management in Organic Farming, in: Organic Farming. *Elsevier*, pp. 117–180. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813272-2.00005-7>
- Mirabelli, C., Colla, G., Fiorillo, A., Cardarelli, M., Roupael, Y., Paolini, R., 2005. The effect of mechanical weed control technique and irrigation method on yield, tuber quality and weed suppression in organic potato. *Acta Hortic.* 127–134. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.684.17>
- Mondani, F., Golzardi, F., Ahmadvand, G., Ghorbani, R., Moradi, R., 2011. Influence of Weed Competition on Potato Growth, Production and Radiation Use Efficiency. *Not. Sci. Biol.* 3: 42. <https://doi.org/10.15835/nsb336125>
- Nelson, D.C., Thoreson, M.C., 1981. Competition between Potatoes (*Solanum tuberosum*) and Weeds. *Weed Sci.* 29: 672–677.
- Ngouajio, M., Ernest, J., 2004. Department of Horticulture, Michigan State University, *Plant and Soil Sciences Building*, East Lansing, MI 48824-1325, 39: 3.

- Pomme de terre-Culture, 2007. Agridea- FIBL 17.
- Pramanick, B., Karmakar, S., Brahmachari, K., Deb, R., 2012. An integration of weed management practices in potato under New Alluvial soil. *J. Plant Prot. Sci.* 6:32-36
- Rajalahti, R.M., Bellinder, R.R., Hoffmann, M.P., 1999. Time of Hilling and Interseeding Affects Weed Control and Potato Yield. *Weed Sci.* 47: 215–225.
- Rouselle, B., 2019. Désherbage mécanique- Trois questions à Benoît Houilliez, chef du service pomme de terre à la chambre d’agriculture du Nord-Pas-De-Calais. *Pomme Terre Française.* 622:40.
- Ryckmans, D., 2013a. La pré-germination des plants, une technique avec de multiples avantages. FIWAP 13.
- Ryckmans, D., 2013b. De nouvelles techniques et matériels améliorent la pré-germination. FIWAP Novembre-Déc. 6.
- Shehata, S.A., Abouziena, A.F., Abd El-Gawad, K.F., Elkhawaga, F.A., 2017. Safe weed management methods as alternative to synthetic herbicides in potato. *Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci.* 8: 1148–1156.
- Shehata, S.A., Abouziena, H.F., Abdelgawad, K.F., Elkhawaga, F.A., 2018. Weed Control Efficacy, Growth and Yield of Potato (*Solanum tuberosum* L.) as Affected by Alternative Weed Control Methods. *Potato Res.* <https://doi.org/10.1007/s11540-018-9404-1>
- Singh, K., Lal, S.S., 1994. Herbicidal weed-control efficiency and nutrient removal by weeds in potato (*Solanum tuberosum*) under north-eastern hills condition. *Indian J Agron.* 39: 336–339.
- SSP - Agreste- Enquête Pratiques culturales en grandes cultures 2017.
- Uchino, H., Iwama, K., Jitsuyama, Y., Ichiyama, K., Sugiura, E., Yudate, T., Nakamura, S., Gopal, J., 2012. Effect of interseeding cover crops and fertilization on weed suppression under an organic and rotational cropping system. *Field Crops Res.* 127: 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.10.007>
- Vacher, C., 2019. La prélevée toujours d’actualité. *Pomme Terre Française.* 622: 38–39.

Annexe A. Echange avec Alain Lecat à propos du désherbage mécanique de la pomme de terre biologique. 13/06/2019.

Alain Lecat est conseillé en agriculture biologique au sein de la chambre d'agriculture du Nord Pas-de-Calais.

1) La pomme de terre est-elle une culture facile à désherber en bio ?

Oui elle est plus facile à désherber que d'autres cultures. L'agriculteur trouve toujours des fenêtres météorologiques pour pouvoir intervenir au champ (dans le secteur considéré). Plus que les adventices, d'autres problèmes sont inventoriés. Les passages successifs d'outils mécaniques ont tendance à assécher le sol et peuvent entraîner des stress hydriques, notamment en année sèche. Aussi, les buttages et démontages de la butte successifs par les outils mécaniques peuvent entraîner une oxygénation plus importante de la butte, ce qui peut favoriser l'apparition de la galle (verruqueuse et à pustule).

2) Quel temps faut-il pour apprendre à maîtriser les outils du désherbage mécanique ?

A l'issue de 3 campagnes, l'agriculteur possède une bonne maîtrise technique des outils de désherbage mécanique sur la pomme de terre.

3) Quelle est la pratique actuelle de désherbage de la pomme de terre biologique ?

Elle consiste à alterner des passages de herse étrille et de buttoir. 5 interventions sont généralement réalisées :

- 1^{er} passage : intervention avec la herse étrille en pré-levée pour éliminer les premières levées d'adventices. La butte est démontée de manière plus ou moins forte selon le type de herse étrille utilisée (fortement dans le cas des herses étrille de première génération). Si ce passage permet de désherber une première fois, il entraîne également une nouvelle levée d'adventices.
- 2^{ème} passage : intervention avec le buttoir. Il permet d'une part de détruire les adventices levées en raison du premier passage de la herse étrille, mais permet également de remonter les buttes dans le cas où elles ont été fortement démontées pour retrouver les rangs, ce qui est important pour pouvoir se repérer par la suite si l'agriculteur ne dispose pas d'un dispositif de géolocalisation.
- 3^{ème} passage : intervention avec la herse étrille en post-levée. Attention à ne pas intervenir quand les pommes de terre pointent au risque de casser les futures tiges. Le passage doit se réaliser quand au moins 50% des pommes de terre sont émergées (au stade feuilles vertes).
- 4^{ème} passage : intervention avec le buttoir. Ce passage est réalisé au stade 15-20 cm de hauteur des pommes de terre.
- 5^{ème} passage : dernière intervention avec le buttoir. Il est réalisé juste avant que 50% de la canopée soit refermée. Il faut veiller à ne pas atteindre le système racinaire de la pomme de terre en retirant les 2 dents extérieures du buttoir qui travaillent le fond de l'inter-rang.

4) Quelles ont été les expérimentations mises en place ? Dans quels buts ? Pensez-vous avoir tiré aujourd'hui des conclusions générales ?

Différentes stratégies de désherbage ont été étudiées. L'alternance étrillage/butage décrite précédemment dans le rapport s'est avérée être la plus efficace. On s'est intéressé uniquement au résultat global, c'est-à-dire aux résultats obtenus à la fin de l'expérimentation, principalement le rendement. Nous n'avons pas cherché à mesurer l'incidence de chaque passage d'outil mécanique, réalisé à tel stade de la pomme de terre, en termes d'impacts sur le rendement, par exemple. La conclusion principale de ces expérimentations est que les opérations de désherbage mécanique sont responsables d'une partie des pertes de rendement à cause des dégâts engendrés sur le système racinaire et foliaire de la pomme de terre. La largeur trop importante des outils (notamment la herse étrille), pose des problèmes pour travailler en bandes pour rester sur des surfaces d'expérimentation acceptables.

5) Quelle efficacité du désherbage dans d'autres types de sol plus compliqués ? (argileux...)

Il n'y a pas vraiment de retour sur cette question dans la mesure où les sols du secteur sont tous de type limoneux ou limono-argileux.

Adventices

6) Quelle est l'efficacité sur les adventices du désherbage 100% mécanique par rapport à du conventionnel ?

La maîtrise des adventices s'appuie sur une tolérance 0. Le contrôle des adventices est jugé comme aussi efficace que le conventionnel, en raison des très nombreux passages d'outils mécaniques (5 interventions). Le contrôle des adventices est parfois plus compliqué sur le haut de la butte, car certains outils y sont moins efficaces, notamment les buttoirs.

7) Quelles adventices posent le plus problème ? Le désherbage mécanique est-il efficace de manière identique sur toutes les adventices ?

Ce sont essentiellement les vivaces telles que les chardons, renouée des oiseaux et liserons qui posent problème. Même si ces adventices couvrent beaucoup le sol, les impacts sur le rendement sont minimes du fait de leurs systèmes racinaires peu développés (qui est généralement un pivot), ces adventices ne créent pas beaucoup de concurrence dans la butte. Toutefois, des impacts négatifs sur le rendement ont été répertoriés dans le cas du laiteron car son système racinaire dense engendre une compétition pour les nutriments. De plus, ce dernier une fois sectionné par un passage d'outil, a tendance à repartir en végétation.

Rendement

8) Quelle est la part de la mécanique et de la présence des adventices dans la diminution du rendement observée dans les stratégies de désherbage mécanique ?

Ce ne sont pas les adventices qui sont responsables des chutes de rendement (car le contrôle est généralement bon), mais bien les différentes interventions mécaniques qui endommagent le système racinaire ou végétatif de la pomme de terre.

9) L'amélioration des agroéquipements permet-il vraiment de réduire les pertes de rendements causés par les passages en mécanique ?

Il est difficile de répondre à cette question. Car le paramètre déterminant sur le rendement est d'abord la gestion du mildiou.

Matériels

10) Y-a-t-il encore beaucoup de herse étrille et de buttoir ancienne génération utilisées sur les pommes de terre ?

Oui, les herse d'ancienne génération sont encore très utilisées car elles sont amorties.

11) Avantages et inconvénients d'une herse étrille par rapport au buttoir ?

Le débit de chantier est fortement amélioré avec la herse étrille. De plus, ce type d'outil permet de travailler le haut de la butte, ce qui n'est pas le cas des buttoirs.

Par contre, l'inconvénient de la herse étrille ancienne génération, du fait de son réglage de profondeur approximatif est le démontage très prononcé de la butte. Ceci peut entraîner des dommages conséquents sur le système racinaire et donc des pertes de rendements. Les herse étrille de nouvelle génération, de type TREFFLER, dont le contrôle de la profondeur est fortement amélioré et dont la conception permet de travailler uniformément sur la butte et dans l'inter-rang, démontent beaucoup moins la butte ce qui permet de diminuer les impacts sur le système racinaire.

D'autres stratégies de désherbage se profilent aujourd'hui, avec une utilisation exclusive des buttoirs spécifiques pour tenter de diminuer les impacts sur le rendement.

14) Le désherbage thermique est-il beaucoup pratiqué ? Avec quels avantages et résultats ?

Il reste encore peu pratiqué aujourd'hui en raison de son coût très élevé. Le désherbage thermique est cantonné à de la pré-levée et permet de répondre à des levées d'adventices échelonnées. Une nouvelle stratégie intégrant ce type de système serait de désherber thermiquement en pré-levée ce qui permettrait de conserver le buttage réalisé à la plantation, pour ensuite intervenir uniquement avec un buttoir spécifique (type AVR) sans démontage de la butte.

15) Des impacts sur la compaction du sol par les passages répétés des outils sont-ils répertoriés ?

Non car les passages ont toujours lieu en conditions ressuyées.

Economie

17) Quelle augmentation du coût et du temps de travail ?

Le désherbage mécanique représente de 1 fois à 1,5 fois le coût du désherbage chimique (avec la main d'œuvre, le nombre de passages et le coût des produits chimiques compris). La

différence réside essentiellement dans le temps de travail cumulé par hectares qui est de 15 à 20 fois supérieur à de la chimie (si le matériel est partagé en CUMA pour diviser les coûts).

Questions diverses

19) Avez-vous travaillé la question du levier variétal pour faciliter le désherbage mécanique en bio ?

Aucunement. Le problème, tout comme en conventionnel, est que la variété est imposée par la filière. De plus, la variété est d'abord choisie en fonction de sa résistance au mildiou, les autres paramètres pouvant influencer le choix variétal sont très secondaires.

20) Avez-vous exploité d'autres pistes que le désherbage mécanique pour contrôler les adventices ? Plantes compagnes, mulching, bioherbicides ?

Le mulching a été expérimenté par un producteur à l'aide de miscanthus, mais sans résultats probants. L'acide pélargonique (BELOUKHA) ne doit pas être utilisé car cette pratique sortira de l'esprit de la culture biologique de la pomme de terre, dont l'objectif est d'éviter au maximum le recours à la pulvérisation. Il ne faut pas substituer les molécules d'herbicides de synthèse par d'autres, y compris les molécules naturelles.

21) Comment voyez-vous l'avenir du désherbage en pommes de terre ? Pensez-vous que l'on a fait le tour de la question du point de vue du désherbage ? Y-a-t-il encore des progressions réalisables (notamment en lien avec le matériel) ?

Du point de vue expérimentation, il serait nécessaire de déterminer l'incidence de chaque passage d'outil mécanique, réalisé à tel stade de la pomme de terre, sur le rendement et le calibre. De plus, le contrôle de la profondeur étant déterminant pour éviter des pertes de rendements, il serait intéressant de déterminer qu'elle est la profondeur de travail maximale que l'on peut appliquer pour déchausser les adventices à chaque stade de la pomme de terre, avec chaque outil, sans occasionner de dégâts sur le système racinaire. L'évolution des agroéquipements devra permettre de régler le plus finement possible la profondeur de travail pour éviter les dégâts sur la pomme de terre.

22) Comment se déroule le défanage de la pomme de terre en bio ? Pose-t-il des problèmes particuliers ?

Le broyage mécanique est majoritaire et réalisé à hauteur de 60%. Le problème de ce mode de destruction est qu'il engendre une potentielle dissémination des spores du mildiou, ce qui nécessite généralement une intervention avec une solution de cuivre. Le défanage thermique est pratiqué à hauteur de 40%. Provenant de la production de plants conventionnels pour la gestion du mildiou, son avantage réside dans une bonne gestion de cette maladie, ce qui évite une seconde intervention pour la contrôler. Si généralement des gaz sont utilisés comme combustible, d'autres sources apparaissent comme l'huile de colza (CUMA Biocréative).

Glossaire :

CA NPDC : Chambre d'Agriculture du Nord Pas-de-Calais

CNIPT : Comité National Interprofessionnel de la Pomme de Terre

CPWC : Critical Period of Weed Control

FREDON : Fédération REgionale de Défense contre les Organismes Nuisibles

IFT : Indicateur de Fréquence de traitement

UNPT : Union Nationale des producteurs de Pomme de terre