

Végéphyll – 24^e CONFÉRENCE DU COLUMA
JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES
ORLÉANS – 3, 4 et 5 DÉCEMBRE 2019

OROBANCHE RAMEUSE DU TABAC (*Phelipanche ramosa* L.) :

IDENTIFIÉ DE NOUVELLES SOLUTIONS CONVENTIONNELLES ET DE BIOCONTROLE.

C. VACHER ⁽¹⁾, L. GATARD ⁽²⁾, L. GUINCHARD ⁽³⁾, C. REIBEL ⁽³⁾, N. GAUTHERON⁽³⁾, F. DESSAINT ⁽³⁾,
C. DELYE ⁽³⁾, V. EDEL-HERMANN ⁽³⁾, C. STEINBERG ⁽³⁾, S. GIBOT-LECLERC ⁽³⁾

⁽¹⁾ ARVALIS Institut du végétal – Station Expérimentale de Boigneville – 91720 BOIGNEVILLE – France

⁽²⁾ CT2F – 2 rue de Rome – 67300 SCHILTIGHEIM – France

⁽³⁾ INRA Dijon, UMR Agroécologie, 17 rue de Sully – 21065 Dijon - France

RESUME

L'orobanche rameuse, *Phelipanche ramosa* L., est une plante parasite obligatoire, qui, en quelques années est devenue un problème agronomique majeur pour la culture de tabac en France. Deux approches visant à contrôler les orobanches ont été testées dans le cadre du projet ELIOT regroupant Arvalis, la coopérative CT2F et l'INRA de Dijon. La première porte sur les herbicides de la famille des sulfonilurées, dont le rimsulfuron et le sulfosulfuron et un herbicide systémique de la famille des cyclohexanediones, la cléthodime. Les résultats, bien qu'instructifs ne traduisent pas un contrôle efficace de l'orobanche. La seconde approche porte sur la recherche de souches de champignons d'origine tellurique, pathogènes de l'orobanche. Un grand nombre de souches fongiques associées aux symptômes observés sur des orobanches ont été isolées. La majorité appartient au genre *Fusarium*. Certaines inhibent la germination des graines ou/et provoquent des nécroses sur les tiges d'orobanche rameuse du tabac. Ces résultats augurent d'un mycoherbicide potentiel mais nécessitent d'être validés en co-culture en sol.

Mots-clés : *Phelipanche ramosa* L., tabac, rimsulfuron, sulfosulfuron, lutte herbicide, mycoherbicide.

ABSTRACT

The branching broomrape, *Phelipanche ramosa* L. is an obligate parasitic plant, which in a few years became a major agronomic problem for tobacco crops in France. Two approaches, aiming at controlling broomrape were tested within the framework of the ELIOT project grouping Arvalis, the CT2F cooperative and the INRA center of Dijon. The first relates to sulfonilurea herbicides, including rimsulfuron and sulfosulfuron and a systemic herbicide of the cyclohexanediones family, clethodim. The results, although instructive, do not reflect an effective control of broomrape. The second approach deals with the search for soil-borne fungi that are pathogenic to broomrape. A large number of fungal strains associated with symptoms observed on broomrapes have been isolated. Most belongs to the genus *Fusarium*. Some inhibit the seeds germination or / and cause stem necrosis on tobacco branching broomrape. These promising results of a potential mycoherbicide need to be validated in co-culture in soil.

Keywords: *Phelipanche ramosa* L., tobacco crop, rimsulfuron, sulfosulfuron, chemical method, mycoherbicide

INTRODUCTION

La culture de tabac s'étend en France sur environ 2 800 ha. Les principales régions productrices sont Nouvelle Aquitaine, Occitanie, Pays de Loire et Alsace. La réussite de la culture tient grandement à l'homogénéité du couvert et à la croissance régulière des plantes. Ces caractéristiques sont mises à mal par l'orobanche rameuse qui représente une véritable concurrence pour les tabacs et une menace pour l'équilibre de la filière tabac en France (Brault et al. 2007).

Les orobanches sont des plantes parasites obligatoires ou holoparasites dépourvues de chlorophylle. Elles se fixent sur les racines d'une plante hôte pour y prélever l'ensemble des ressources nécessaires à leur croissance et à leur reproduction. Si la majorité des espèces d'orobanches parasitent des plantes sauvages, l'orobanche rameuse (*Phelipanche ramosa* (L.) Pomel) possède un large spectre d'hôtes comprenant de nombreuses espèces cultivées dont le tabac, le colza, le chanvre, la tomate de plein champ..., ainsi que des adventices (Boulet et al 2013 ; Gibot-Leclerc et al 2003). En quelques années, cette plante parasite est devenue un problème agronomique majeur pour la culture de tabac. Cependant la présence du parasite est très hétérogène d'une région à l'autre, d'une exploitation à l'autre, d'une parcelle à l'autre et même au sein d'une même parcelle.

Sur l'aire d'activité de la Coopérative Tabac Feuilles de France (CT2F) qui représente au moins 75% des zones touchées par l'orobanche, avec deux secteurs distincts, l'Alsace et la zone Poitou-Charentes/Pays de Loire, la présence d'orobanche rameuse entraîne des pertes de rendement qui varient de 5 à 20% selon les années et un manque à gagner évalué à 800 000 euros en 2017. Cette situation amène les tabaculteurs à réduire la surface ou à abandonner la culture par manque de terres saines disponibles.

Les techniques utilisées pour gérer la flore adventice du tabac (désherbage chimique, mécanique par exemple) n'ont pas d'impact direct sur cette adventice dont plus de la moitié du cycle de reproduction se passe sur le système racinaire de son hôte (Colbach et al 2017). La gestion de cette adventice passe actuellement par la mise en œuvre de mesures prophylactiques :

Dans les parcelles faiblement infestées, choisir une variété « tolérante »

- Maitriser la lutte contre les adventices
- Allonger la rotation en limitant la présence de plantes cultivées hôtes (chanvre, colza...)
- Nettoyer les outils à la sortie de la parcelle infestée et récolter les parcelles infestées en dernier
- Après récolte, détruire rapidement les repousses de tabac et travailler le sol, avant que l'orobanche n'ait le temps de finir son cycle et de fructifier.
- Arracher les premiers foyers dès leur apparition
- En cas de parcelle fortement infestée, ne plus y cultiver ni tabac ni toute autre culture hôte.

Au-delà des méthodes prophylactiques dont le respect n'est pas toujours facile du fait de leur caractère contraignant, des approches sont actuellement tentées pour identifier des cultures intermédiaires comme le lotier corniculé par exemple, qui stimule la germination suicide des graines d'orobanche (Perronne et al 2017).

Le projet ELIOT, fruit d'une collaboration entre Arvalis, AgroSupDijon, l'INRA de Dijon et les acteurs de la filière tabacole a pour ambition de caractériser la diversité génétique des populations d'orobanche rameuse infestant la culture de tabac et d'évaluer la pertinence de solutions herbicides conventionnelles et de biocontrôle pour proposer une stratégie de lutte intégrée contre l'orobanche du tabac. Cette communication présente uniquement les premiers résultats des solutions herbicides conventionnelles et évoque la piste développée pour identifier un agent de biocontrôle potentiel.

MATERIELS

Herbicides conventionnels

Les herbicides de la famille des sulfonilurées, au sens large, sont des substances actives largement utilisées à travers le monde pour lutter contre les adventices des cultures et sont souvent citées pour leur effet sur le développement de l'orobanche rameuse (Habimana et al. 2014). Toutefois, des problèmes de phytotoxicité pour la plante hôte sont souvent rapportés ce qui limite leur utilisation en absence de variété tolérante aux herbicides (VTH). Par ailleurs, un herbicide systémique de la famille des cyclohexanediones a été récemment autorisé en culture de tabac pour gérer les

graminées ; Le caractère systémique de la molécule pourrait se révéler intéressant pour gérer l'orobanche. C'est pourquoi le rimsulfuron et le sulfosulfuron, deux sulfonilurées utilisées pour gérer le parasite sur tomate en Italie (Testi et al 2016) et la cléthodime d'autre part seront testés dans nos essais. Il s'agira d'en préciser les conditions d'emploi pour concilier réduction des populations d'orobanche et l'innocuité vis - à - vis de la culture.

Recherche de Mycoherbicides

Une campagne de prospection conduite dans les régions françaises productrices de tabac et quelques pays européens (Allemagne, Espagne, Hongrie, Italie) confrontés au même problème d'orobanche rameuse a permis de collecter plusieurs centaines d'orobanches présentant des symptômes divers. De cette collecte, 525 souches fongiques ont été isolées par des techniques de microbiologie classique, après que la surface des orobanches ait été désinfectée à l'alcool. Tous les isolats ont été identifiés au niveau du genre (et certains au niveau de l'espèce) sur la base de critères morphologiques observés au microscope et de critères moléculaires. Ils appartiennent majoritairement au genre *Fusarium*. Une sélection de 87 souches fongiques représentatives de leur diversité taxonomique et de leur provenance géographique a été réalisée pour tester leur pathogénicité sur l'orobanche.

METHODES

Herbicides conventionnels

Quatre essais ont été implantés entre 2017 et 2018 :

Deux essais en pots, dans la serre tunnel d'un producteur de plant de tabac à Linazay (86), et un essai au champ, implanté sur la commune de Pliboux (79), dans une parcelle de tabac fortement contaminée par l'orobanche rameuse. Ces trois essais ont permis de tester le rimsulfuron et le sulfosulfuron.

Un essai en pots en contamination artificielle avec des semences d'orobanche (100 000/pot) a été conduit dans les serres du Centre INRA de Dijon pour tester la cléthodime.

A. Essais en pot

Les pieds de tabac type Virginie ITB 683, variété très sensible à l'orobanche sont transplantés dans des pots de 14 l remplis de terre type argilo-calcaire à cailloux, naturellement contaminée et prélevée dans la parcelle des essais au champ. Un brassage préalable du sol, à l'aide d'une bétonnière, est réalisé avant le remplissage des pots afin d'homogénéiser la pression parasitaire. Chaque pot, contenant environ 12 litres de sol est équipé de goutteurs auto-régulants.

Chaque modalité se compose de 30 pots répartis en trois séries de 10 pots consécutifs. C'est un dispositif en blocs de Fisher à trois répétitions et témoin inclus qui est retenu. Pour chaque herbicide, la dose maximale testée correspond à la dose homologuée en France sur les cultures pour lesquelles les produits disposent d'une Autorisation de Mise en Marché (AMM) à l'exception de la modalité rimsulfuron 30 g P.C. (Produit Commercial) /ha *3 fois. Pour les deux substances actives testées, la quantité de produit apportée par pot est calculée pour une densité de plantation de 30 000 pieds/ha. L'ensemble des solutions herbicides est appliqué à la surface du pot à l'aide d'une éprouvette graduée. Le tableau I présente les différentes périodes d'application et doses de produit commercial étudiées.

Le prélèvement et l'observation hebdomadaire du système racinaire de trois plants de tabac témoin permettent de suivre le développement souterrain du parasite et de repérer le stade « bourgeon de l'orobanche » pour positionner et déclencher certaines interventions. Le stade « bourgeon de l'orobanche » se caractérise par l'apparition de racines adventives sur le tubercule âgé que forme l'orobanche après fixation sur la racine de son hôte.

Dès l'apparition de la première hampe florale d'orobanche rameuse à la surface d'un des pots de l'essai puis chaque semaine, on compte le nombre de pieds de tabac qui présentent des émergences ou sont morts à cause de l'orobanche. Les résultats sont exprimés en % de pieds de tabac présentant une émergence. Sur les deux dernières notations, une analyse de variance, au seuil de risque de 5%, est réalisée sur le nombre total de pots contaminés.

Tableau I : Produits, stade d'application et dose /ha (produit commercial)
 (Active ingredients, time of application (T) and dose /ha (commercial product))

Années	Matières actives (concentration)	Période d'application, stade de la culture et dose produit commerciale/ha			
		Plantation + 15 – 20 j (T1) (BBCH 1105)	Plantation + 30 – 35 j (T2) (BBCH 1105)	stade « Bourgeon de l'orobanche» (T3) (BBCH 2090)	Bourgeon + 15 jours (T4) (BBCH 3000)
2017	Rimsulfuron (250 g/kg)	60 g			
2017			60 g		
2017				60 g	
2017 et 2018			30g	30g	
2017 et 2018				30g	30g
2017 et 2018				40g	20g
2017 et 2018			20g	40g	
2017			15g	15g	30g
2017			30 g	30 g	30 g
2017		Sulfosulfuron (80%)		25 g	
2017				25 g	
2017			12.5 g	12.5 g	
2017				12.5 g	12.5 g
2017 et 2018	Témoin non traité				

B. Essai au champ

L'essai au champ est mis en place, en 2017, sur la commune de Pliboux (79), dans une parcelle de tabac maintenue en monoculture depuis cinq ans pour des besoins expérimentaux et fortement infestée par l'orobanche. C'est la variété Virginie ITB 6172 tolérante à l'orobanche qui a été retenue. Le choix d'une variété tolérante pour l'essai au champ est important pour assurer un développement satisfaisant du tabac et limiter le risque de destruction de la culture sous l'effet de la pression parasitaire comme cela s'est produit en 2015.

Chaque parcelle se compose de quatre rangs de tabacs espacés de 85 cm. C'est un dispositif en blocs à quatre répétitions et témoin non traité inclus qui est retenu. Chaque rang de tabac est bordé par un tuyau microporeux relié individuellement au réseau d'irrigation¹. Après reprise des pieds de tabac et buttage de la parcelle, sur les deux rangs centraux, quatre placettes de 20 pieds consécutifs sont identifiées. Ces placettes restent en place jusqu'à la destruction du dispositif et servent de zone de comptage.

Le rimsulfuron est la seule spécialité testée dans l'essai au champ. L'herbicide est appliqué soit par voie foliaire à l'aide d'un pulvérisateur expérimental, et un adjuvant (TREND) est ajouté à la bouillie de pulvérisation selon les recommandations du fabricant ; soit par injection dans le réseau d'irrigation goutte à goutte (chemigation)(injection pendant 15 mn de 20 l de solution herbicide à 2 bars de pression). L'observation hebdomadaire du système racinaire de 60 pieds de tabac prélevés au hasard dans le témoin permet de positionner le déclenchement de certaines applications. Le tableau II présente les différentes époques de traitement pour chaque mode d'application. Dès l'apparition de la première orobanche à la surface du sol dans les placettes de comptage du témoin, on compte dans chaque placette de chaque parcelle, le nombre de pieds qui présentent une ou des émergences ou qui sont morts à cause de l'orobanche. Les résultats sont exprimés en % de pieds infestés. Ces comptages sont complétés, si nécessaire, par une estimation du rendement (note à dire d'expert) et de la hauteur moyenne de la culture.

¹ Gaine jetable 200 microns, un goutteur tous les 40 cm, débit 0.8 l/h à 1 bar soit environ 20m³ /ha/h.

Tableau II : Produits, stade d'application et dose /ha (produit commercial)
Active ingredients, time application (T) and dose /ha (commercial product)

Mode d'application	Matières actives	Stade d'application et dose produit commerciale/ha			
		Plantation + 15 – 20 j (T1)	Plantation + 30 – 35 j (T2)	Stade bourgeon de l'orobanche (T3)	bourgeon + 15 jours (T4)
	Témoin non traité				
CHEMIGATION (herbicide injecté dans le réseau d'irrigation)	Rimsulfuron (250 g/kg)			60 g	
					60 g
			30g	30g	
		15 g	15 g	30 g	30g
APPLICATION FOLIAIRE	Rimsulfuron + TREND 90 (250 g/kg) + 0.1%		60 g		
				60 g	
					60 g
			30g	30g	
				30 g	30 g
			20 g	40 g	
		15 g	15 g	30 g	
30 g	30 g	30 g			

C. Essai en serre

L'essai est réalisé dans les serres du Centre INRA de Dijon dans des pots individuels de 2 l répartis sur six tablars. Le substrat est un mélange constitué de 2/3 de terre argilo-calcaire (provenance Centre INRA de Montpellier) et 1/3 de sable inoculé avec 1 ml de graines d'orobanche rameuse par pot, ce qui correspond à environ 100 000 graines. Les semences ont été prélevées d'hampes florales matures d'orobanche collectées dans une parcelle de tabac naturellement infestée dans la région d'Aigre (16). L'arrosage et l'apport en solution nutritive se font à l'aide de goutteurs (deux goutteurs par pot). Les conditions de culture sont : 16h jour/ 8h nuit et 23°C jour/19° C nuit. Les plantules de tabac (variété Virginie ITB 683) sont plantées 14 jours après l'inoculation du substrat, soit à l'issue de la période de pré-conditionnement des graines d'orobanche. Douze pots sont disposés sur chaque tablar : un pot contenant un plant de tabac non parasité (correspondant à la biomasse maximale de tabac), deux pots contenant des plants de tabac parasités non traités (correspondant à la biomasse minimale de tabac) et neuf pots contenant des plants de tabac parasités traités. Trois doses de cléthodime ont été retenues : 120 g/l (dose pratique au champ), 300 g/l et 480 g/l. Pour chaque dose, la cléthodime est appliquée soit en application unique 30 jours après plantation (30 JAP) et au stade « bourgeon » de l'orobanche soit en programme de traitement et fractionnement de dose. La plantation est réalisée le 30 janvier 2018, l'application 30 JAP le 28 février et l'application au stade « bourgeon » le 10 avril 2018. Une analyse de variance est réalisée sur la biomasse sèche des parties aériennes du tabac complétée par un dénombrement du nombre d'orobanches présentes sur le système racinaire des plantes traitées et non traitées.

Recherche de Mycoherbicides

Les 87 souches fongiques sélectionnées ont été testées pour leur aptitude à inhiber la germination des graines d'orobanche. Ces graines sont désinfectées dans un bain d'éthanol 70% pendant cinq minutes, un bain d'hypochlorite de calcium 3% pendant cinq minutes puis rincées dans cinq bains d'eau. Elles sont placées à l'obscurité à 20°C sur des morceaux de papier filtre stériles imbibés d'eau pendant 14 jours. Les graines sont mises en contact avec les souches fongiques pendant sept jours à l'obscurité puis sont transférées sur un autre papier filtre contenant un stimulateur de germination, le GR24 qui est un analogue de strigolactones naturellement présents dans les exsudats racinaires

des plantes hôtes. Le pourcentage de graines ayant germé est déterminé à l'issue de sept jours d'incubation, toujours à l'obscurité et à 20°C. Le test est répété trois fois. Le témoin positif est la souche FT2 de *Fusarium oxysporum*, sélectionnée pour son activité inhibitrice de germination de graines d'orobanche par Boari et Vurro (2004). Le témoin négatif est la souche Fo47 de *F. oxysporum*. Isolée du sol de Chateaufort résistant aux fusarioses en 1978, cette souche est non pathogène et n'inhibe pas la germination des graines d'orobanche.

RESULTATS

Herbicides conventionnels

A. Essais en pots

1. *Rimsulfuron*

En 2017, l'observation hebdomadaire du système racinaire de trois plantes prélevées dans des pots témoins débute deux semaines après plantation. Les premières fixations sont observées 49 jours après plantation (JAP) et 63 JAP, des émergences affleurent à la surface de pots témoins et traités. L'évolution du pourcentage de pots témoins présentant une émergence d'orobanche est rapide ; quatre semaines après la sortie des premières hampes florales, plus de 90% des pots témoins présentent au moins une émergence (figure 1, courbe rouge). Les deux herbicides rimsulfuron et sulfosulfuron permettent de décaler ou ralentir l'émergence de l'orobanche rameuse sans toutefois empêcher la floraison du parasite et la reconstitution du stock semencier (figures 1, 2 et 3).

Quelle que soit la date d'intervention, les applications uniques de rimsulfuron à la dose de 60 g/ha ne sont pas suffisantes pour perturber le développement du parasite et diminuer la population (figure 1). Parmi les six programmes mis en comparaison, deux programmes se démarquent du témoin ; il s'agit des programmes rimsulfuron 40 g (bourgeon) puis 20 g (bourgeon + 15 j) et rimsulfuron 30 g (bourgeon) puis (bourgeon + 15 j), qui retardent plus efficacement que les autres le début des émergences et leur développement. Ces deux programmes sont statistiquement différents des témoins non traités comme le confirment l'analyse statistique réalisée sur le nombre total de pots contaminés pour l'observation 84 JAP (tableau III). Pour comparer les stratégies d'application intra-produits, la méthode des contrastes a été appliquée sur les observations 84 JAP ; elle n'a pas distingué les deux programmes précédents (Tableau III) même si les comptages indiquent une meilleure efficacité de la stratégie rimsulfuron 40 g (bourgeon) puis 20 g (bourgeon +15 j) par rapport au programme 2 fois 30 g /ha (figure 1). Par contre, ce type d'analyse met en évidence des différences supplémentaires. Le fractionnement de la dose de rimsulfuron 30 g 30 JAP (T2) puis bourgeon (T3) est différent du témoin et de l'application unique rimsulfuron 60 g à 30 JAP (T2) ; Cette méthode a également mis en évidence que dans le cas des programmes bourgeon (T3) puis bourgeon + 15j, la séquence 40 g au stade bourgeon complétés par 20 g quinze jours plus tard est plus efficace que la séquence inverse. L'analyse de variance réalisée sur la dernière date de comptage (notation du 20/09/17, figure 1) ne distingue pas les différentes stratégies d'application du témoin (ETR : 1.45, proba F : 0.167).

Tableau III : 2017 - Nombre moyen de pots présentant au moins une émergence d'orobanche rameuse 84 jours après plantation (JAP)(avant dernière notation) (moyenne de 3 blocs, 10 pots par bloc, ANOVA globale au seuil de 5% et test POSTHOC de comparaison multiple) - Mean number of pots with *Phelipanche ramosa*, 84 days after plantation (mean of 10 pots*3 replicates, pairwise comparison at P<5%)

Modalités	Nombre moyen de pots avec émergences 84 JAP		
	Comparaison multiple tout produit confondu	Comparaison multiple par groupe de produits : rimsulfuron	Comparaison multiple par groupe de produits : sulfosulfuron
Témoin non traité	9.33 a		
rimsulfuron 60 g/ha 15 JAP (T1)	8.67 a	8.67 ab	
rimsulfuron 60 g/ha 30 JAP (T2)	9.33 a	9.33 a	
rimsulfuron 60 g/ha bourg. (T3)	6.33 ab	6.33 abc	
rimsulfuron 30 g/ha T2 puis T3	4.33 abc	4.33 bcd	
rimsulfuron 30 g/ha bourg. (T3) puis 30 g/ha Bourg. + 15 j (T4)	2.67 bc	2.67 cd	
rimsulfuron 40 g/ha T3 puis 20 g/ha T4	0.67 c	0.67 d	
rimsulfuron 20 g/ha T3 puis 40 g/ha T4	5.67 abc	5.67 abc	
rimsulfuron 15 g/ha T1 puis T2 puis 30 g/ha T3	7 ab	7 abc	
rimsulfuron 30 g/ha T1 puis T2 puis T3	5.33 abc	5.33 abcd	
sulfosulfuron 25 g/ha 30 JAP (T2)	8.67 a		8.67 a
sulfosulfuron 25 g/ha bourg. (T3)	7 ab		7 a
sulfosulfuron 12.5 g/ha T2 puis T3	7.67 ab		7.67 a
sulfosulfuron 12.5 g/ha T3 puis T4	2.67 bc		2.67 b
E.T.R.	1.76		
P value	0.00 Significatif		

En 2018, les premières fixations sur les racines de plants de tabac apparaissent 37 jours après plantation et les premières émergences sont observées 70 jours après plantation. D'une année sur l'autre, pour des dates de plantation proches, la période de sortie des hampes florales est similaire. Un seul herbicide, le rimsulfuron, est testé par rapport à l'année précédente. Les modalités retenues sont les programmes qui ont donné les résultats les plus intéressants l'année précédente. L'évolution du pourcentage de pots témoins qui présentent au moins une émergence est plus lente que celle de l'année précédente (figure 2, courbe rouge). Le rimsulfuron appliqué en programme de traitement ralentit le développement de l'orobanche sans toutefois bloquer l'apparition des hampes florales. Parmi les 4 programmes testés, la séquence rimsulfuron 40 g (bourgeon) puis 20 g (bourgeon + 15 j) confirme son intérêt ; elle est statistiquement différente du témoin et du programme 20 g (30 JAP)(T2) puis 40 g (bourgeon) (T3) (Tableau IV). Bien identifier le stade bourgeon semble primordial pour positionner au mieux la première intervention ; mais nécessite de prélever des plantes de manière régulière à partir de la reprise de la culture.

Tableau IV : 2018 – Nombre moyen de pots avec au moins une émergence d'orobanche rameuse à la fin des observations (98 JAP) (moyenne de 3 blocs, 10 pots observés par bloc, ANOVA au seuil de 5%, a,b, groupes N.K.) - Number of pots with emerged shoots of *Phelipanche ramosa* at the end of the assay (mean of 10 pots observed x 3 replicates, per bloc, ANOVA at P = 0.05, means followed by same letters are not significantly different).

2018 – Modalités rimsulfuron et dose/ha	Nombre moyen de pots avec émergence 98 JAP (24/10/2018)
Témoin non traité	8.33 a
rimsulfuron 20 g 30 JAP (T2) puis 40 g Bourg. (T3)	7.33 ab
rimsulfuron 30 g 30 JAP (T2) puis 30 g Bourg. (T3)	5.67 abc
rimsulfuron 30 g bourg. (T3) puis 30 g bourg. + 15 j (T4)	3.67 bc
rimsulfuron 40 g bourg. (T3) puis 20 g bourg. + 15 j (T4)	2 c
E.T.R.	1.34
P.value	0.00 Significatif

Figure 1 : 2017 - Effet du rimsulfuron sur le pourcentage de pots avec présence d'émergence d'orobanche rameuse (10 pots observés * 3 blocs par modalité) - 2017 - Effects of rimsulfuron on the control of *Phelipanche ramosa* (10 pots * 3 replicates observed per treatments)

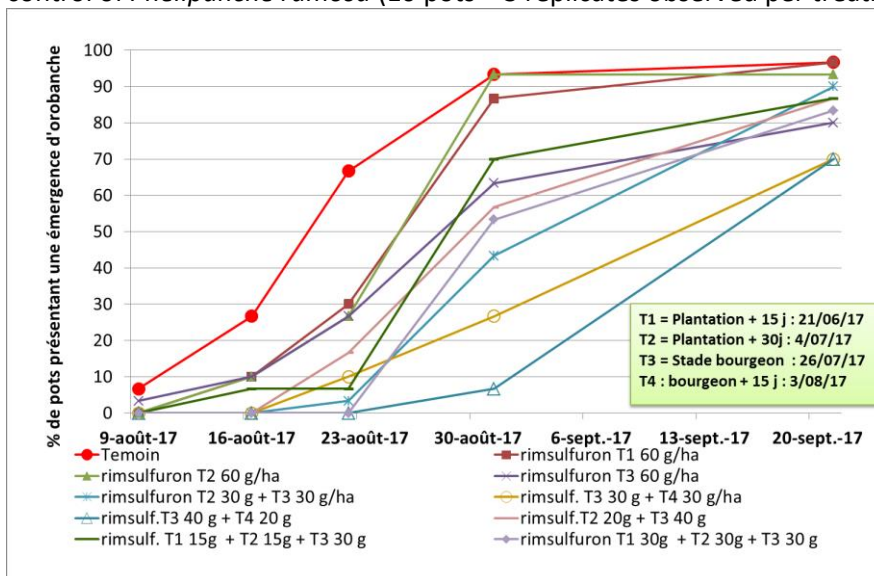
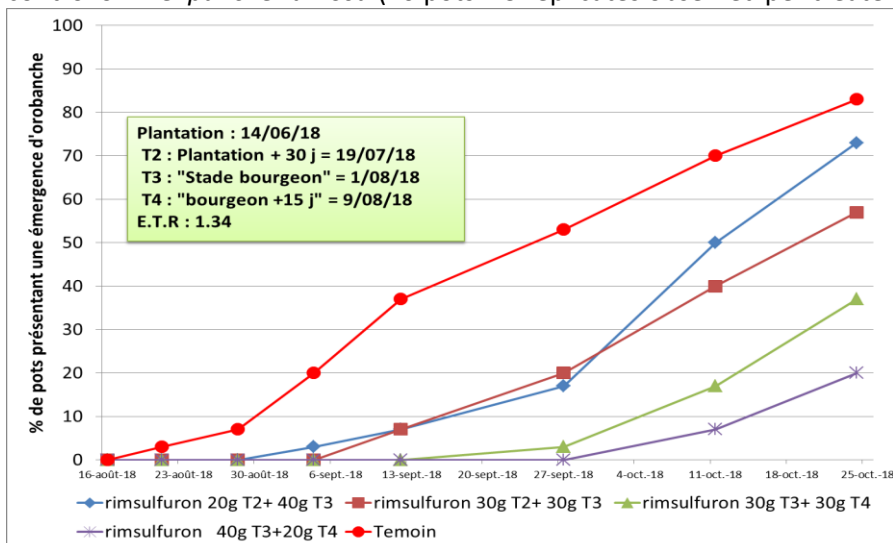


Figure 2 : 2018 -- Effet du rimsulfuron sur le pourcentage de pots avec présence d'émergence d'orobanche rameuse (10 pots observés * 3 blocs par modalité) - 2018 - Effects of rimsulfuron on the control of *Phelipanche ramosa* (10 pots * 3 replicates observed per treatments)

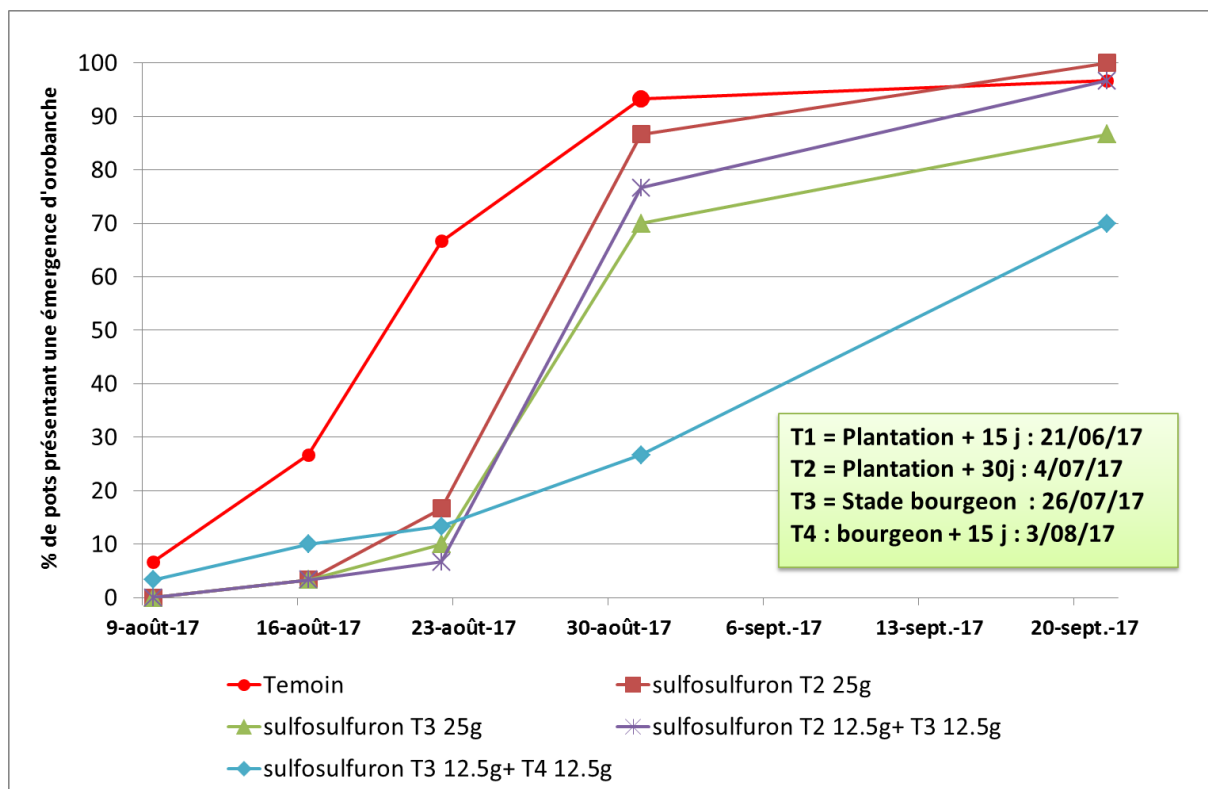


2. Sulfosulfuron

Le sulfosulfuron second herbicide testé de la famille des sulfonyles a uniquement été testé en 2017. Comme le rimsulfuron, il ralentit le développement de l'orobanche par rapport au témoin (figure 3). Parmi les différentes stratégies testées, c'est le programme sulfosulfuron 12.5 g (bourgeon) puis 12.5 g (bourgeon + 15 j) qui est plus intéressant qu'une application unique à 25 g au stade bourgeon ou à des applications plus précoces (tableau III).

Figure 3 : 2017 - Effet du sulfosulfuron sur le pourcentage de pots présentant une émergence d'orobanche rameuse (10 pots observés * 3 blocs par modalité)

2017 - Effects of rimsulfuron on the control of *Phelipanche ramosa* (10 pots * 3 replicates observed per treatments)

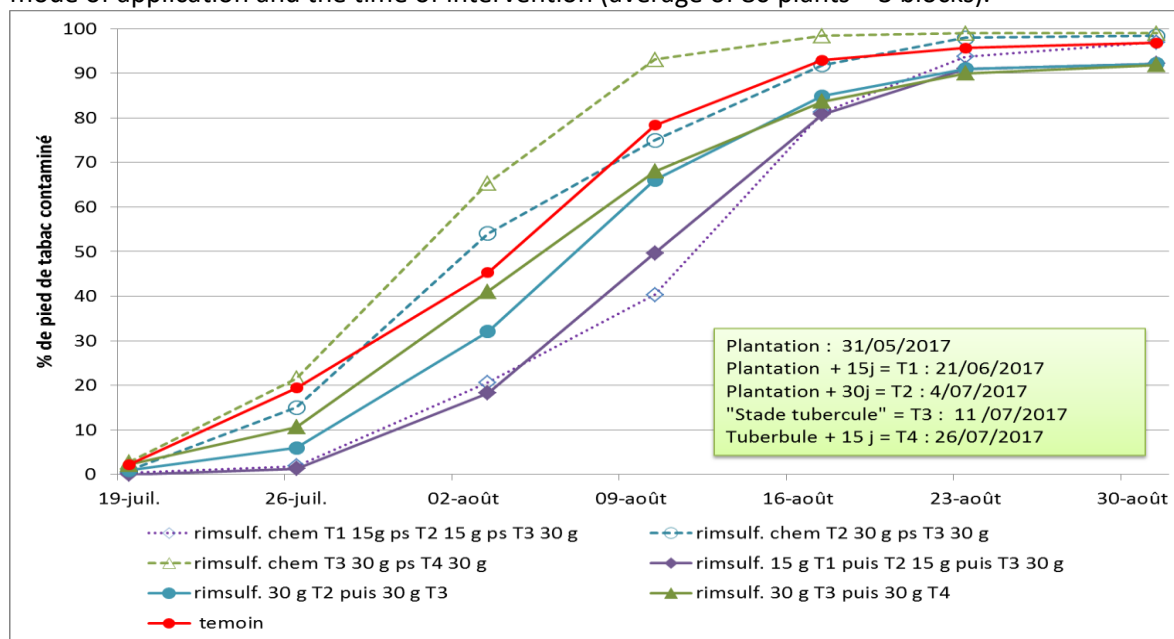


B. Essai au champ

L'observation régulière du système racinaire des tabacs des parcelles témoin montre une contamination plus précoce des racines qu'en serre. 15 jours après plantation (JAP), 1/3 des pieds de tabac type Virginie ITB 6172 prélevés présentent des fixations et 40 JAP, les premières émergences sont détectées (11/07/17). Cette différence avec l'essai en pot s'explique par une reprise plus rapide du tabac en plein champ. L'évolution du nombre de pieds présentant au moins une émergence est rapide et un mois après la sortie des premières orobanches (23/09/17) pratiquement tous les pieds dans les parcelles témoins présentent des hampes florales.

Au champ, on observe peu à pas d'effet du rimsulfuron sur l'orobanche rameuse, quelles que soient les stratégies (chemigation versus application foliaire, programme d'application...) (figure 4). Injecté dans le réseau d'irrigation goutte à goutte, le rimsulfuron est sélectif de la culture mais appliqué en pulvérisation foliaire, il présente une sélectivité réduite qui se manifeste par une crispation des feuilles de tabac, des décolorations et/ou un arrêt momentané de la végétation ; autant de symptômes qui peuvent altérer la qualité des feuilles à la récolte. Cet essai n'a pas été reconduit.

Figure 4 : 2017 – Essai au champ – Evolution du nombre de pieds contaminés par l’orobanche en fonction du mode d’application et de l’époque d’intervention (moyenne de 80 pieds*3 blocs).
 2017 – field trial - Evolution of the number of plants contaminated by broomrape according to the mode of application and the time of intervention (average of 80 plants * 3 blocks).



C. Essai en serre

Cet essai concerne uniquement la cléthodime. L’essai réalisé en serre avec un substrat contaminé artificiellement confirme l’effet dépressif de l’orobanche sur les plants de tabac. Douze semaines après plantation, la biomasse des parties aériennes du tabac sain (substrat sans orobanche) s’élève en moyenne à 15.7 g/plante et celle des plants de tabac parasités par l’orobanche à 2.7 g/plante. L’orobanche rameuse affecte donc la biomasse des parties aériennes du tabac ($t=-16.849$, $p\text{-value} = 3.333e-09$).

Quelle que soit la dose utilisée (120 g/ha, 300 g/ha, 480 g/ha) et l’époque d’application (30 JAP, stade bourgeon, 30 JAP puis bourgeon), la cléthodime ne permet pas de contrôler le parasite et il n’y a pas de différence entre la biomasse des plants traités et des plants témoin parasités (tableau IV et V). Dans les deux cas, on a juste un effet bloc (localisation des tablars).

Tableau IV : Table d’analyse de variance 1 : Analyse la biomasse sèche aérienne du tabac traité cléthodime en fonction de la dose (120 g/ha, 300 g/ha et 480 g/ha) et de la période d’application (30JAP, bourgeon, 30JAP+bourgeon)

Analyses the aerial dry biomass of clethodim-treated tobacco based on dose (120 g/ha, 300 g/ha and 480 g/ha) and application period (30JAP, bud, 30JAP+bud).

	Degré de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Test-F	p-valeur
Bloc	5	10,3171	2,06341	3,0522	0,01997
Dose	2	1,7513	0,87567	1,2953	0,28505
Période d’application	2	0,2798	0,13991	0,2070	0,81392
Dose : Période	4	2,7094	0,67736	1,0020	0,41790
Résidus	40	27,0414	0,67603		

Tableau V : Table d'analyse de variance 2 : Comparaison de la biomasse sèche aérienne des plants de tabac traités au cléthodime avec celle des plants de tabac témoins infestés non traités.
 Comparison of dry aboveground biomass of clethodim treated tobacco plants with that of untreated infested control tobacco plant

	Degré de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Test-F	p-valeur
Bloc	5	14,246	2,84926	2,8541	0,02249
Effet	1	1,496	1,49562	1,4982	0,22582
Résidus	59	58,899	0,99829		

Recherche de Mycoherbicides

Il y a un continuum de zéro à 100% d'activité inhibitrice de la germination des graines d'orobanche au sein de la collection de 87 souches testées. Parmi les 87 souches étudiées, 20 souches présentent un taux d'inhibition de germination supérieur à 75%. Ces candidats prometteurs ont été évalués deux autres fois par la même méthode afin de confirmer les premiers résultats. Le taux de germination des orobanches en présence de champignon s'est révélé variable pour certaines souches, alors qu'il était très faible et de manière reproductible dans les trois expérimentations pour d'autres souches. Les 12 souches les plus prometteuses présentent un taux d'inhibition de germination supérieur à 95% et appartiennent au genre *Fusarium*. Ces souches ont révélé un taux d'inhibition supérieur à celui de la souche FT2.

DISCUSSION

Concernant les herbicides conventionnels, les résultats illustrent la difficulté de gestion posée par la présence de l'orobanche rameuse en culture de tabac.

Ils montrent aussi que même si la tomate et le tabac sont deux espèces appartenant à la famille des solanacées, il est difficile de transposer les résultats obtenus sur tomate au tabac. Le rimsulfuron est sélectif de la tomate et permet au champ de contenir l'infestation (Testi *et al*, 2016). Sur tabac, en pulvérisation foliaire, des effets non négligeables du produit ont été observés au champ. Il est aussi difficile de transposer directement les résultats observés dans les pots au champ.

Dans le cadre du projet Eliot, l'utilisation de champignons pathogènes pour l'orobanche est en cours d'exploration. En effet, lors des observations du système racinaire du tabac, il est fréquent d'observer des orobanches rameuses qui paraissent nécrosées d'où l'idée d'exploiter cette source potentielle de contrôle des orobanches. Ainsi 12 souches de *Fusarium* spp. sur les 87 testées, elles-mêmes représentatives d'une collection de 525 souches, se sont révélées très fortement inhibitrices de la germination des graines d'orobanche de manière reproductible (Gibot- Leclerc *et al*, 2018). Le fait que ces souches aient été isolées non pas de graines mais de tiges nécrosées laissent supposer qu'elles possèdent une double compétence pathogène (inhiber la germination des graines et nécroser les tiges souterraines), ce qui doit cependant être vérifié et validé par des tests en co-culture en sol. Néanmoins ces premiers résultats sont très encourageants et prometteurs.

CONCLUSION

L'orobanche rameuse du tabac reste un problème majeur en production de tabac puisqu'elle peut conduire à abandonner la culture dans les parcelles fortement contaminées. La transposition de méthodes de lutte chimique d'une culture à une autre, reste très difficile. Les résultats obtenus dans notre étude confirment le potentiel limité qu'offrent les herbicides conventionnels à ce jour. La recherche de nouvelles molécules est une nécessité néanmoins, la tendance actuelle (le plan Ecophyto en France, mais l'équivalent est mis en place partout en Europe) n'augure pas l'arrivée de nouveaux produits phytopharmaceutiques dans les prochaines années. C'est pourquoi le biocontrôle, et la recherche de mycoherbicides notamment, constitue une voie alternative qu'il faut explorer.

REMERCIEMENT

Le projet ELIOT a été réalisé avec le soutien financier de FranceAgriMer dans le cadre du Programme d'expérimentation en faveur de la filière Tabac.

Les auteurs remercient Anna Malpica (**Bergerac Seed Breeding**) pour la mise à disposition de plants de tabac lors de l'implantation de l'essai en serre à l'INRA Dijon.

BIBLIOGRAPHIE

- Boari A., Vurro M., 2004 - Evaluation of *Fusarium* spp. and other fungi as biological control agents of broomrape (*Orobancha ramosa*). *Biological Control* 30, 2, 212 – 219.
- Boulet C., Labrousse P., Arnaud MC., Zehhar N., Fer A., 2001 - Weed species present various responses to *Orobancha ramosa*. In : *Proceeding of the Seventh International Parasitic Weed Symposium*. Faculté des Sciences de Nantes, Nantes, France, 228-231.
- Brault M., Betsou F., Jeune B., Tuquet C & Sallé G., 2007 - Variability of *Orobancha ramosa* populations in France as revealed by cross infestations and molecular markers. *Environmental and Experimental Botany* 61, 3, 272–280.
- Colbach N., Bockstaller C., Colas F., Gibot-Leclerc S., Moreau D., Pointurier O., Villerd J., 2017 - Assessing broomrape risk due to weeds in cropping systems with an indicator linked to a simulation model. *Ecological Indicators* 82, 280-292.
- Gibot-Leclerc S., Brault M., Pinochet X., Sallé, G., 2003 - Potential role of winter rape weeds in the extension of broomrape in Poitou-Charentes. *C. R. Biol.* 326, 645–658.
- Gibot-Leclerc S., Guinchard L., Le Corre V., Dessaint F., Edel-Hermann V., Gatard L., Gautheron N., Malpica A., Reibel C., Vacher C., Steinberg C., 2018. Biocontrol against the root parasitic plant species *Phelipanche ramosa*, branched broomrape of tobacco. 18th European Weed Research Society Symposium, 17-21 June 2018, Ljubljana, Slovenia
- Habimana S., Nduwumuremyi A., Chinama R. J.D., 2014 - Management of orobanche in field crops – A review . *Journal of soil science and plant nutrition*. Vol 14 n° 1 Temuco mar.2014
- Perronne R., Gibot-Leclerc S., Dessaint F., Reibel C., Le Corre V., 2017 - Is induction ability of seed germination of *Phelipanche ramosa* phylogenetically structured among hosts? A case study on Fabaceae species. *Genetica* 145, 481- 489
- Testi V., Chiusa B., Boselli R., Fiorini A., Marocco A., Tabaglio V., 2016. Orobancha, buon contenimento con solfoniluree su pomodoro. *L'informazione Agrario*, 9 /2016