

AFPP – 23^e CONFÉRENCE DU COLUMA
JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES
DIJON – 6, 7 ET 8 DÉCEMBRE 2016

**LA NUISIBILITE DIRECTE DES ADVENTICES EN GRANDES CULTURES :
QUELLES REPONSES NOUS APPORTENT LES ESSAIS DESHERBAGE ?**

S. CORDEAU ⁽¹⁾, F. DESSAINT ⁽¹⁾, C. DENIEUL ⁽²⁾, L. BONIN ⁽³⁾, F. VUILLEMIN ⁽⁴⁾,
M. DELATTRE ⁽⁵⁾, A. RODRIGUEZ ⁽⁶⁾, J-P. GUILLEMIN ⁽¹⁾, B. CHAUVEL ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Agroécologie, AgroSup Dijon, Inra, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France
(stephane.cordeau@inra.fr ; fabrice.dessaint@inra.fr; bruno.chauvel@inra.fr, jean-philippe.guillemain@agrosupdijon.fr)

⁽²⁾ Agrosolutions, 83 avenue de la Grande Armée, 75116 Paris (cdenieul@agrosolutions.com)

⁽³⁾ ARVALIS Institut du végétal, Station expérimentale, 91720 Boigneville (l.bonin@arvalisinstitutduvegetal.fr)

⁽⁴⁾ Terres Inovia, avenue Lucien Brétignières, 78850 Thiverval-Grignon (f.vuillemin@terresinovia.fr)

⁽⁵⁾ Dijon-Céréales, 4 bd de Beauregard, BP 4075, 21604, Longvic Cedex (marc.delattre@dijon-cereales.fr)

⁽⁶⁾ ACTA, Station Inter-instituts, 6 chemin de la côte vieille, 31 450 Baziège (alain.rodriguez@acta.asso.fr)

RÉSUMÉ

Les adventices des cultures sont des plantes qui se caractérisent par des contraintes (aspects négatifs) qui sont supérieures aux services (aspects bénéfiques) qu'elles peuvent produire dans l'agrosystème. Même si peu d'études contestent leur nuisibilité directe, les mauvaises herbes agissant comme un compétiteur pour les ressources, et ces ressources étant spatialement et temporellement dynamiques, il est difficile de généraliser tant la variabilité de la nuisibilité directe est grande. Cette étude a analysé 110 essais désherbage (témoins non traités vs. une large gamme de parcelles traitées), menés en France de 1993 à 2015 sur trois grandes cultures annuelles : blé tendre d'hiver, colza d'hiver et tournesol. En blé, 92% des essais montrent une perte significative de rendement (en moyenne -26 q/ha sur tous les essais), 51% en colza (en moyenne -3,5 q/ha sur tous les essais) et 61% en tournesol (en moyenne -4,1 q/ha sur tous les essais). Les pertes de rendements sur colza ont été étudiées en fonction de l'infestation initiale et de l'efficacité de désherbage. Les pertes non significatives sont majoritairement dues à une faible infestation, plus qu'à une mauvaise efficacité du désherbage.

Mots-clés : Compétition, perte de rendement, efficacité de désherbage, essais désherbage, blé, colza, tournesol.

ABSTRACT

THE DIRECT HARMFUL EFFECT OF WEEDS IN FIELD CROPS: WHAT DO HERBICIDE TRIALS TELL US?

Weeds are plants whose undesirable qualities ("harmfulness") outweigh their desirable qualities (trophic resources). Few studies conclude that weeds do not affect crop yield. However, it is difficult to generalize since weeds compete with crops for resources and these resources are spatially and temporally variable. This study analyzed 110 herbicide trials (untreated vs. treated plots) performed in France from 1993 to 2015 on three major grain crops: winter wheat, winter oilseed rape and sunflower. Significant yield losses were found in 92% of wheat trials (average over all trials: -2.6 t/ha), 51% of winter oilseed rape trials (average: -0.35 t/ha) and 61% of sunflower trials (average: -0.41 t/ha). Wheat yield losses were not related to weed density in untreated plots. Yield losses in oilseed rape were related to weed density in untreated plots and herbicide efficacy. Non-significant yield losses are more due to low weed density before treatment than low herbicide efficacy.

Keywords: Competition, yield loss, weeding efficacy, weeding trial, wheat, oilseed rape, sunflower.

INTRODUCTION

La flore adventice se définit de manière très générale comme l'ensemble des plantes qui se développent spontanément dans les milieux modifiés par l'homme (Meunault et Rousseau, 1902). La dénomination « mauvaises herbes » désigne l'ensemble des plantes adventices (Bouscasse, 1883) qui, par leur développement, gênent les activités humaines agricoles. C'est donc une vision anthropo-centrée qui domine dans leur définition comme « l'ensemble des plantes indésirables où elles se trouvent ». Dans les agrosystèmes, ces espèces peuvent être perçues comme une gêne pour l'espèce cultivée et la réalisation de certaines activités agricoles. Par leur présence et leur abondance, elles peuvent constituer un risque de pertes de revenus pour l'agriculteur en réduisant la quantité et la qualité de la récolte ou en ralentissant son travail (Zimdahl, 2013).

La nuisibilité des adventices dans une culture annuelle a été caractérisée dans la littérature scientifique française selon trois grands types (Caussanel, 1989) : (i) *nuisibilité primaire directe*, quand les adventices concurrencent par compétition ou réduisent par allélopathie la croissance et/ou le développement de la plante cultivée; (ii) *nuisibilité primaire indirecte*, quand les plantes adventices diminuent l'état sanitaire de la culture ou la qualité de la récolte ou augmentent le coût des travaux culturaux, etc... ; (iii) *la nuisibilité secondaire*, quand les plantes adventices graine et réalimentent le stock semencier du sol, pouvant conduire à amplifier la nuisibilité les années suivantes. Nous ne traiterons dans cet article que de la **nuisibilité primaire directe** exprimée essentiellement au travers de la compétition pour les ressources trophiques.

La nuisibilité primaire directe se caractérise principalement (si on néglige l'allélopathie) par la compétition qu'exercent les adventices sur les plantes cultivées pour les ressources (eau, lumière et nutriments). D'un point de vue écologique, la compétition se définit comme une relation négative entre deux individus (de même espèce ou d'espèces différentes) qui se partagent une même ressource limitée (Clements *et al.*, 1929). Ainsi, le niveau de compétition dépend du niveau des ressources disponibles, de la durée de co-occurrence des individus, de la densité et de l'aptitude des individus à prélever ces ressources. Or les ressources et la densité des espèces adventices sont fortement variables dans le temps et l'espace, et dépendent très largement des conditions pédo-climatiques et des pratiques des agriculteurs.

La compétition entre plantes adventices et cultivées a fait l'objet de nombreux travaux de quantification au champ (voir *e.g.* Caussanel, 1989 ; Zimdahl, 2007 ; Swanton *et al.*, 2015) et de formalisation en modèle (Cousens *et al.*, 1987 ; McDonald et Riha, 1999 ; Munier-Jolain *et al.*, 2013) depuis plus de 30 ans. Ils ont permis de mieux comprendre les processus de la compétition pour les ressources (*e.g.* Rajcan et Swanton, 2001). La nuisibilité des mauvaises herbes a fait l'objet de quantifications globales (Oerke, 2006 ; Zimdahl, 2007). A partir d'estimations mondiales, Oerke (2006) évalue les pertes de rendement sur blé dues aux mauvaises herbes entre 7,7% (perte actuelle) et 23% (perte potentielle). Avec plus de 1600 essais en Suède, Milberg et Hallgren (2004) estiment la perte de rendement à 5,4% (médiane : 3,8%) sur des céréales d'hiver. Aucune étude globale n'existe à notre connaissance sur le colza et le tournesol. Des données de nuisibilité existent mettant ces cultures en compétition avec des mauvaises herbes particulières et quantifient les pertes de rendement du colza (Lutman *et al.*, 2000 ; Primot *et al.*, 2006 ; Valantin-Morison et Meynard, 2008) ou du tournesol (Nalewaja, 1972 ; Durgan *et al.*, 1990 ; Onofri et Tei, 1994).

L'objectif de ce travail a été d'étudier les différences de rendements entre des parcelles non désherbées et désherbées chimiquement et d'identifier des liens de causalités avec la flore adventice, à partir des données d'essais de désherbage chimique pour trois grandes cultures dans une large gamme de situations pédo-climatiques.

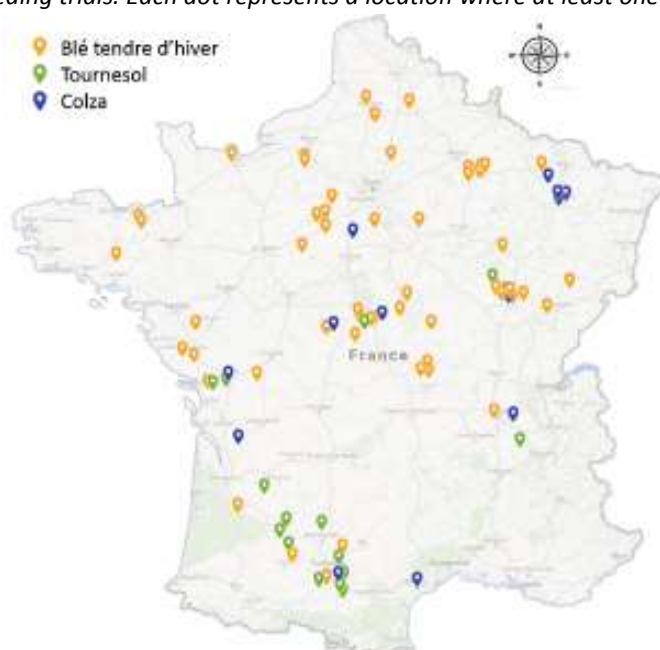
MATERIELS ET MÉTHODES

L'étude, toutes cultures confondues, rassemble 110 essais « désherbage » menés en France entre 1993 et 2015, dans 96 communes réparties sur 41 départements (Figure 1). Trois cultures ont été analysées : le blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum* L.; 63 essais), le colza (*Brassica napus* L.; 29 essais) et le tournesol (*Helianthus annuus* L.; 18 essais) bien répartis dans leurs bassins de production (Figure 1).

Un essai « désherbage » est défini comme une expérimentation testant différents programmes herbicides menée une année sur un site expérimental par un organisme. Il se compose de plusieurs blocs contenant chacun *a minima* une parcelle témoin non traitée (*i.e.* non désherbée) et un ensemble de parcelles traitées (gamme de substances actives et/ou mélange de substances actives et/ou gradient de doses).

Figure 1 Carte de répartition des essais désherbage chimique par culture. Chaque point représente une commune où a été mené au moins un essai.

Map of the chemical weeding trials. Each dot represents a location where at least one trial took place.



DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

Généralement, les dispositifs expérimentaux sont de type blocs aléatoires complets avec un nombre de blocs qui peut varier selon les essais (de 2 à 5). Chaque essai est disposé dans une zone homogène de la parcelle. Si une hétérogénéité existe, les blocs sont disposés perpendiculairement au gradient d'hétérogénéité. Dans ce travail, le mode d'action et le type de produits (substance active seule, association de substances actives, date d'application etc..) n'ont pas été discriminés.

DONNEES COLLECTEES

Flore adventice

Les essais désherbage ont pour objectif initial de tester les modalités de désherbage chimique choisies sur une flore choisie. Ainsi, sur chaque essai, les espèces dominantes sont listées, mais cette information ne sera pas utilisée dans cette étude. La flore adventice est évaluée dans les parcelles TNT à la date du traitement réalisé sur les parcelles traitées. L'abondance totale est quantifiée (nombre d'individus par m²) par dénombrement sur 4 à 8 quadrats (0,25 m²) lancés aléatoirement dans 4 à 8 parcelles TNT de l'essai (<http://www.afpp.net/Bases/methodesCEB/methodesRC.asp>).

Efficacité de désherbage

Les micro-parcelles désherbées ont pour objectif initial d'être comparées les unes aux autres et au témoin non-traité afin d'évaluer l'efficacité des modalités choisies, sans toutefois rechercher dans tous les essais un objectif de désherbage maximal. L'efficacité de désherbage (%) est notée visuellement sur chaque parcelle traitée, en comparaison au TNT, *a minima* 45 jours après traitement. Le pourcentage traduit une réduction du biovolume d'adventices qui tient donc compte de l'abondance et de la biomasse adventices.

Rendement

Le rendement de la culture est mesuré par pesée de la quantité de grains récoltée sur chaque parcelle (TNT et T) et est exprimée en q/ha. La différence de rendement entre les témoins non traités et les parcelles traitées est calculée par bloc dans chaque essai.

ANALYSE DE DONNEES

La différence de rendement entre parcelles désherbées (T) et non désherbées (TNT) est obtenue à partir d'un modèle linéaire prenant en compte l'effet bloc et l'effet traitement.

$$\text{Rendement} = \text{Bloc} + \text{Traitement} + \text{erreur}$$

Ce modèle est utilisé pour l'ensemble des essais pris séparément. L'effet du traitement est obtenu après avoir éliminé l'effet bloc. Cet effet correspond à la différence de rendement entre la parcelle non traitée (TNT) et la moyenne des parcelles traitées (T). Pour chaque différence, on a aussi calculé un intervalle de confiance à 95%.

Au-delà de ces effets individuels essais par essais, on a approché un effet global pour l'ensemble des essais d'une même culture (Zaykin, 2011). Cet effet est obtenu en combinant les informations issues des analyses individuelles réalisées sur chaque essai. Pour cela nous avons utilisé les P-valeurs associées à l'effet du traitement obtenues pour les différents modèles pour calculer une P-valeur combinée (weighted Z-test, Zaykin, 2011) :

$$p_{\text{combinée}} = 1 - \Phi\left(\frac{\sum w_i Z_i}{\sqrt{\sum w_i^2}}\right)$$

avec $Z_i = \Phi^{-1}(1 - p_i)$, p_i la P-valeur du $i^{\text{ème}}$ essai et w_i la pondération utilisée, ici l'inverse de l'erreur type (SE) de l'effet. L'interprétation se fait exactement comme un test statistique classique, tel que si la $p_{\text{combinée}}$ est inférieure au seuil de 5%, on considère que la différence de rendement entre TNT et T est significative. L'ensemble des analyses de données ont été réalisées avec le logiciel R (R Core Team, 2016) et le package metap (Dewey, 2016). Les graphiques ont été réalisés à l'aide du package ggplot2 (Wickham, 2009).

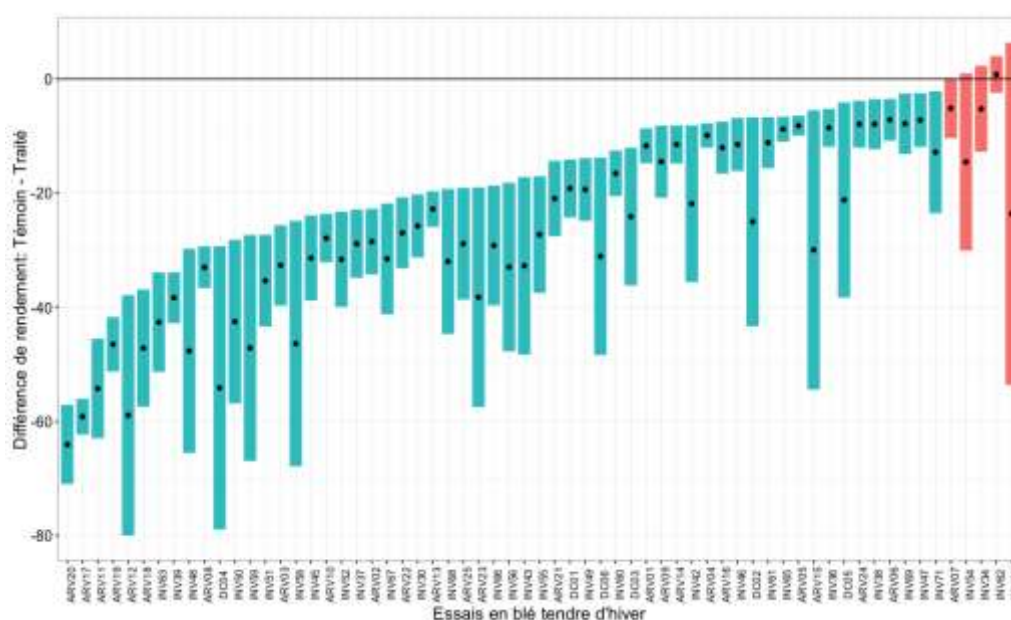
RESULTATS

BLE TENDRE D'HIVER

Sur les 63 essais en blé tendre d'hiver, 92% (i.e. tous sauf 5) indiquent une perte de rendement significativement différente de 0 au seuil de 5% lorsque la parcelle n'est pas traitée (Figure 2). La perte moyenne sur l'ensemble des essais est de -26 q/ha. La plage de variation des valeurs est importante avec des pertes de rendements qui peuvent atteindre -64 q/ha et un gain maximal de 0,8 q/ha. Globalement l'ensemble des essais met en évidence une perte de rendement significative ($P_{\text{combinée}} < 0,0001$).

Figure 2 : Différence de rendement (q/ha) entre les parcelles non traitées (TNT) et les parcelles traitées (T) pour les 63 essais en blé tendre d'hiver. Les points noirs représentent la différence de rendement moyenne d'un essai. La longueur de la barre représente l'intervalle de confiance à 95%. Les essais présentent une différence de rendement significativement ou non significativement différente de zéro (seuil de 5%) sont en bleu et rouge respectivement.

Yield loss (q/ha) of winter wheat between non treated and treated plots assessed with 63 trials. Black dots are averaged yield losses over modalities of a trial. The length of bars represents 95% confidence interval. Trials showed significant (blue) and non-significant (red) yield losses from zero (alpha = 5%).

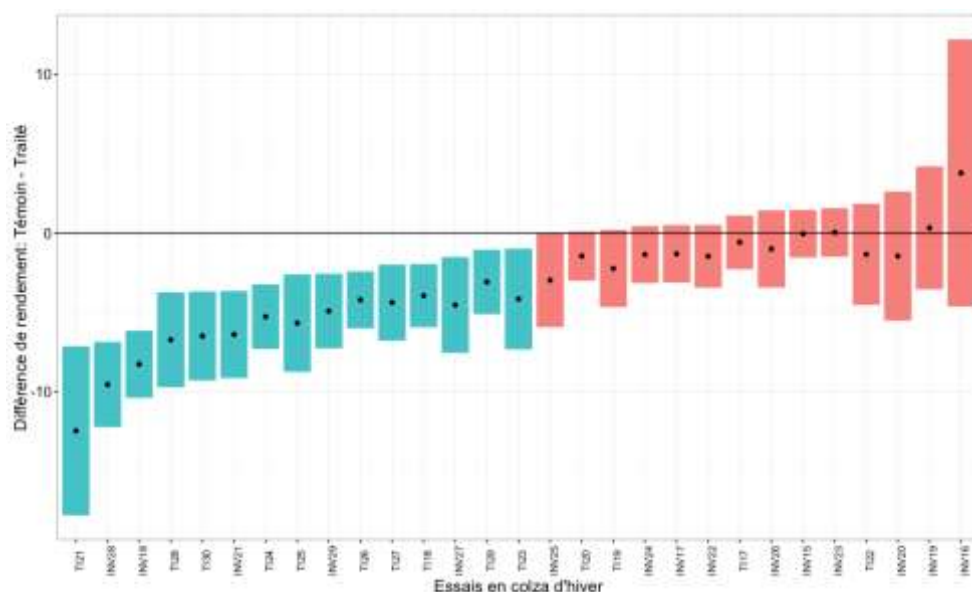


COLZA D'HIVER

La moitié des 29 essais en colza d'hiver (51%) indiquent une perte de rendement significativement différente de 0 au seuil de 5% lorsque la parcelle n'est pas traitée (Figure 3). Pour les autres essais, la différence (perte ou gain) n'est pas significativement différente de 0. La perte de rendement moyenne sur l'ensemble des essais est de -3,5 q/ha, avec une plage de variation allant de -12,4 à 3,8 q/ha. Globalement l'ensemble des sites met en évidence une perte de rendement significativement différente de 0 ($P_{\text{combinée}} < 0,0001$).

Figure 3 : Différence de rendement (q/ha) entre les parcelles non traitées (TNT) et les parcelles traitées (T) pour les 29 essais en colza d'hiver. Les points noirs représentent la perte de rendement moyenne d'un essai, la longueur de la barre représente l'intervalle de confiance à 95%. Les essais présentent une différence de rendement significativement ou non différente de zéro (seuil de 5%) sont en bleu et rouge respectivement.

Yield loss (q/ha) of winter oil seed rape between non treated and treated plots assessed with 29 trials. Black dots are averaged yield losses over modalities of a trial. The length of bars represents 95% confidence interval. Trials showed significant (blue) and non-significant (red) yield losses from zero (alpha = 5%).

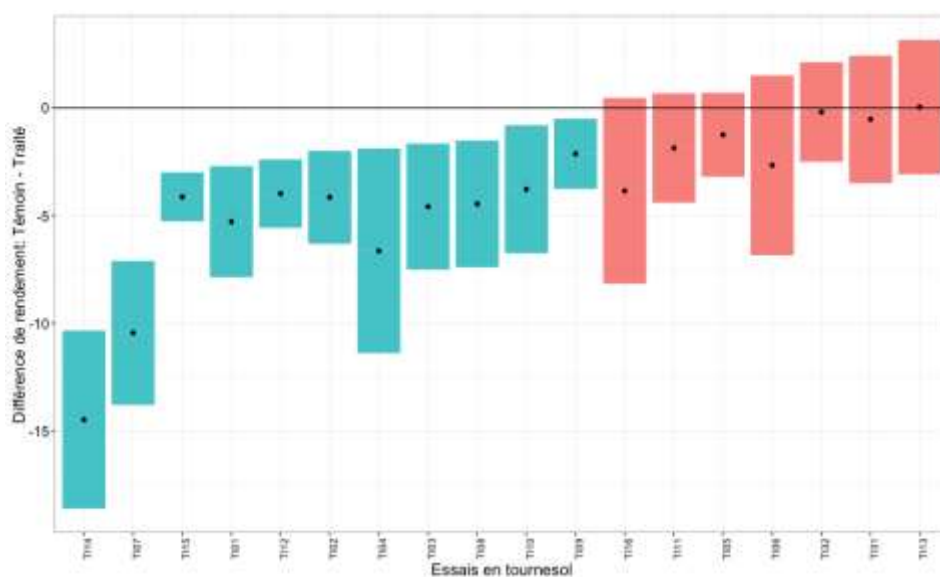


TOURNESOL

Sur les 18 essais en tournesol, 61% indiquent une perte de rendement significativement différente de 0 au seuil de 5% lorsque la parcelle n'est pas traitée (Figure 4). La perte moyenne sur l'ensemble des essais est de 4,1 q/ha, avec des valeurs variant de -14,5 à 0,04 q/ha. Globalement l'ensemble des essais met en évidence une perte de rendement significativement différente de 0 ($P_{\text{combinée}} < 0,0001$).

Figure 4 : Différence de rendement (q/ha) entre les parcelles non traitées (TNT) et les parcelles traitées (T) pour les 18 essais en tournesol. Les points noirs représentent la différence de rendement moyenne d'un essai, la longueur de la barre représente l'intervalle de confiance à 95%. Les essais présentent une différence de rendement significativement ou non différente de zéro (seuil de 5%) sont en bleu et rouge respectivement.

Yield loss (q/ha) of sunflower between non treated and treated plots assessed with 18 trials. Black dots are averaged yield losses over modalities of a trial. The length of bars represents 95% confidence interval. Trials showed significant (blue) and non-significant (red) yield losses from zero (alpha = 5%).



RELATION ENTRE PERTE DE RENDEMENT ET FLORE ADVENTICE : CAS DU COLZA

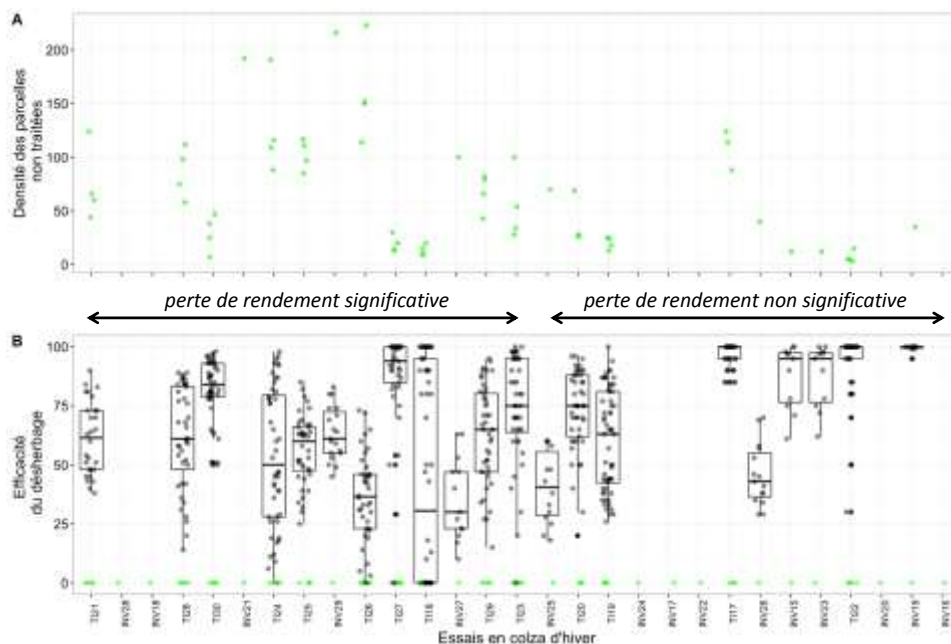
La variabilité des pertes de rendements observées peut être due à une infestation initiale forte (densité totale d'adventices observées dans les TNT, Figure 5A) ou à des faibles efficacités de désherbage (cas possible dans les essais désherbage) qui laissent une flore résiduelle compétitive (Figure 5B).

Les essais désherbage colza qui ne montrent pas de perte de rendement significative (partie droite de la figure 5) présentent une densité adventice dans le TNT globalement plus faible que les essais qui présentent une perte de rendement significative (Figure 5A). On observe quelques exceptions à cette tendance, comme les essais INV25, TI20 et TI17 où l'infestation dans le TNT se situe entre 75 et 125 plantes/m². Les essais INV25 et TI20 montrent des efficacités de désherbage faibles (Figure 5B), ce qui explique que la flore résiduelle ait pu concurrencer la culture. En revanche, l'essai TI17 montre des efficacités très fortes, ce qui indique soit que le colza a pu tolérer cette espèce adventice à cette densité et ne montrer aucune perte de rendement, soit un manque de sélectivité de certains traitements herbicides.

Les essais désherbage qui montrent une perte de rendement significative (partie gauche de la figure 5) présentent globalement une densité adventice dans le TNT élevée entre 50 et 250 plantes/m² (Figure 5A) et des efficacités de désherbage très variables (Figure 5B). Ainsi, la flore précoce et/ou tardive (après traitement) a pu concurrencer la culture. Quelques exceptions sont notables : les essais TI30, TI27 et TI18 montrent une perte de rendement significative avec une faible densité adventice dans le TNT (< 20 plantes/m²) et des efficacités de désherbage variables mais particulièrement élevées pour TI27. Cela indique que la flore précoce était peu dense et l'était encore moins après désherbage, et a pourtant conduit à des pertes de rendement, sûrement due à une espèce adventice particulière.

Figure 5 : Densité adventice (plantes/m²) dans les témoins non traités (panneau A) et efficacité de désherbage (% , panneau B) des 29 essais en colza d'hiver. Les essais sont ordonnés selon l'importance de l'effet TNT-T (Figure 3). Les points verts et noirs sont respectivement les parcelles TNT et T. La hauteur des boîtes à moustaches représentent la variabilité des parcelles T seulement.

Total weed density (individuals/m²) in untreated plots (panel A) and herbicide efficacy (% , panel B) assessed with 29 winter oilseed rape trials. Trials (X-axis) were ordered according to yield loss (Figure 3). Green and black dots are untreated and treated plots respectively. The interquartile range of boxplot depicts for variability of treated plots only.



DISCUSSION

PERTES DE RENDEMENT LIEES A L'ABSENCE D'UN DESHERBAGE CHIMIQUE

Pour les trois cultures, l'analyse des essais « désherbage » montre des différences de rendements entre parcelles non traitées (TNT) et parcelles traitées (T) qui se traduisent, lorsqu'elles sont significativement différentes de 0, par des pertes. Aucun des essais ne présente de gain de rendement significatif, même si ponctuellement des parcelles traitées ont un rendement inférieur aux parcelles non traitées. En moyenne, la perte de rendement sur l'ensemble des essais est de 26 q/ha pour le blé, de 3,5 q/ha pour le colza et de 4,1 q/ha pour le tournesol. Ces valeurs sont une première approximation des pertes de rendement observées qui devront être modulées en tenant compte de la variabilité des essais. Les études ayant tenté de quantifier les pertes de rendement liées aux adventices sont peu nombreuses et concernent majoritairement des cultures majeures comme le blé. Les pertes quantifiées en blé dans cette étude confirment la littérature. Cette étude apporte une quantification de la perte de rendement lorsque la flore adventice n'est pas désherbée chimiquement en colza et en tournesol.

VARIABILITE DES PERTES POUR UNE MEME CULTURE

Le pourcentage d'essais présentant une perte de rendement est plus important pour le blé (92%) que pour les deux autres cultures (51% et 61% respectivement pour le colza et le tournesol). Néanmoins, pour les trois cultures, on observe une forte variabilité des valeurs estimées. Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine de cette variabilité : gamme des traitements testés et de leur efficacité, diversité de la flore dominante et de sa densité, etc. L'étude de l'ensemble de ces facteurs fera l'objet d'analyses complémentaires. Par exemple, en tournesol, très peu d'essais de notre base de données étaient implantés sur des parcelles comportant une flore difficile (lampourde, datura, datura, ambroisie, ...), alors que les agriculteurs sont souvent confrontés à ces espèces dans la réalité.

Cas du colza d'hiver

Néanmoins, dans cette étude, une première série d'analyses sur le cas du colza semble mettre en évidence que les pertes non significatives de rendement s'expliquent par une pression adventice faible (densité dans le TNT faible) plus que par une faible efficacité du désherbage (flore résiduelle après traitement forte). Un unique cas présente une perte non significative observée à forte densité dans le TNT et forte efficacité de désherbage. L'espèce dominante était la stellaire intermédiaire

(*Stellaria media*). Sur colza, Lutman *et al.* (2000) démontre que la stellaire intermédiaire peut créer des pertes de rendement du 5% du colza pour des densités variant très largement (de 1,4 à 328 plantes/m²). Par expertise la stellaire intermédiaire a été caractérisée comme une espèce à faible potentiel de nuisibilité (communication personnelle, ACTA et Terres Inovia).

Il existe dans la littérature scientifique très peu d'articles qui décrivent la nuisibilité des mauvaises herbes sur le rendement du colza (Lutman *et al.*, 2000 ; Primot *et al.*, 2006). La capacité du colza à compenser une croissance faible en début de cycle est connue (Valantin-Morison et Meynard, 2008). Il a été identifié par diagnostic agronomique que les mauvaises herbes sont l'un des facteurs les plus limitants du rendement du colza (Valantin-Morison et Meynard, 2008).

La gamme d'herbicides disponibles pour cette culture entre 1993 et 1996 (période étudiée ici) ne permet pas de désherber certaines espèces, comme les crucifères (sur lesquels les herbicides ont en général une efficacité inférieure à 30%). Les espèces de géranium, flore également classique en colza, se désherbent difficilement.

UTILISATION DES ESSAIS « DESHERBAGES » POUR ETUDIER LA NUISIBILITE

Infestation de la parcelle

La flore adventice présente est généralement plurispécifique avec des espèces dominantes qui peuvent être très différentes d'un essai à l'autre. Elle n'a pas été ni sélectionnée, ni semée, contrairement à la majorité des études réalisées pour caractériser la compétition. Les essais désherbage que nous avons étudiés constituent donc de réels cas d'étude au champ où la flore n'a pas été artificiellement semée.

Nous avons émis l'hypothèse forte que la densité de flore sur le TNT était homogène sur la parcelle d'essais. Même si les essais sont mis en place sur une zone réduite de la parcelle, la flore adventice n'y est pas répartie de manière totalement homogène mais plutôt en taches (Cardina *et al.*, 1997), à l'intérieur desquelles les espèces et les densités peuvent varier. De plus, cette distribution en taches fait varier les seuils de nuisibilité intra-parcellaires (Thornton *et al.*, 1990).

La densité totale de plantes adventices n'est pas un bon indicateur de nuisibilité car elle ne donne pas d'information sur la période d'émergence de la flore et donc la période de co-occurrence avec la culture qui est identifiée comme primordiale dans l'explication de la compétition culture-adventice (Zimdahl, 1988 ; Knezevic et Datta, 2015). De même, toutes les espèces n'ont pas la même capacité à interférer avec la culture (Thornton *et al.*, 1990 ; Onofri et Tei, 1994).

Efficacité de désherbage et rendement

L'efficacité de désherbage est évaluée plusieurs semaines après le traitement. Elle traduit une réduction du biovolume des mauvaises herbes. Même si on connaît la densité dans le TNT, elle peut être utilisée pour calculer une densité de flore résiduelle après traitement mais avec extrême précaution. L'efficacité de désherbage est évaluée en comparaison de la parcelle TNT qui lui est pairée dans le même bloc, et constitue bien un indicateur visuel de la réduction de densité et de biomasse adventices, évaluée par un expert. L'efficacité est une mesure d'autant plus intéressante qu'elle est évaluée à la parcelle, tout comme le rendement. Cette double information est nécessaire, car c'est à cette échelle locale que se produit la compétition.

Besoin pour caractériser la nuisibilité directe

Même s'ils sont chronophage, la biomasse produite (Milberg et Hallgren, 2004) ou la surface foliaire relative (Kropff et Spitters, 1991 ; Van Acker *et al.*, 1997) ont été identifiées comme meilleur prédicteur de la nuisibilité que la densité car elles traduisent mieux le rapport de force entre la culture et la mauvaise herbe dans la capture et la transformation des ressources (eau, lumière, nutriment) en biomasse. Milberg et Hallgren (2004) démontrent que la biomasse des mauvaises herbes est un bon indicateur et explique plus de 30% de la variabilité des pertes de rendement des céréales d'hiver dues aux mauvaises herbes.

Il pourrait être intéressant mais chronophage de disposer sur les essais d'un témoin « 0-adventice » obtenu sans désherbage chimique qui permettrait de mieux identifier l'effet des mauvaises herbes en éliminant les effets potentiels de l'action de désherbage sur la culture. Dans cette étude, le traitement herbicide certes réduit la flore adventice (avec une efficacité variable) mais avec des effets de phytotoxicité difficile à évaluer.

CONCLUSION

Cette étude a permis de rassembler de nombreux essais sur un large gradient pédoclimatique entre 1993 et 2015. Sur une majorité de situations, une perte de rendement en situations non désherbées a été observée sur les trois principales cultures que sont le blé tendre d'hiver, le colza d'hiver et le tournesol. Des analyses plus approfondies sur le jeu d'essais permettront de mieux caractériser les relations flore adventice/rendement. Nous avons néanmoins observé sur le cas du colza d'hiver que la majorité des essais qui ne montraient pas de pertes de rendement, comportaient une densité adventice faible, à l'exception d'un cas. Nous avons également démontré que les essais avec pertes de rendements étaient en situation d'infestation forte à l'exception de trois cas.

Ce travail montre l'importance d'étudier la nuisibilité de la flore adventice avec des essais désherbage en prenant en compte l'infestation initiale, l'efficacité de désherbage, mais également la composition spécifique adventice. Pour augmenter la qualité de cette étude, nous envisageons d'augmenter le nombre d'essais répertoriés pour compléter l'échantillonnage des cultures comme le colza et le tournesol et l'étendre au maïs grain, d'approfondir les analyses en fonction des types de flore et des types de traitement (pré/post). De plus, il est important de mentionner que cette analyse a été menée sur une base de données très riche mais très bruitée, car aucune sélection d'essais ou modalités n'a été faite. Il y a donc une grande marge de progression pour affiner les résultats, par type de flore, par type de traitement, par durée de co-occurrence flore/culture, en expliquant les liens flore adventice/culture dans une grande gamme d'infestation et d'efficacité de désherbage. Néanmoins, nous avons démontré à ce stade des résultats significatifs majeurs, et affiner notre étude ne viendra que renforcer ces messages.

La justification agronomique du désherbage (quelle que soit la méthode utilisée) reste un sujet d'étude important dans la littérature scientifique. La nuisibilité et le coût engendré pour l'agriculteur par ces bioagresseurs des cultures sont plus que jamais d'actualité dans le monde agricole (Denieul, 2013) comme dans la littérature scientifique (Fickett *et al.*, 2013 ; Fahad *et al.*, 2015 ; Swanton *et al.*, 2015 ; Soltani *et al.*, 2016). Au-delà de la nuisibilité directe, caractérisée ici par la perte de rendement, il est nécessaire de garder à l'esprit que les mauvaises herbes peuvent aussi avoir une nuisibilité indirecte (impact sur la qualité de récolte, relais de maladies à enjeux sanitaire, ...) et secondaire (réalimentation des stocks semenciers avec un potentiel de nuisibilité pour les campagnes futures). Enfin, dans une vision globale, il est aujourd'hui important d'entrevoir que les plantes adventices peuvent fournir des services écosystémiques (Marshall *et al.*, 2003) même s'ils restent difficiles à estimer.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée avec le concours du RMT Florad. Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble des expérimentateurs des stations expérimentales des instituts techniques et des coopératives agricoles du Réseau Invivo qui ont mené les essais désherbage.

BIBLIOGRAPHIE

Bouscasse C., 1883 - Destruction des herbes nuisibles aux plantes agricoles. Moreau Fils, Nantes (France). 110 p.

Cardina J., Johnson G.A., Sparrow D.H., 1997 - The nature and consequence of weed spatial distribution. *Weed Science*, 364-373.

Caussanel J.-P., 1989 - Nuisibilité et seuil de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle : situation de concurrence bispécifique. *Agronomie*, 9, 219-240.

- Clement F. E., Weaver J. E., Hanson H. C., 1929. *Plant Competition: An analysis of community function*, Publ. No 398, Carnegie Institute, Washington DC, 340p.
- Cousens R., Brain P., O'Donovan J. T., O'Sullivan P. A., 1987 - The use of biologically realistic equations to describe the effects of weed density and relative time of emergence on crop yield. *Weed Science*, 720-725.
- Dewey M., 2016 - metap: meta-analysis of significance values. R package version 0.7.
- Denieul C., 2013 - Est-il encore nécessaire de désherber ? AFPP – 22e Conférence du Coloma Journées Internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes. Dijon (France) – 10, 11 et 12 Décembre 2013.
- Durgan B.R., Dexter A.G., Miller S.D., 1990 - Kochia (*Kochia scoparia*) interference in sunflower. *Weed Technology*, 1, 52-56.
- Fahad S., Hussain S., Chauhan B.S., Saud S., Wu C., Hassan S., Tanveer M., Jan A., Huang J., 2015 - Weed growth and crop yield loss in wheat as influenced by row spacing and weed emergence times. *Crop Protection*, 71, 101-108.
- Fickett N.D., Boerboom C.M., Stoltenberg D.E., 2013 - Soybean yield loss potential associated with early-season weed competition across 64 site-years. *Weed science*, 61, 500-507.
- Knezevic S.Z., Datta A., 2015 - The critical period for weed control: revisiting data analysis. *Weed Science*, 63(sp1), 188-202.
- Kropff M.J., Spitters J.T., 1991 - A simple model of crop loss by weed competition from early observations on relative leaf area of the weeds. *Weed Research*, 31, 97-105.
- Lutman P.J.W., Bowerman P., Palmer G.M., Whytock G.P., 2000 - Prediction of competition between oilseed rape and *Stellaria media*. *Weed Research*, 40, 255-269.
- Marshall E.J.P., Brown V.K., Boatman N.D., Lutman P.J.W., Squire G.R., Ward L.K., 2003 - The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research*, 43, 77-89.
- McDonald A.J., Riha S.J., 1999 - Model of crop: weed competition applied to maize: *Abutilon theophrasti* interactions. I. Model description and evaluation. *Weed research*, 39, 355-369.
- Meunault E., Rousseau H., 1902. *Les plantes nuisibles en agriculture et en horticulture*. Octave Doin et Librairie Agricoles, Paris. P.314.
- Milberg P., Hallgren E., 2004 - Yield loss due to weeds in cereals and its large-scale variability in Sweden. *Field Crops Research*, 86, 199-209.
- Munier-Jolain N.M., Guyot S.H.M., Colbach N., 2013 - A 3D model for light interception in heterogeneous crop: weed canopies: model structure and evaluation. *Ecological modelling*, 250, 101-110.
- Nalewaja J.D., 1972 - Weeds: Coexistence or control. *Journal of Environmental Quality*, 1, 334-349.
- Oerke E., 2006 - Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144, 31-43.
- Onofri A., Tei F., 1994 - Competitive ability and threshold levels of three broadleaf weed species in sunflower. *Weed Research*, 34, 471-479.
- Primot S., Valentin-Morison M., Makowski D., 2006 - Predicting the risk of weed infestation in winter oilseed rape crops. *Weed Research*, 46, 22-33.
- R Core Team, 2016 - R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rajcan I., Swanton C.J., 2001 - Understanding maize–weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. *Field Crops Research*, 71, 139-150.
- Soltani N., Dille A.J., Burke I.C., Everman W.J., VanGessel M.J., Davis V.M., Sikkema P.H. 2016 - Potential corn yield losses due to weeds in North America. *Weed Technology*, in press
- Swanton C. J., Nkoa R., Blackshaw R. E., 2015 - Experimental methods for crop-weed competition studies. *Weed Science*, 63, 2-11.
- Thornton P. K., Fawcett R. H., Dent J. B., Perkins T. J., 1990 - Spatial weed distribution and economic thresholds for weed control. *Crop Protection*, 9, 337-342.
- Valantin-Morison M., Meynard J.M., 2008 - Diagnosis of limiting factors of organic oilseed rape yield. A survey of farmers' fields. *Agronomy for sustainable development*, 28, 527-539.

- Van Acker R.C., Lutman P.J.W., Froud-Williams R.J., 1997 - Predicting yield loss due to interference from two weed species using early observations of relative weed leaf area. *Weed Research*, 37, 287-299.
- Wickham H., 2009 - *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer, New York.
- Zaykin D.V., 2011 - Optimally weighted Z-test is a powerful method for combining probabilities in meta-analysis. *Journal of Evolutionary Biology*, 24, 1836-1841.
- Zimdahl R.L., 1988 - The concept and application of the critical weed-free period. Pages 145–155
- Zimdahl R.L., 2007. *Weed-crop competition: a review*. John Wiley & Sons.
- Zimdahl, R.L., 2013. *Fundamentals of weed science*. Academic Press. 648 p.