AGROCAMPUS OUEST
CFR Angers
2 rue André Le Nôtre
49045 ANGERS cedex 1

Triskalia
Z.I de Lanrinou
CS 20100
29206 Landerneau Cedex

Groupe ESA
55 Rue Rabelais
49007 Angers

Mémoire de Fin d'Etudes

Diplôme d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage

Année universitaire : 2013 – 2014
Spécialité : Fruits, Légumes, Alimentation et Marchés

Conception et évaluation d'itinéraires techniques AEI intégrant le désherbage mécanique en cultures légumières d'industrie

Par Marine Porchet

Soutenu à Angers le 5 septembre 2014

Devant le jury :
Sous la présidence de : Emmanuel GEOFFRIAU
Maître de stage **:** Sylvain LE SAOUT
Enseignants référents : Annie SALAT et Guillaume PIVA
Autre membre du jury : Michael BARRE

"Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST"

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance à Sylvain LE SAOUT, mon maître de stage, pour la confiance qu'il m'a accordé dès mon arrivée, pour avoir mis tout en œuvre pour que mon stage se déroule dans les meilleures conditions possibles et pour m'avoir permis d'acquérir de nouvelles connaissances et compétences.

Je remercie également Rémy BOUCHER, directeur du service, qui m'a accueilli dans son établissement et a pris toutes les dispositions nécessaires au bon déroulement de mon stage et à la réalisation de mon mémoire.

Merci aux différents chefs marché Julien PRAT, Laurent JOUANNO, Jean-René GLOAGUEN et Jean-Michel LE REST pour toute l'aide qu'ils m'ont apportée durant ces six mois, la patience qu'ils ont eu à mon égard et leur disponibilité pour répondre à mes interrogations

Plus généralement, merci à l'ensemble des techniciens de l'organisation de producteurs de légumes industrie de Triskalia pour leur accueil et leur disponibilité pour répondre à mes questions.

Mes remerciements s'adressent ensuite à Pierrick MENAGE et Olivier MERCIER au transport pour leur sympathie et leur bonne humeur.

Un grand merci aussi aux autres stagiaires du service avec qui j'ai passé d'agréables moments.

Pour terminer, je souhaite remercier ma famille et mes proches qui m'ont accompagnée et aidée pendant mes cinq années d'études.

Table des matières

Remerciements

Sigles et abréviations

Tables des figures et des illustrations

Liste des annexes

INTRODUCTION 1

I - TRISKALIA : 1ère COOPERATIVE EN BRETAGNE 2

A. Activités de l'entreprise 2

B. Le développement durable, une valeur essentielle du groupe 2

1. Planète positive : une démarche pour une Agriculture Ecologiquement Intensive 2

C. Le service Légumes Industrie de Triskalia 2

1. Une répartition géographique bien pensée 3

2. Qualité 3

II. CONTEXTE DE L'ETUDE 3

A. Vers une réduction des intrants extérieurs 3

1. La filière légumes industrie : une filière peu attractive pour les grandes firmes 3

2. Des attentes sociétales fortes 4

3. Un enjeu économique 4

4. Une organisation qui réfléchit à l'impact qu'elle génère sur l'environnement 4

B. La gestion du désherbage : une priorité 6

1. Le bassin versant du Sulon : un réel enjeu en centre Bretagne 6

2. Le désherbage : un poste important économiquement 6

3. Qualité : de réelles exigences de l'aval 7

III. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE 8

A. Bien connaître la biologie des adventices pour mieux les gérer 8

B. Des moyens de lutte diversifiés 8

1. La rotation : un levier préventif à ne pas négliger 9

2. Le désherbage mécanique : un moyen de lutte curatif 9

2.1 La bineuse 9
2.2 La houe rotative 10
2.3 La herse étrille 11
2.4 Conditions de réussite 11
C. Le désherbage mécanique : une alternative adaptée au contexte 12
D. Etat des liex des pratiques de désherbage mécanique en culture de pois et d'épinards 13
1. Désherbage mécanique en culture de pois 13
2. Désherbage mécanique en culture d'épinards 14
E. Bilan des essais de désherbage mécanique de la campagne 2013 15
F. Problématique 15

IV. MATERIEL ET METHODES 16
A. Description des sites d'expérimentation 16
1. Essai en culture d'épinards de printemps 16
2. Essais en culture de pois 17
B. Notations 18
C. Analyses statistiques 19

V – RESULTATS DES ESSAIS 20
A. Essai épinards – EARL du Beau village 20
1. Conséquences techniques 20
1.1 Densité d'épinards 20
1.2 Adventices 20
1.3 Rendement 22
1.4 Qualité 23
2. Conséquences économiques 24
B. Essais pois - La ville Calair (SCA Le Bihan Gloux) 25
1. Conséquences techniques 25
1.1 Densité de plants de pois 25
1.2 Adventices 25
1.3 Rendement 27
1.4 Qualité 28
1.4.1 Déchets 28
1.4.2 Tendérométrie 28

2. Conséquences économiques 29
C. Essais pois - La ville Rouault (EARL de Penhouedo) 30
1. Conséquences techniques 30
1.1 Densité de plants de pois 30
1.2.Adventices 31
1.3 Rendements 33
1.4 Qualité 33
1.4.1 Déchets 33
1.4.2. Tendérométrie 34
2. Conséquences économiques 34
D. Description de l'organisation du désherbage mécanique au sein de l'OP 34

VI – DISCUSSION ET PERSPECTIVES 35
A. Discussion et perspectives pour la culture d'épinards 35
B. Discussion et perspectives pour la culture de pois 36
C. Analyse de l'organisation 39
D. Limites de l'étude 40

CONCLUSION 41

Références bibliographiques 42

Annexes

Sigles et abréviations

CUMA : Coopérative d’utilisation de matériel agricole

EARL : Exploitation agricole à responsabilité limitée

ETA : Entreprise de Travaux Agricoles

ha : hectare

IFT : Indicateur de Fréquence des Traitements

m : mètre

OP : Organisation de Producteurs

SAGE : Schéma d'aménagement et de gestion des eaux

SARL : Société à responsabilité limitée

SAU : Surface Agricole Utile

SCA : Société Civile Agricole

Abréviations :

Rattrapage : herbicide appliqué en post-levée de la culture à la suite d’un premier traitement, ici, réalisé en post-semis

H4 : passage unique de herse étrille au stade 4 feuilles vraies de l’épinard

H6 : passage unique de herse étrille au stade 6 feuilles vraies de l’épinard

H4H6 : 2 passages de herse étrille au stade 4 feuilles vraies puis au stade 6 feuilles vraies de l’épinard

Table des figures et tableaux

Figures

Figure 1 : Logo de la démarche Planète Positive adoptée par le groupe Triskalia 2
Figure 2 : Répartition du chiffre d'affaire de Triskalia 2
Figure 3 : Organigramme du service légumes industrie de Triskalia 2
Figure 4 : Représentation des différents bassins de productions légumières en Bretagne 2
Figure 5 : Logo de la certification Agriconfiance 3
Figure 6 : Place des légumes destinés à l'industrie dans la répartition de la surface agricole utile (Source : UNILET, 2012) 3
Figure 7 : Chiffre d'affaires des légumes d'industrie par rapport au chiffre d'affaires de toutes les productions végétales hors vignes, plantes et fleurs, fourrages. (Source : UNILET, 2012) 3
Figure 8 : Constitution du référentiel de l'Agriculture raisonnée : règles concernant la gestion de l'exploitation et les modes de productions végétales et animales 4
Figure 9 : Représentation du fonctionnement de l'agriculture intensive conventionnelle (Source : M.Griffon, 2013) 5
Figure 10 : Représentation du fonctionnement de l'agriculture écologiquement intensive (Source : M.Griffon, 2013) 5
Figure 11 : Localisation du sous bassin versant du Sulon. (Source : Bretagne.synagri, 2012) 6
Figure 12 : IFT moyen des légumes et du colza sur le Sulon (A.Charter, 2013) 6
Figure 13 : Répartition des MAE par bassin versant en Bretagne (Source : Bretagne-synagri, 2014) 6
Figure 14 : Nuisibilité des adventices (Source : A. Prince, 2013) 7
Figure 15 : Répartition des charges en €/ha liés aux produits phytosanitaires pour une culture d'épinards ou de pois 7
Figure 16 : Efficacité du labour en fonction du TAD (Source : Agro-BASF, 2014) 8
Figure 17 : Profondeur de germination des adventices en fonction de leur taille 8
Figure 18 : Germination de plusieurs adventices à germination printanière (1) et printanière prolongée (2) (Source : Acta, 2002) 8
Figure 19 : Bineuse en culture de haricots 10
Figure 20 : Houe rotative en culture de haricots 10
Figure 21 : Herse étrille de l'OP légumes industrie de Triskalia en action : à droite en culture de pois, à gauche en culture d'épinards (Source : JP. Renoir, 2014) 11
Figure 22 : Réglages de l'agressivité de la herse étrille : équilibre de l'outil (1), inclinaison des dents (2), hauteur des roues de jauge (3), vitesse d'avancement (4) (Source : Chambre d'agriculture Nord Pas de Calais, 2012) 11
Figure 23 : Triangle de texture des sols (Source : IFV, 2009) 12
Figure 24 : Choix de l'outil en fonction du type de sol (Source : Chambre d'agriculture du Nord Pas de Calais - Ecophyto, 2013) 12
Figure 25 : Choix de l'outil en fonction de la flore adventices (Source : Chambre d'agriculture du Nord Pas de Calais - Ecophyto, 2013) 12
Figure 26 : Période du cycle de culture du pois et du haricot optimal pour un passage de herse étrille avec réglage des dents par ressort sur le même modèle que la herse étrille de l'OP légumes industrie de Triskalia (Agro-transfert, 2014) 14
Figure 27 : Calendrier de production des principaux légumes industriels 14
Figure 28 : Matériels et méthodes de l'expérimentation menée en Italie sur épinards destinés à l'industrie 15
Figure 29 : Schéma explicatif de la problématique choisie (Source : personnelle) 16
Figure 30 : Localisation de la parcelle d'épinards à Noyal-pontivy délimitée en rouge (Source : Google map, 2014) 17

Figure 31 : Plan de l'essai « désherbage mécanique en culture d'épinards » mis en place sur la parcelle de l'EARL du Beau village (Source : personnelle)..... 17
Figure 32 : Plan des essais en culture de pois. A gauche essai mis en place sur la parcelle « la ville calair » (SCA Le Bihan Gloux). A droite plan de l'essai mis en place sur la parcelle « la ville rouault » (EARL de Penhouedo). En blanc la partie essai et en vert le reste de la parcelle. L'encadré vert nous donne la surface de la parcelle sans la zone d'essai (figurée en blanc)..... 18
Figure 33 : Passage de herse étrille dans la culture de pois au stade 8 -10 cm du pois (Source : F.Bonfils, 2014)..... 18
Figure 34 : Outil utilisé pour la récolte des modalités de l'essai épinards (Source : personnelle)..... 19
Figure 35 : Récoltes des différentes modalités dans l'essai épinards (Source : personnelle)..... 19
Figure 36 : Perte de plants observée après le passage de herse, l'encadré rouge délimite la modalité « passage de herse au stade 4 feuilles vraies de l'épinard, sans rattrapage herbicide » (Source : personnelle)..... 20
Figure 37 : Densité de chénopodes, quantifiée sur la zone sans rattrapage herbicide avant les passages de herse le 25 avril et 4 jours après le 2ème passage de herse le 19 mai, en fonction de la conduite de désherbage mécanique (H4 : post-semis + passage au stade 4 feuilles vraies, H6 : post-semis + passage au stade 6 feuilles vraies de l'épinard, H4/H6 : post-semis + passages au stade 4 feuilles puis au stade 6 feuilles, Témoin : herbicide de post-semis uniquement)..... 20
Figure 38 : Densité de chénopodes pour la modalité « avec rattrapage » quantifiée après le passage de herse 21
Figure 39 : Densité de chénopodes pour la modalité « avec rattrapage » quantifiée avant le passage de herse (25.04.14) et 4 jours après le second passage de herse (19.05.14) en fonction de la conduite de désherbage mécanique..... 21
Figure 40 : Rendement obtenu après la récolte du 2 juin 2014 pour la partie essai dans sa globalité et pour le reste de la parcelle dont la conduite de désherbage incluait deux rattrapages..... 22
Figure 41 : Rendements bruts obtenus après récolte des micro-parcelles le 26.05.14 en fonction de la conduite de désherbage en post-levée (rattrapage ou non) et en fonction du stade de la culture d'épinards au moment du passage de herse étrille..... 21
Figure 42 : Feuilles mortes d'épinards séchées observées sur les nouvelles feuilles au moment de la récolte de la parcelle (Source : personnelle) 23
Figure 43 : Morceaux de feuilles mortes provenant des feuilles d'épinards coupées au stade 6 feuilles vraies de l'épinard 23
Figure 44 : Densité d'arroches en fonction de la conduite de désherbage comptabilisée une semaine après le passage de herse le 22.05.14 et juste avant la récolte le 07.07.14 25
Figure 45 : Densité de plants de petits pois sur la parcelle « la ville Calair » (SCA Le Bihan Gloux) avant le passage de herse et après le passage de herse..... 25
Figure 46 Densité de matricaires en fonction de la conduite de désherbage, comptabilisées une semaine après le passage de herse le 22.05.14 et juste avant la récolte le 07.07.14..... 26
Figure 47 : Présence de matricaires (fleurs blanches) dans la parcelle de pois « La ville Calair » à Loudéac (Source : personnelle)..... 27
Figure 48 : Une partie de la culture de pois broyée avant récolte (Source : personnelle)..... 27
Figure 49 : Efficacité finale en termes de destruction des matricaires en fonction de la conduite de désherbage..... 27
Figure 50 : Rendements bruts en fonction de la conduite de désherbage obtenus sur la parcelle la ville Calair à Loudéac suite à la récolte du 10 juillet 2014. 27
Figure 51 : Capitules floraux de matricaires (boutons jaunes) retrouvés dans les pois après récolte sur la zone de désherbage mixte incluant un passage de herse étrille au stade 8-10 cm du pois 28
Figure 52 : Prix payé pour une tonne de pois en fonction de leur tendérométrie (Source : Triskalia, 2014) 29
Figure 53 : Densité de plants de pois sur la parcelle « La ville Rouault » (EARL de Penhuedo) avant le passage de herse et après le passage de herse..... 30

Figure 54 : Evolution de la densité de fumeterres une semaine après le passage de herse (04.06.14) et une semaine avant la récolte (08.07.14) 31
Figure 55 : Evolution de la densité d'adventices (toutes adventices confondues) une semaine après le passage de herse (04.06.14) et une semaine avant la récolte (08.07.14) 31
Figure 56 : Densité d'arroches de la parcelle la ville Rouault en fonction de la conduite de désherbage quantifiée une semaine après le passage de herse le 04.06.14 et juste avant la récolte le 08.07.14 31
Figure 57 : Efficacité finale en fonction de la conduite de désherbage 32
Figure 58 : Rendements bruts en fonction de la conduite de désherbage obtenus sur la parcelle la ville Rouault à Trévé suite à la récolte du 15 juillet 2014. 33
Figure 59: Remontés de plastiques après passage de herse (Source : personnelle) 35
Figure 60 : Pluviométrie journalière du mois de mai 2014 à Loudéac (Source : Station météorologique de Loudéac, Météo France, 2014) 37
Figure 61: Rendement (YIELD) en fonction du logarithme de la tendérométrie des pois (LOG TR) et selon l'irrigation : culture de pois irriguée (IRRIGATED), culture non irriguée (NON-IRRIGATED) (Source : F. Dastgheib, 2004) 37
Figure 62 : Schéma du protocole expérimental proposé (Source : personnelle) 39
Figure 63 : Exemple de stratégie envisageable sur pois et féveroles 39
Figure 64 : Pois à 3 feuilles (Source : Chambre d'Agriculture 76) 39
Figure 65 : Evolution du coût d'utilisation d'une herse étrille de 12 m en fonction de la surface (courbe bleu) en comparaison au coût du passage de herse par l'ETA (courbe rouge) 40
Figure 66 : Evolution du coût d'utilisation d'une herse étrille de 6 m en fonction de la surface (courbe bleu) en comparaison au coût du passage de herse de l'ETA pour un passage en pois (courbe rouge) et pour un passage en épinards (courbe verte) 40

Tableaux

Tableau 1 : Méthodes de lutte contre les adventices à l'échelle du système de culture et de l'itinéraire technique. 9
Tableau 2 : Efficacité des trois principaux outils de désherbage mécanique en fonction de l'humidité du sol, vert : efficacité bonne, passage possible – orange : efficacité moyenne à faible - rouge : efficacité insuffisante ou passage impossible (Source : Arvalis, 2012) 12
Tableau 3 : Explication du choix de la technique de désherbage mécanique (Source : personnelle) 13
Tableau 4 : Détails des résultats obtenus après passage de différents outils de désherbage mécanique sur une culture de petits pois en agriculture biologique (Source : S.J Reddiex et al., 2001) 14
Tableau 5 : Synthèse des caractéristiques de la parcelle 17
Tableau 6 : Synthèses des différentes modalités de désherbage testées dans la parcelle d'épinards 9
Tableau 7 : Résultats du test de Kruskal Wallis qui compare les densités de chénopodes entre les différentes conduites de désherbage mécanique pour la partie herbicide de post-semis unique (sans rattrapage) 20
Tableau 8 : Résultats des tests de Wilcoxon unilatéraux qui comparent les densités de chénopodes des 3 conduites de désherbages mécanique pour la modalité sans rattrapage. Comparaison de la densité de chénopodes de la modalité H4 avec la modalité H4H6 (a), comparaison des modalités H4 et témoin (b), comparaison des modalités H4H6 et témoin (c), comparaison des modalités H6 et témoin (d), comparaison des modalités H4 et H6 (e) 20
Tableau 9 : Synthèse des résultats des tests de Wilcoxon pour la partie de l'essai dont la conduite de désherbage comprend seulement un herbicide de post semis 21
Tableau 10 : Résultats du test de Kruskal Wallis qui compare les densités de chénopodes entre les différentes conduites de désherbage mécanique pour la partie avec rattrapage : herbicide de post-semis + herbicide de post-levée 21

Tableau 11 : Synthèse des résultats des tests de Kruskal Wallis pour la partie de l'essai dont la conduite de désherbage comprend seulement un herbicide de post semis 21
Tableau 12: Synthèse des données d'agréage pour les différentes modalités de l'essai récoltées à l'aide la barre de coupe 23
Tableau 13 : Ratio pétiole / limbe des épinards en fonctio 23
Tableau 14 : Déchets retrouvés dans la totalité de l'essai au niveau 23
Tableau 15 : Coûts engendrés par le(s) passage(s) de herse en comparaison aux coûts liés au désherbage chimique 24
Tableau 16 : Détail du calcul du produit net par hectare à partir du rendement obtenu selon la conduite de désherbage 24
Tableau 17 : Résultats du test t de Student qui compare la densité de plants de pois avant et après le passage de herse étrille 25
Tableau 18 Résultats des tests de Kruskal Wallis pour les données obtenues le 04.06.14 entre la conduite de désherbage employée et la densité de matricaires (a), entre la conduite de désherbage et la densité d'arroches (b), entre la conduite de désherbage et la densité totale d'adventices (c) 26
Tableau 19 Résultats des tests de Kruskal Wallis pour les données obtenues le 07.07.14 entre la conduite de désherbage employée et la densité de matricaires (a), entre la conduite de désherbage et la densité d'arroches (b), entre la conduite de désherbage et la densité totale d'adventices (c) 26
Tableau 20 : Moyennes et groupes statistiques obtenus pour la variable densité d'arroches une semaine avant la récolte 26
Tableau 21: Moyennes et groupes statistiques obtenus pour la variable densité de matricaires une semaine avant la récolte 27
Tableau 22 : Moyennes et groupes statistiques obtenus pour la variable densité d'adventices toutes espèces confondues une semaine avant la récolte 27
Tableau 23 : Effet de la conduite de désherbage sur les composantes de rendement du pois 28
Tableau 24 : Taux de déchets moyen et composition de ces déchets en fonction de la conduite de désherbage 28
Tableau 25 : Indices tendérométriques des pois en fonction de la conduite de désherbage 28
Tableau 26 : Résultats économiques pour la parcelle « la ville calair » à Loudéac avec application du taux de déchets forfaitaire 29
Tableau 27 : Marges brutes dégagées pour la parcelle de « la ville calair » en fonction de la conduite de désherbage employée 29
Tableau 29 : Synthèse des caractéristiques du produit de la récolte de la parcelle « la Ville calair » en fonction de la conduite de désherbage 29
Tableau 28 : Comparaison des coûts engendrés par le passage de herse avec les coûts liés au passage du pulvérisateur et à l'achat des herbicides 29
Tableau 30 : Résultats économiques pour la parcelle « la ville calair » à Loudéac en faisant l'hypothèse que l'usine applique le taux de déchet forfaitaire de 7 % que pour un taux de déchet compris entre 0 et 10 % (pratique usuelle de l'usine). Ce tableau présente alors les résultats économiques en prenant en compte les taux de déchets réels. 30
Tableau 31 : Montant net total facturé à l'usine pour la livraison des petits pois provenant de la partie de la parcelle dont la conduite de désherbage est mixte (chimique + mécanique) 30
Tableau 32 : Détail du calcul nécessaire à la détermination du déficit net lié au 8.60 ha non récoltés 30
Tableau 33 : Résultats du test de normalité de Shapiro-Wilks pour la variable densité de plants de pois. 30
Tableau 34: Résultats du test t de comparaison de moyenne pour la variable densité de plants de pois sur la parcelle "La ville Rouault" 30
Tableau 35 Résultats des tests de Kruskal Wallis pour les données obtenues une semaine après le passage de herse (04.06.14) entre la conduite de désherbage employée et la densité totale des adventices (a), entre la conduite de désherbage et la densité de fumeterres (b), entre la conduite de désherbage et la densité d'arroches (c) 32

Tableau 36 : Résultats des tests de Kruskal Wallis pour les données obtenues le 08.07.14 entre la conduite de désherbage employée et la densité totale des adventices (a), entre la conduite de désherbage et la densité de fumeterres (b), entre la conduite de désherbage et la densité d'arroches (c)..... 32
Tableau 37 : Moyennes et groupes statistiques obtenus pour la variable densité d'arroches une semaine avant la récolte 32
Tableau 38 : Moyennes et groupes statistiques obtenus pour la variable densité d'adventices toutes espèces confondues une semaine avant la récolte 32
Tableau 39 : Effet de la conduite de désherbage sur les composantes du rendement 33
Tableau 40 : Taux de déchets moyen en fonction de la conduite de désherbage issus des données d'agréage à l'usine..... 33
Tableau 41 : Résultats économiques pour la parcelle « la ville Rouault » à Trévé avec application du taux de déchets forfaitaire, ici en adéquation avec les taux de déchets réels relevés car < 10 %. 34
Tableau 42 Marges brutes dégagées pour la parcelle de « la ville Rouault » en fonction de la conduite de désherbage employée 34
Tableau 43 : Indices tendérométriques des pois en fonction de la conduite de désherbage..... 34
Tableau 44 : Synthèse des caractéristiques du produit de la récolte de la parcelle « la Ville Rouault » en fonction de la conduite de désherbage..... 34
Tableau 45 : Marge dégagée pour une culture d'épinards avec une conduite de désherbage mixte en faisant varier l'augmentation de la densité de semis en comparaison à une conduite de désherbage tout chimique. 36
Tableau 46 : Comparaison de la marge brute d'une conduite de désherbage tout chimique avec la marge brute réalisée avec une conduite de désherbage mixte avec une baisse de rendement de 5 %..... 36
Tableau 47 : Comparaison de l'IFT herbicides en fonction de la conduite de désherbage 36
Tableau 48 : Comparaison du produit net par hectare entre les 2 conduites de désherbage avec l'hypothèse d'une tendérométrie équivalente 37
Tableau 49 : Matière sèche (MS) adventices au moment de la récolte (g/m²) et rendement des pois (t/ha) en fonction du stade de la culture au moment du ou des passage(s) de herse – Southbridge 2003 (Source : F. Dastgheib, 2004) 39
Tableau 50 : Comparaison des coûts d'utilisation d'une herse étrille de 6 m et de 12 m pour 100 ha / an à désherber (Source : personnelle) 40

LISTE DES ANNEXES

I - Nombre d'adventices par m² avant le semis de céréales en fonction de la longueur de la rotation 1

II - Stade d'utilisation de la herse étrille et houe rotative sur les différentes cultures 2

III - Itinéraires techniques de la culture d'épinards sur la parcelle de Noyal-Pontivy (EARL du Beau Village) 3

IV- Itinéraires techniques de la culture de pois sur la parcelle située à Loudéac (1) et sur la parcelle située à Trévé (2) 4

V - Résultats des tests de Wilcoxon pour les données adventices de la parcelle « La ville Calair » à Loudéac 5

VI - Résultats des tests de Wilcoxon pour les données adventices de la parcelle « La ville Rouault » à Trévé 6

VII - Calculs de l'IFT herbicides pour l'essai épinards 7

VIII - Calculs de l'IFT herbicides pour l'essai pois 8

IX - Propositions de notations à réaliser pour l'essai en pois 9

X - Evolution du coût d'utilisation de la herse étrille avec la surface 10

INTRODUCTION

Triskalia, l'entreprise d'accueil de mon stage est la plus importante coopérative agricole en Bretagne. Ses métiers concernent l'agriculture, l'agroalimentaire et la distribution. Son activité consiste à accompagner les agriculteurs sur les plans techniques, économiques et environnementaux pour toutes leurs productions (lait, porcs, volailles, bovins, œufs, légumes, céréales). J'ai effectué mon stage au sein du service légumes industrie de Triskalia. Ce service accompagne les producteurs en les conseillant et assure également les semis et les récoltes. Le service légumes industrie est l'intermédiaire entre les producteurs et les usines de transformation.

Triskalia intègre la chaire AEI qui rassemble écoles et entreprises afin de favoriser les échanges entre la recherche et les entreprises. En effet, elle réunit Agrocampus Ouest, le groupe ESA, Oniris, Agrial, Terrena et Triskalia. Triskalia est aussi partenaire de l'association AEI qui a pour objectif de multiplier les débats d'idées afin de développer de nouvelles techniques. L'Agriculture Ecologiquement Intensive est développée par l'association AEI et étendue dans le grand Ouest au travers de la chaire AEI. Mon stage s'inscrit dans le cadre de la chaire AEI en intégrant l'un de leurs axes de recherche : le développement de pratiques alternatives de gestion des adventices.

Ces dernières années, les impacts négatifs de l'agriculture sur l'environnement, les risques pour la santé humaine notamment dus à la présence de résidus de pesticides dans les denrées consommables ont provoqué un intérêt croissant pour le développement de systèmes de cultures à bas niveau d'intrants. Triskalia souhaite mener dans ce cadre des expérimentations dans des rotations incluant des légumes pour l'industrie pour promouvoir des systèmes de production agricole alliant productivité et préservation de l'environnement. La recherche d'alternatives aux herbicides est l'une de leurs priorités. Il est d'autant plus complexe de modifier les itinéraires techniques pour réduire l'usage des herbicides en systèmes légumiers qu'en systèmes grandes cultures étant donnée le cahier des charges plus contraint des usines de transformation sur la présence de déchets (adventices toxiques, présence de capitules, résidus de culture…).

Le but de ce travail est, à cahier des charges usines équivalent, d'évaluer les conséquences techniques et économiques d'itinéraires techniques intégrant le désherbage mécanique pour la gestion des adventices. Pour cela, des essais ont été mis en place directement chez des producteurs adhérents de l'organisation de producteurs de légumes industrie de Triskalia, j'ai assuré leurs suivis ainsi que l'analyse des données agronomiques. L'objectif final est de valider des itinéraires techniques transposables de manière réaliste aux producteurs de légumes d'industrie

Dans un premier temps, la structure d'accueil, Triskalia et plus particulièrement le service légumes industrie seront présentés. Le contexte dans lequel ma mission a été réalisée sera décrit. Puis une analyse de l'état des connaissances utiles à la compréhension des leviers mécaniques de gestion des adventices sera présentée. On se focalisera notamment sur le désherbage mécanique et les essais réalisés en 2013 par le service légumes industrie de Triskalia débouchant sur la problématique. La troisième partie exposera la méthodologie employée pour évaluer les conséquences techniques et économiques d'itinéraires techniques introduisant le désherbage mécanique. Le chapitre 5 présentera ensuite les résultats de ces expérimentations. Enfin, ces résultats seront discutés dans une dernière partie.

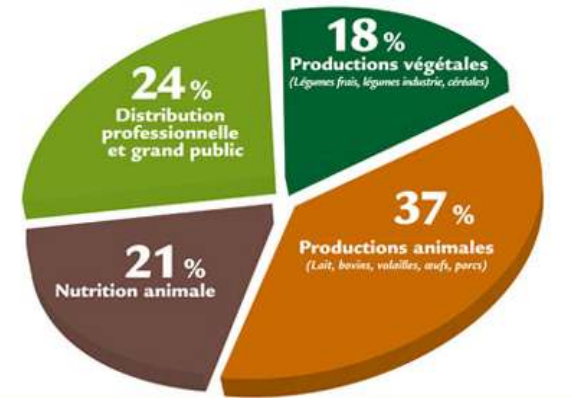


Figure 1 : Répartition du chiffre d'affaire de Triskalia (Source : www.triskalia.fr, 2014)

Figure 2 Logo de la démarche Planète Positive adoptée par le groupe Triskalia (Source : www.triskalia.fr, 2014)

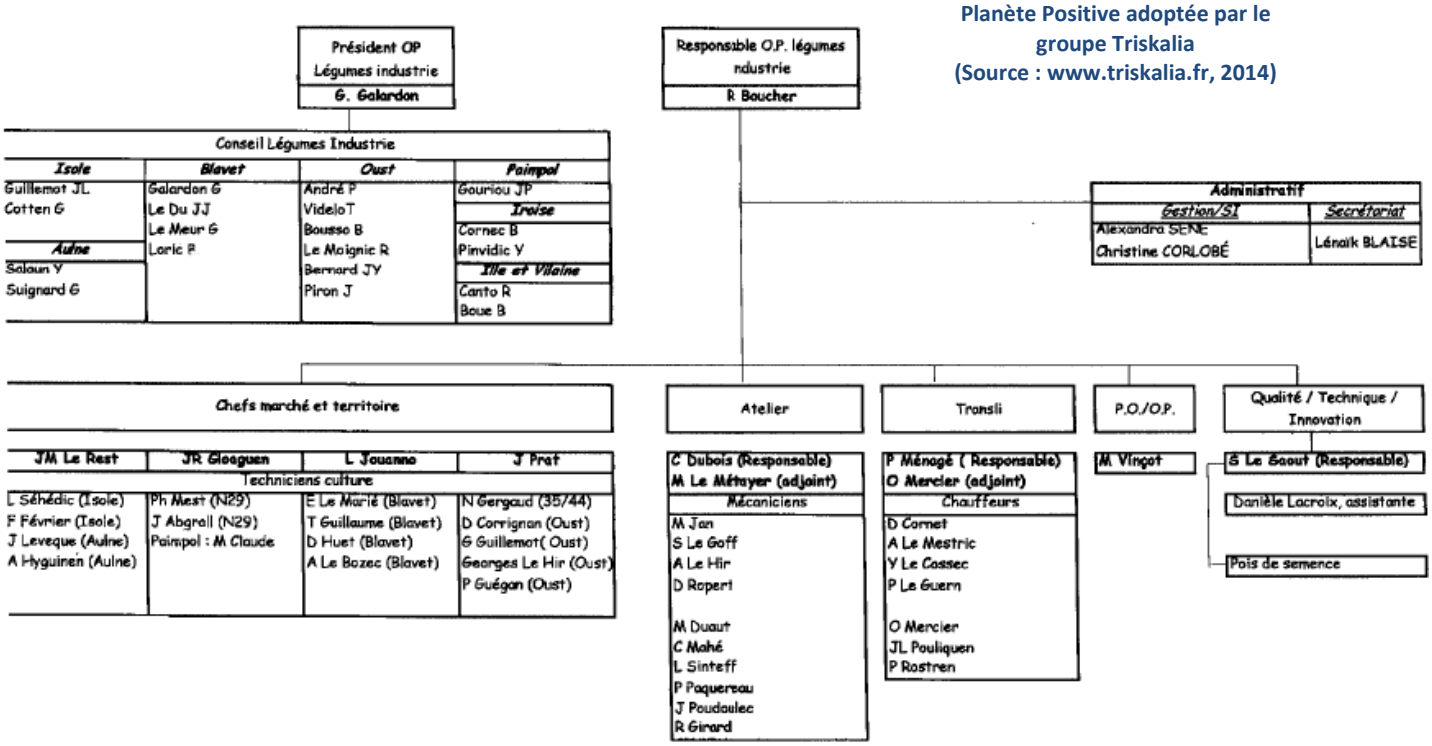


Figure 3 : Organigramme du service légumes industrie de Triskalia (Source : Triskalia OP légumes, 2013)

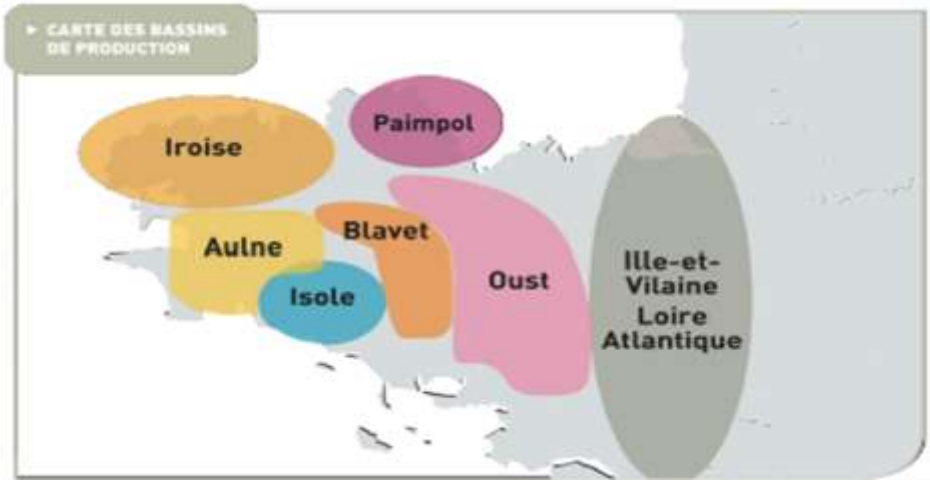


Figure 4 : Représentation des différents bassins de productions légumières en Bretagne (Source : Triskalia OP légumes, 2013)

I - TRISKALIA : 1ère COOPERATIVE EN BRETAGNE

A. Activités de l'entreprise

L'activité du groupe repose sur 3 grands métiers : la distribution, l'agroalimentaire et l'agriculture ce qui permet à Triskalia de contribuer au dynamisme de l'économie bretonne. La figure 1 représente la répartition du chiffre d'affaire en fonction des activités de l'entreprise. On distingue les productions animales avec la production de bovins, de porcs, de volailles et les productions végétales. Concernant ces dernières, le département se décline en 6 activités : les céréales, oléagineux et protéagineux (collecte et négoce, multiplication de semences), les **légumes destinés à l'industrie**, les légumes frais (commercialisation), les plants de pomme de terre, le conseil et l'agrofourniture. Une partie des productions, notamment les légumes industries, est transformée et commercialisée par les industries agroalimentaires, partenaires ou filiales de Triskalia [1].

B. Le développement durable, une valeur essentielle du groupe

1. Planète positive : une démarche pour une Agriculture Ecologiquement Intensive

Triskalia a intégré la chaire AEI (Agriculture Ecologiquement Intensive) en septembre 2011. Un an plus tard, la coopérative a décidé de créer un pôle spécifique AEI pour coordonner toutes les actions conciliant performances économiques et environnementales, aussi bien en production animale que végétale. Une valeur importante pour le groupe, développée au travers de l'AEI, c'est l'échange. Ainsi, l'AEI permet aux adhérents de partager des expériences de terrain notamment via des rendez-vous agronomie et élevage au champ. La coopérative a mis en place également une démarche entreprise, à proprement parlé, nommée **Planète Positive** (Figure 2) qui rassemble toutes les actions relevant du développement durable et de l'Agriculture Ecologiquement Intensive. Planète positive est développement durable et de l'Agriculture Ecologiquement Intensive. Planète positive est une démonstration de la volonté de la coopérative de produire en conciliant économie, attentes sociétales et préservation des ressources. Dans ce cadre, une commission AEI / développement durable rassemble 29 administrateurs autour de thématiques diverses.

C. Le service Légumes Industrie de Triskalia

En ce qui concerne l'organisation de producteurs Légumes Industrie de Triskalia basée à Loudéac qui m'a accueillie pour mon stage de fin d'étude, elle emploie 60 salariés et rassemble1000 adhérents. Le service est dirigé par Rémi BOUCHER. Mon maître de stage, Sylvain LE SAOUT,est le responsable qualité. Des chefs marché coordonnent les plannings de semis, ils sont au nombre de quatre répartis en fonction des cultures. La figure 3 présente l'organigramme du service. Les différentes productions se répartissent sur plusieurs bassins en Bretagne, en Vendée, en Loire Atlantique et dans le Maine et Loire. Sur la Bretagne, on comptabilise 7 bassins de production de légumes industrie (Figure 4). Un bassin de production est attribué par technicien qui gère alors un portefeuille d'exploitants agricoles adhérents de l'organisation de producteurs légumes industrie.

En 2012, 158 000 tonnes de légumes ont été produits par l'OP légumes industrie de Triskalia, ce qui représente 40 % des parts de marché en Bretagne, sur une surface de 11 000 ha dont 55 000 tonnes de haricots, 15 000 tonnes de pois, 23 000 tonnes de carottes, 30 000 tonnes d'épinards et 9000 tonnes de choux. D'autres légumes sont produits tels que les plantes aromatiques, le céléri mais ne représentent qu'une faible part des volumes produits. Les clients sont les suivants : Gelagri (surgélation), Ardo (surgélation), Kerlys (conserverie), Coroos

Figure 5 : Logo de la certification Agriconfiance
(Source : www.agriconfiance.coop, 2014)

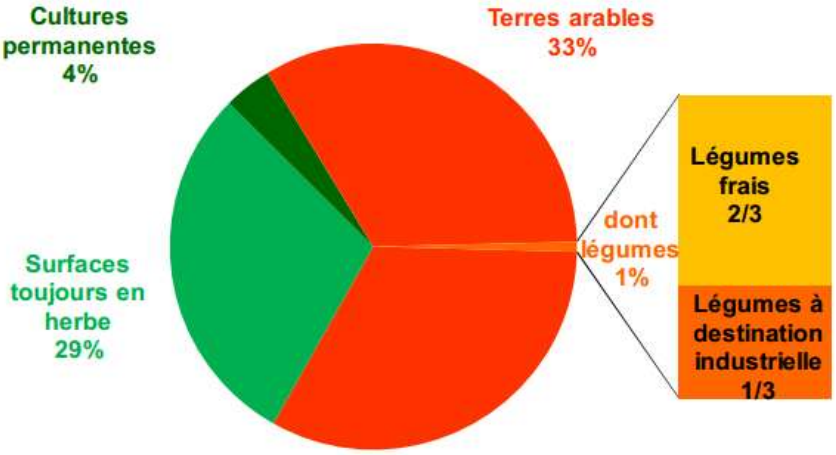


Figure 6 : Place des légumes destinés à l'industrie dans la répartition de la surface agricole utile
(Source : UNILET, 2012)

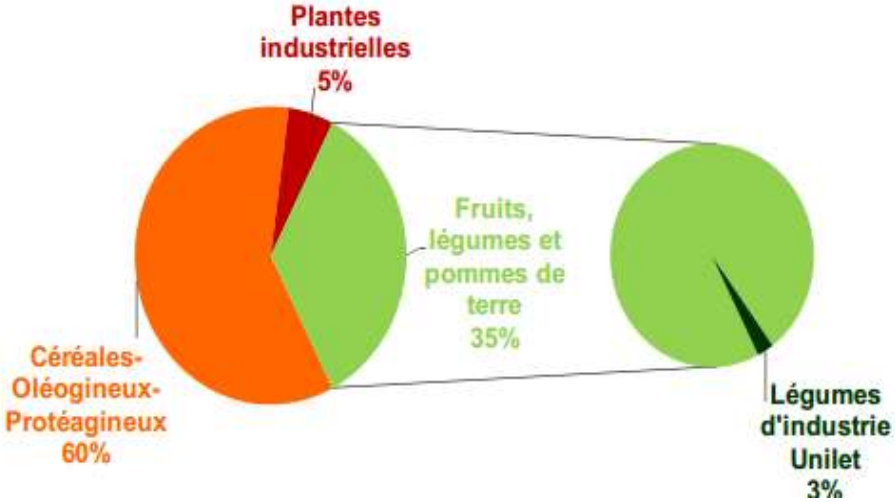


Figure 7 : Chiffre d'affaires des légumes d'industrie par rapport au chiffre d'affaires de toutes les productions végétales hors vignes, plantes et fleurs, fourrages. (Source : UNILET, 2012)

(conserverie Hollandaise), Dujardin (surgélation, Belge) et Daregal (plantes aromatiques). Ainsi on peut parler de « multidébouchés ». Gelagri, filiale de Triskalia, est leur principal client avec 50 % des productions qui lui sont destinées.

1. Une répartition géographique bien pensée

En début de chaque campagne, les usines indiquent aux chefs marchés le volume souhaité par semaine pour chaque légume. En connaissant la capacité journalière des usines, le chef marché crée un planning de semis par bassin de production en prenant en compte la précocité de production. Pendant la saison, le technicien est chargé de déterminer les dates de récoltes afin d'obtenir une qualité optimale des produits. Au niveau de la récolte, l'organisation de producteurs légumes industrie dispose de son propre parc matériel.

2. Qualité

Tous les agriculteurs adhérents de l'OP légumes industrie sont certifiés Agri Confiance (Figure 5). Agri Confiance est une association qui a été créée en 2002 et qui rassemble les coopératives agricoles et les entreprises agroalimentaires françaises pour répondre aux attentes des consommateurs en termes de transparence et de sécurité des aliments [2]. Cela permet notamment de garantir un produit de qualité, c'est-à-dire issue d'une agriculture plus respectueuse de l'environnement, et un produit tracé qui a été suivi de la parcelle jusqu'à l'usine de transformation.

II. CONTEXTE DE L'ETUDE

A. Vers une réduction des intrants extérieurs

1. La filière légumes industrie : une filière peu attractive pour les grandes firmes

En volume, les légumes destinés à l'industrie ne représentent que 17 % de la production de légumes, toute production confondue. Le volume total en France atteint 900 000 tonnes sur 70 000 ha répartis sur les 3 bassins de production principaux : le Sud-Ouest, Nord – Picardie – Centre et Bretagne - Pays de Loire. La Bretagne est la 2ème région productrice de légumes d'industrie avec 34 % des surfaces françaises. Seulement 4 600 exploitations produisent des légumes conserves et surgelés, ce qui représente moins de 1% des exploitations françaises (Figure 6 et 7). Ce sont surtout des exploitations de grandes cultures ou polycultures élevage dont la SAU en cultures légumières n'atteint que 10 à 15 %, soit en moyenne, une superficie de 15 ha de légumes par exploitation. 90% de ces exploitations ne produisent que 1 ou 2 légumes différents chaque année, ce sont surtout des cultures de rotation [3]. En ce qui concerne la Bretagne, on distingue deux types de producteurs de légumes destinés à l'industrie : les céréaliers qui ont d'importantes superficies en légumes et les éleveurs, dont l'activité principale est l'atelier animal. Pour ces derniers, les légumes ne représentent qu'une faible part de l'assolement.

La filière légumes industries, représente ainsi **peu de surfaces** en comparaison des céréales**.** C'est une **filière peu attractive** pour les grandes firmes qui développent des produits phytosanitaires tels que Syngenta, Monsanto ou Bayer. Par conséquent, les producteurs se voient confrontés à un réel manque de solutions pour la protection phytosanitaire des cultures légumières. Face à ce contexte, l'OP légumes industrie de Triskalia a la volonté d'assurer la pérennité des exploitations dans le cas où les solutions de protection des cultures ne sont pas disponibles en agriculture conventionnelle.

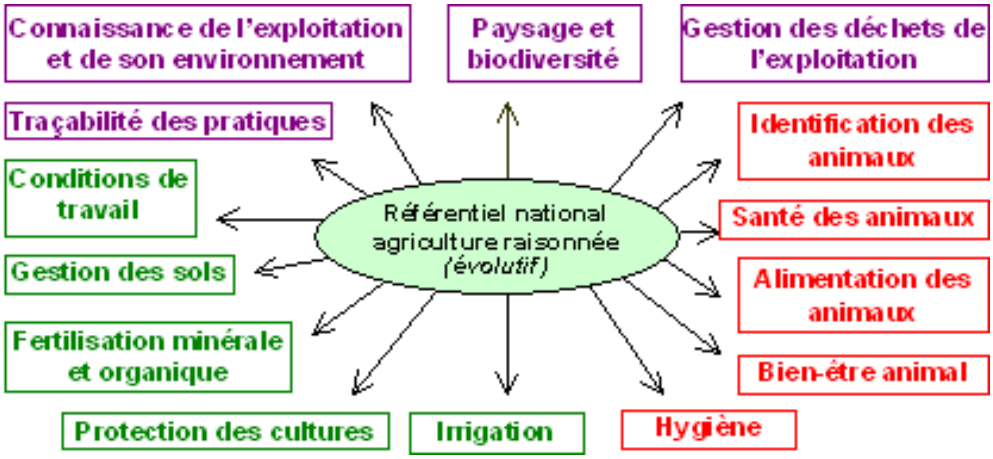


Figure 8 : Constitution du référentiel de l'Agriculture raisonnée : règles concernant la gestion de l'exploitation et les modes de productions végétales et animales
(Source : Chambre d'agriculture Normandie, 2014)

2. Des attentes sociétales fortes

La demande des consommateurs en légumes produits de manière durable et sans pesticides ne cesse d'augmenter (D.Frank, 2010). « Selon un sondage Ifop paru en octobre 2008, 95 % des personnes interrogées jugeaient très important (70 %) ou important (25 %) que les agriculteurs diminuent de moitié la fréquence des traitements des cultures par des pesticides dans les 10 ans à venir » [4]. On constate aujourd'hui que les consommateurs privilégient davantage les produits respectueux de l'environnement ou du développement durable lorsqu'ils effectuent leurs achats. D'ailleurs, les clients distributeurs de Gelagri (filiale de Triskalia) tels que « Système U », « Carrefour », « Picard »,… souhaitent de plus en plus des légumes cultivés dans le respect de l'environnement afin de satisfaire le consommateur qui devient de plus en plus exigent. Plus particulièrement, « Système U », l'un des principaux clients de Gelagri, souhaite constater des efforts de la part de l'OP légumes industrie de Triskalia pour réduire l'usage des produits phytosanitaires et ainsi limiter les résidus sur les produits.

3. Un enjeu économique

Suite à la demande de « Système U » en terme de réduction des usages des produits phytosanitaires, l'OP légumes industrie de Triskalia souhaite mettre en œuvre les moyens nécessaires afin, notamment, de maintenir les bonnes relations commerciales avec « Système U » et pour se différencier de la concurrence. Cette stratégie est en adéquation avec la stratégie de l'OP légumes industrie de Triskalia qui souhaite développer l'agriculture écologiquement intensive.

4. Une organisation qui réfléchit à l'impact qu'elle génère sur l'environnement

L'agriculture bretonne a longtemps reposé sur l'intensification des productions animales, fourragères et légumières mais les exigences environnementales notamment avec le plan national Ecophyto 2018 qui préconise une réduction de 50% des produits phytosanitaires et la contrainte des marchés ont mis en évidence les limites de ce modèle de développement. D'ailleurs, l'organisation de producteurs légumes industrie a la volonté d'intégrer l'approche AEI du groupe Triskalia sur les systèmes légumiers en développant des pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement. On peut se demander ce qui différencie l'Agriculture Ecologiquement Intensive des autres formes d'agriculture ? Pour cela, il est nécessaire de définir les différents concepts qui s'inscrivent tous dans une perspective de **développement durable**.

<u>L'agriculture raisonnée</u>

L'agriculture raisonnée est une démarche qui est née dans les années quatre-vingt-dix. L'objectif est de réduire la quantité d'intrants chimiques utilisés (pesticides, engrais) pour limiter l'impact environnemental tout en assurant une performance économique de l'exploitation agricole (Griffon, 2013). Selon un décret du ministère de l'agriculture, l'agriculture raisonnée est définie de comme « la mise en œuvre, par l'exploitant agricole sur l'ensemble de son exploitation dans une approche globale de celle-ci, de moyens techniques et de pratiques agricoles conformes aux exigences du référentiel de l'agriculture raisonnée ». Ce référentiel est constitué de différentes règles y compris des règles a propos de la conditionnalité des aides PAC (Figure 8). Cette forme d'agriculture fait l'objet d'une certification [5].

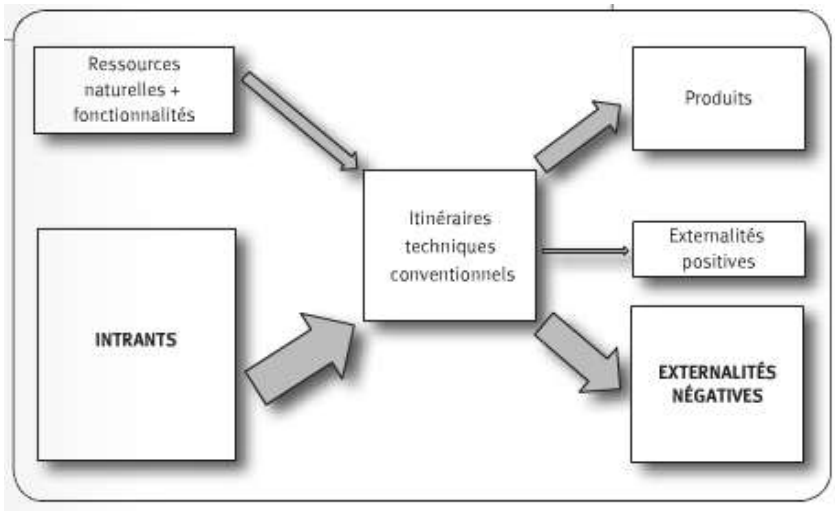


Figure 9 : Représentation du fonctionnement de l'agriculture intensive conventionnelle (Source : M.Griffon, 2013)

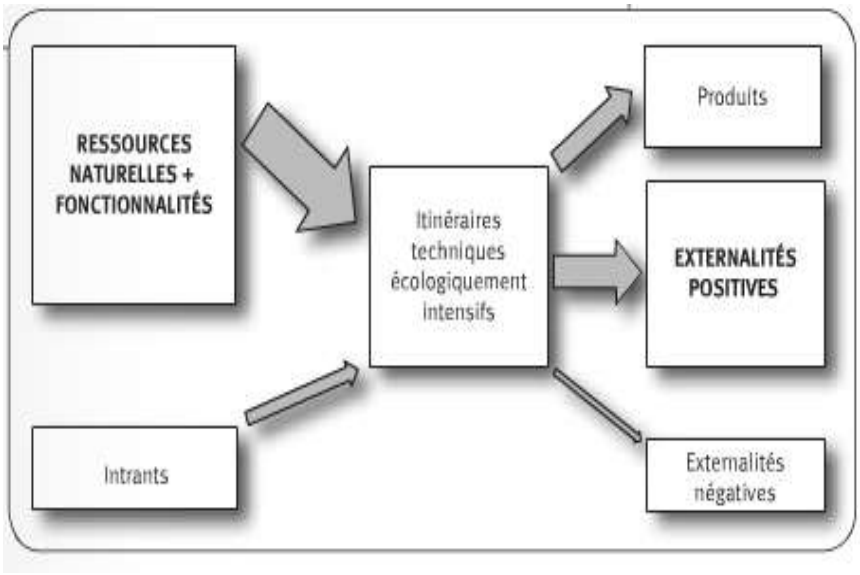


Figure 10 : Représentation du fonctionnement de l'agriculture écologiquement intensive (Source : M.Griffon, 2013)

L'agriculture intégrée

L'agriculture intégrée est « un système agricole de production qui privilégie des ressources et des mécanismes de régulation naturels » plutôt que des intrants externes chimiques. Par exemple, le non labour et l'aménagement écologique du paysage sont des pratiques de l'agriculture intégrée. Le terme « intégrée » fait référence à la construction d'un système agricole comme un écosystème, c'est-à-dire que tous les éléments du système doivent être mis en cohérence. Cette notion est d'ailleurs reprise dans le concept d'agriculture écologiquement intensive. L'agriculture intégrée consiste à « se protéger de » plutôt que de « lutter contre ». En effet, l'agriculture intégrée emploie une **approche globale** en cherchant à **limiter les risques** notamment en combinant différents leviers agronomiques préventifs [6].

L'agroécologie

C'est une agriculture qui n'est pas fondée sur l'utilisation d'intrants chimiques, mais plutôt sur la préservation de la biodiversité et des interactions entre les organismes vivants. « L'agroécologie associe la réduction du travail du sol, les couverts végétaux, l'économie de l'eau et des intrants chimiques et la protection intégrée » (Griffon, 2013). L'agroécologie est une discipline scientifique incluant l'agronomie, l'écologie et même l'économie mais c'est également un mouvement social. Elle s'appuie sur des savoir faire que les paysans ont acquis depuis des siècles. L'agroécologie est une agriculture fondée sur l'application des concepts et principes de l'écologie pour concevoir et gérer des agroécosystèmes de telle manière à les faire évoluer vers des systèmes de production durables (Loyat, 2013). Cette forme d'agriculture consiste à imiter, par le biais de techniques culturales, le fonctionnement naturel des écosystèmes.

L'Agriculture Ecologiquement Intensive (AEI)

L'Agriculture Ecologiquement Intensive est un terme qui est apparu en 2008 lors du Grenelle de l'environnement pour rendre compte de l'importance de développer des systèmes agricoles productifs, au vu de l'augmentation de la population mondiale en prévision, tout en préservant l'environnement et la santé humaine. Ce concept a été développé par Michel GRIFFON, « il s'agit de mobiliser les concepts de l'agroécologie, considérée ici comme une discipline scientifique intégrant les sciences du végétal, de l'animal et vétérinaires, les sciences du milieu, la sociologie et l'économie » [7]. Dans ce concept, « Intensif » se rapporte ici à l'intensivité des fonctionnalités écologiques (Figure 9 et 10). Une fonctionnalité écologique est un processus écologique qui a des fonctions utiles pour l'agriculture. Le principe de l'AEI c'est de combiner l'amplification de ces différentes fonctionnalités écologiques pour permettre au système d'être productif en limitant l'emploi d'intrants extérieurs (Griffon, 2013).

D'autre part, le volet « environnement » a été accepté cette année et intégré à la certification Agriconfiance. L'OP légumes industrie de Triskalia est ainsi devenue la première organisation de producteurs de légumes industrie de France à détenir cette certification.

Finalement, les évolutions, de la demande du consommateur en termes de qualité, de sécurité et de protection de l'environnement, la volonté de l'OP de mettre en œuvre une agriculture plus respectueuse de l'environnement et les retraits de matières actives nous permet de comprendre l'importance pour l'OP de trouver des **alternatives aux produits phytosanitaires** (fongicides, insecticides et herbicides) utilisés en cultures légumières.

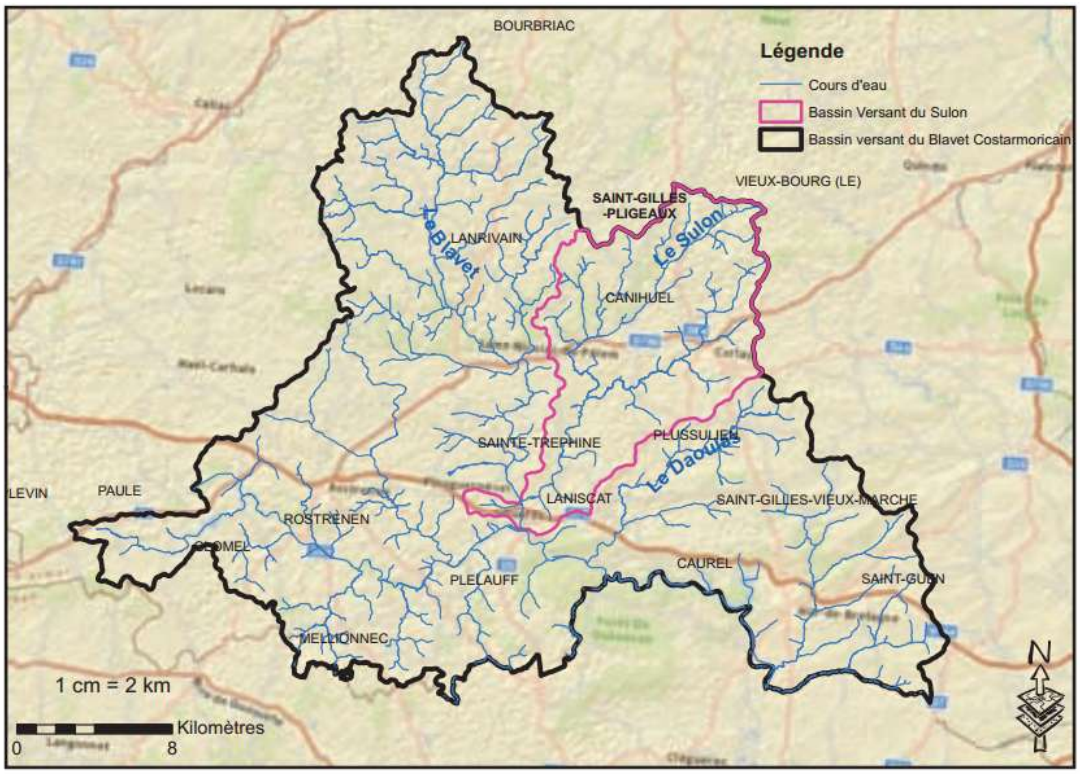


Figure 11 : Localisation du sous bassin versant du Sulon. (Source : Bretagne.synagri, 2012)

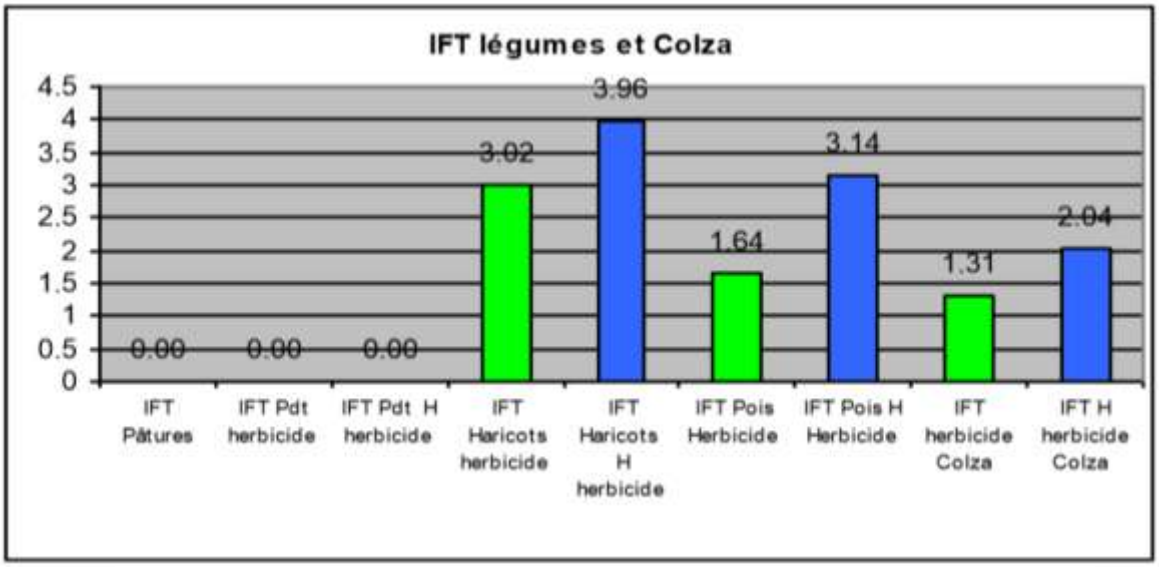


Figure 12 : IFT moyen des légumes et du colza sur le Sulon (A.Charter, 2013)

MAE principales	Bassin versant
Plafonnement de la fertilisation associée ou non à une réduction des produits phytosanitaires	Oust-Lié, Baie de la Fresnaye, Baie de St Brieuc, Lieue de Grève, Leff
Réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires (herbicides et/ou tous produits)	Jaudy-Guindy-Bizien, Trieux, Guinefort, Haute Rance, Arguenon amont, Léguer (Min Ran), Frémur
Reconquête et gestion des zones humides	Sulon, Flora-Islet, Léguer (Guic)
Sur de nombreux bassins, sont également proposées des MAE de gestion des prairies et d'entretien du bocage	

Figure 13 : Répartition des MAE par bassin versant en Bretagne (Source : Bretagne-synagri, 2014)

B. La gestion du désherbage : une priorité

Concernant les fongicides, la marge de manœuvre est limitée pour réduire leurs usages. En effet, la Bretagne présente un climat humide, propice au développement de maladies. D'autre part, l'OP légumes industrie de Triskalia utilise d'ores et déjà des variétés résistantes, notamment au mildiou en épinards, l'objectif est de réduire les risques pour éviter l'usage de fongicides. De plus, depuis quelques années maintenant, un réseau de piégeage est mis en place et suivi chaque saison ce qui permet aux producteurs d'employer des insecticides qu'en cas de présence de ravageurs. Par conséquent, l'OP légumes industrie a décidé d'accentuer les **efforts sur le désherbage** afin de réduire l'usage d'herbicides de synthèse. D'autre part, en 2014, 69 producteurs adhérents de l'OP légumes industrie de Triskalia ont leur exploitation située sur un bassin versant confronté à des restrictions d'usage de produits phytosanitaires, en particulier des herbicides : le bassin versant du Sulon (Figure 11).

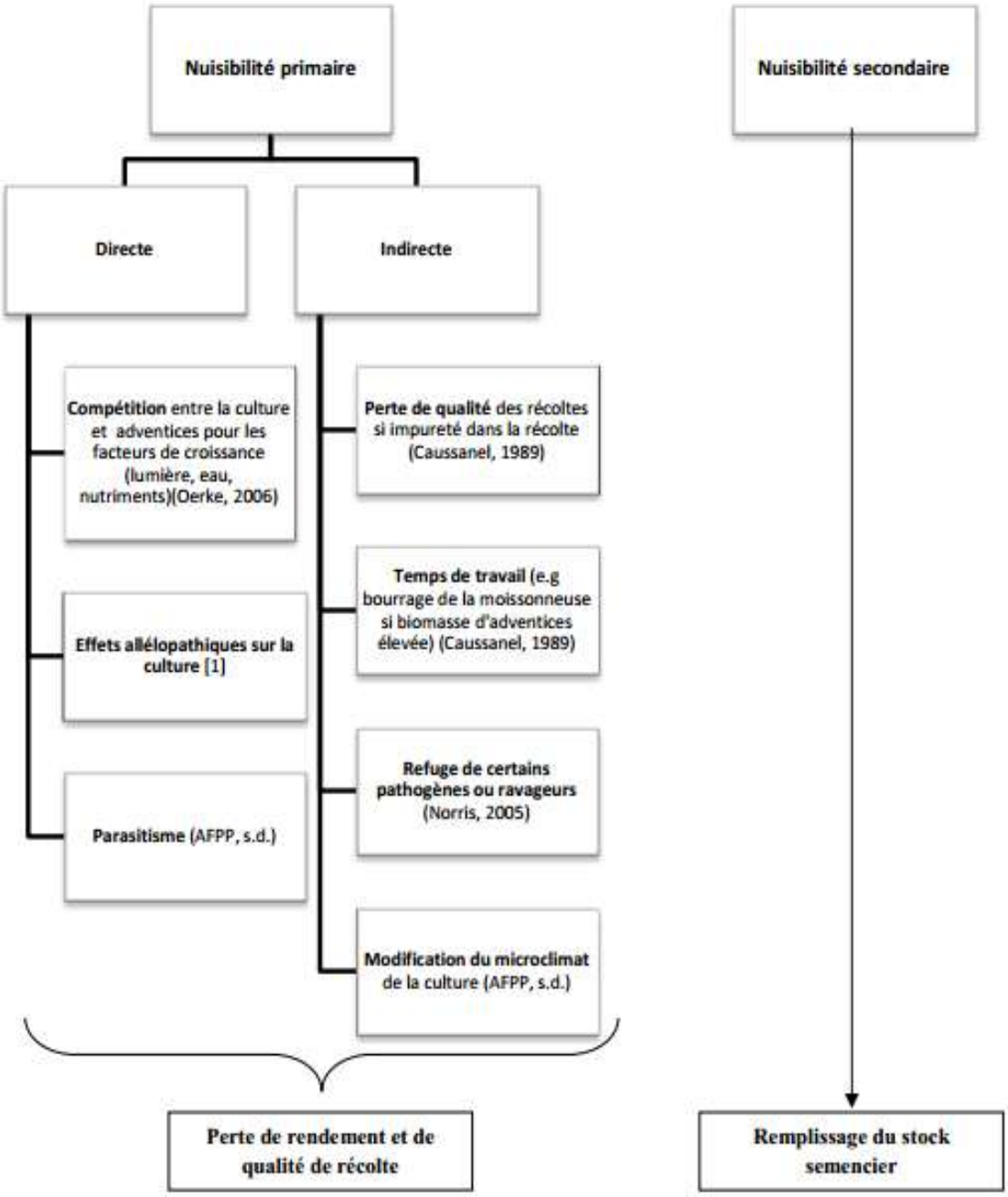
1. Le bassin versant du Sulon : un réel enjeu en centre Bretagne

Le bassin versant du Sulon, situé en centre Bretagne présente un enjeu très important de part sa forte contribution à l'alimentation en eau potable. En effet, le Sulon, avec ses 216 km de canalisation, alimente 80 communes soit 30 000 foyers. Ce bassin concerne également 170 exploitations agricoles. De plus, en période de problème d'alimentation en eau potable (déficit hydrique), il peut également alimenter Loudéac. En 2007, la commission locale de l'eau sur le bassin versant du Blavet s'est accordée pour élaborer le SAGE du Blavet, document comprenant des préconisations, notamment pour améliorer la qualité de l'eau. Les agriculteurs du bassin versant du Sulon sont ainsi concernés par le SAGE du Blavet car ils peuvent contribuer à la préservation des milieux aquatiques et à l'amélioration de la qualité de l'eau en réduisant les pollutions provenant de leur activité [8]. « Les surfaces en légumes représentent 3 % de l'assolement du bassin versant du Sulon soit environ 300 hectares » (Charter, 2013). Des diagnostics réalisés sur 40 ha ont montré un IFT moyen herbicide et un IFT moyen hors herbicide élevés pour la culture du haricot en comparaison à des cultures de pois et de colza (Figure 12). De plus, des études sur la qualité de l'eau ont révélé une présence de molécules provenant d'herbicides. Deux molécules employées en culture de haricots et également sur d'autres cultures ont été retrouvées en 2013 dans le Sulon : le clomazone (matière active du Centium 36 CS) et le métolachlore (matière active du Basagran SG, Adagio SG, Corum). Aujourd'hui, dans le cadre de l'amélioration de la qualité de l'eau, le premier objectif du SAGE du Blavet est d'atteindre la norme « eau potable ». C'est dans ce contexte que le service légumes industrie de Triskalia a mené des essais en 2013 avec la Chambre d'Agriculture des Côtes d'Armor dans le but d'évaluer la performance technique du binage en culture de haricot pour réduire l'utilisation d'herbicides sur le bassin versant du Sulon.

Afin d'atteindre ces objectifs, l'usage des herbicides, notamment en culture de haricots d'industrie, doit être réduit. L'enjeu est d'une telle importance que des financements ont été mis en place. Par exemple, les agriculteurs reçoivent 40 € par hectare biné. Ces financements proviennent du syndicat mixte de Kerné Uhel (syndicat mixte du SAGE du Blavet), du conseil général et de l'agence de l'eau. Cependant, il n'y a pas de financements directs dans le cadre des MAE (Figure 13). En effet, lors de leur mise en place, la priorité était l'azote et le phosphore par conséquent les agriculteurs n'ont pas la possibilité d'adhérer à une MAE phytosanitaire.

2. Le désherbage : un poste important économiquement

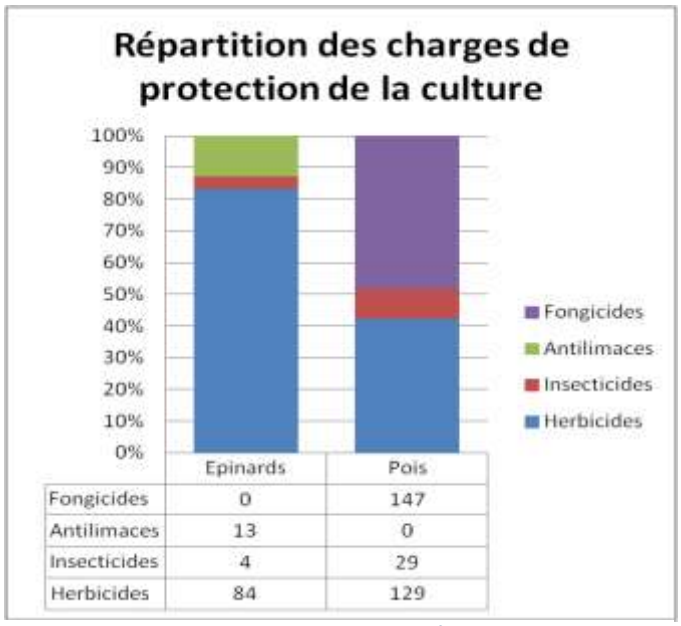
Le désherbage en culture d'épinards de printemps est le poste de dépense, pour les produits phytosanitaires, le plus important (Figure 15). Il serait donc intéressant de trouver des



[1] Allélopathie : interaction entre végétaux par l'intermédiaire de médiateurs chimiques libérés dans l'environnement par une plante, et affectant (positivement ou négativement) une autre plante de la même espèce ou d'une espèce différente (Munier-Jolain, et al., 2005) (Oerke, 2006) (Casagrande, 2008) (Caussanel, 1989) (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2012) (Norris, 2005) (AFPP, s.d.)

Figure 14 : Nuisibilité des adventices (Source : A. Prince, 2013)

alternatives aux herbicides afin de réduire à la fois les coûts de production et l'impact environnemental. Cependant, si on s'intéresse au coût de production global d'une culture d'épinards de printemps, ce sont les semences qui représentent le poste de dépense le plus élevé (Figure 15). Concernant les charges opérationnelles pour une culture de petits pois destinées à l'industrie, nous pouvons constater que les charges concernant les fongicides et les herbicides sont répartis de manières plus équitable comparé à une culture d'épinards de printemps (Figure 15).



	Epinards	Pois
Fongicides	0	147
Antilimaces	13	0
Insecticides	4	29
Herbicides	84	129

Figure 15 : Répartition des charges en €/ha liés aux produits phytosanitaires pour une culture d'épinards ou de pois (Source : personnelle)

Le désherbage représente un poste important des dépenses liées à la protection de la culture de pois. Si on s'intéresse au coût de production global d'une culture de pois, on constate que ce sont encore une fois les semences qui représentent la charge la plus importante (Figure 15). La diminution des charges est un levier pour augmenter le revenu des agriculteurs au même titre que l'augmentation de la vente des récoltes, c'est-à-dire l'augmentation du rendement des cultures. De nombreux agriculteurs se sont lancés dans cette recherche d'optimisation de la marge selon une diversité de démarches. Raisonner l'utilisation des pesticides en fait partie.

3. Qualité : de réelles exigences de l'aval

Les adventices sont considérées comme préjudiciables pour les cultures. En effet, on distingue deux types de nuisibilité des mauvaises herbes : la nuisibilité primaire et secondaire (Caussanel, 1989) (Figure 14). La nuisibilité primaire concerne la perte de rendement et de l'altération de la qualité. Ceci s'explique par la compétition entre les adventices et la culture et/ou par la production de substances naturelles herbicides par les adventices (allélopathie), on parle alors de nuisibilité directe. La compétition entre les adventices et la culture s'explique par une concurrence à l'égard de l'ensoleillement, de l'eau ou des matières nutritives (Doré et Al. 2006). D'autre part, l'état sanitaire et le temps de travail destiné à la maîtrise des mauvaises herbes caractérisent la nuisibilité indirecte. Dans le cas des cultures légumières destinées à l'industrie, on peut rajouter à la nuisibilité indirecte, la toxicité des adventices pour l'homme et également leur pouvoir allergène en cas de présence dans un lot. La nuisibilité secondaire concerne plutôt les dommages indirects impactant la culture suivante.

Les usines de transformation ont mis en place un cahier des charges très restrictif en termes de défauts. La présence d'adventices, de corps étrangers (cailloux, feuilles d'arbres…) peut entrainer un refus du lot, en particulier s'il y a un risque pour la santé du consommateur. Certaines adventices, notamment les graminées, peuvent provoquer des allergies, par conséquent leur présence dans un lot peut entrainer son refus tout comme la présence d'adventices toxiques tels que la morelle noire ou bien la présence de capitules (chardon, matricaire) ou de siliques (ravenelles, sanves) et même de résidus de cultures (racines de maïs,...). Au jour d'aujourd'hui, les usines ne disposent pas de moyens pour trier ces déchets végétaux ou tout autres corps étrangers (cailloux,…). De plus, les consommateurs ne sont pas

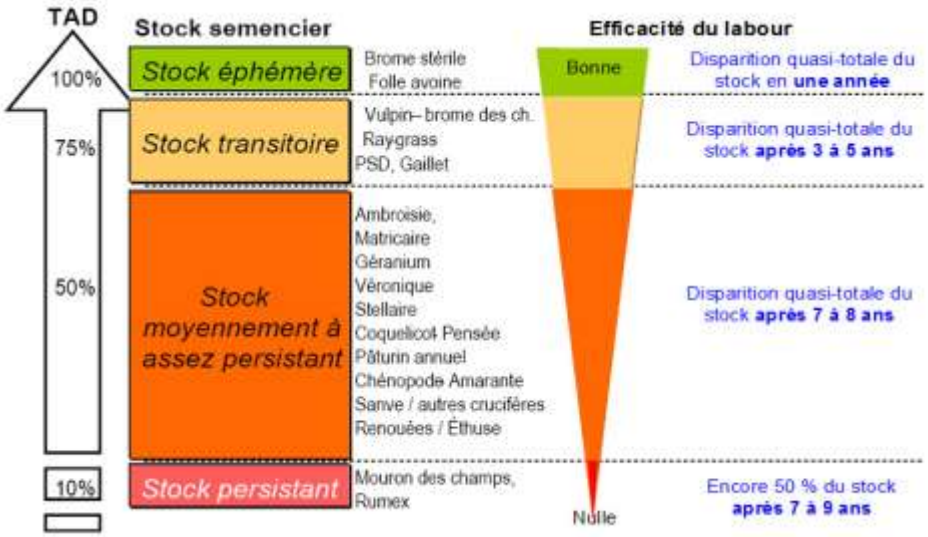


Figure 16 : Efficacité du labour en fonction du TAD (Source : Agro-BASF, 2014)

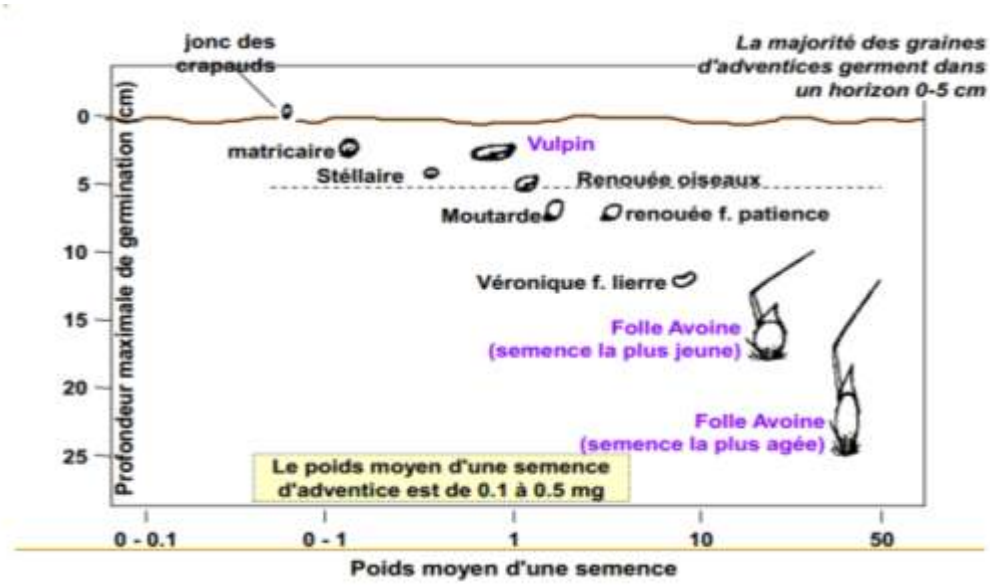


Figure 17 : Profondeur de germination des adventices en fonction de leur taille (Source : ACTA, 2002)

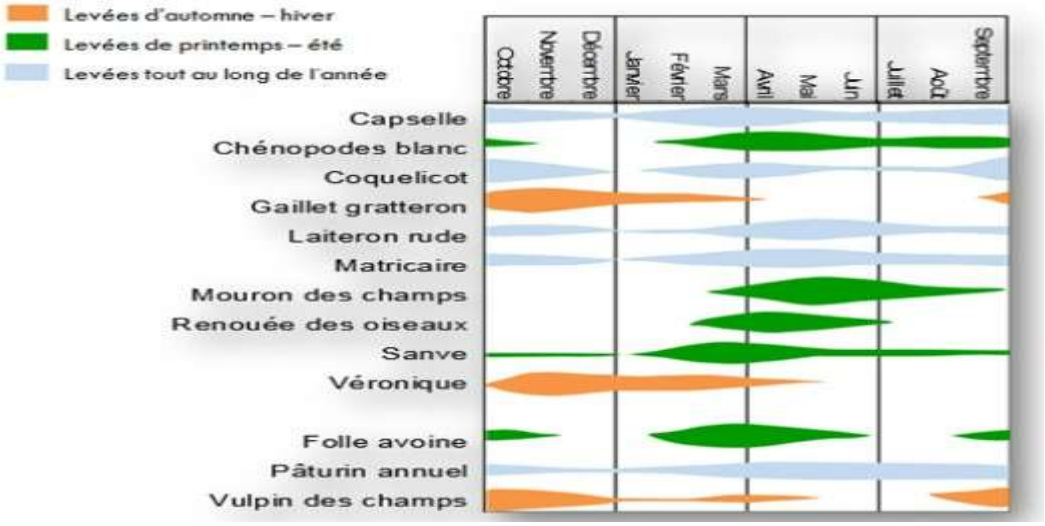


Figure 18 : Germination de plusieurs adventices (Source : Arvalis, 2014)

prêts à accepter la présence de ces corps étrangers dans leurs aliments, même si ceux-ci ne présentent pas de risque pour leur santé. Par conséquent, trouver des alternatives au désherbage chimique est une priorité mais à cahier des charges équivalent.

Ces éléments de contexte nous permettent de comprendre l'importance de mettre en place des **alternatives aux herbicides** de synthèse, à cahier des charges des usines équivalent. C'est d'ailleurs devenu une **priorité** pour l'OP légumes industrie de Triskalia. Mais ces alternatives se doivent d'être performantes techniquement et économiquement.

III. Synthèse bibliographique

A. Bien connaître la biologie des adventices pour mieux les gérer

Afin de mettre en place une stratégie de maîtrise des adventices efficace, les agriculteurs doivent pouvoir caractériser la flore adventice présente sur leurs exploitations. Les trois principales informations à connaître afin de **déterminer la meilleure stratégie** à adopter pour lutter contre les adventices sont :

- le taux annuel de décroissance du stock grainier (TAD)
- la profondeur de germination des graines
- la période de germination.

La première étape consiste à observer la parcelle dans le but d'identifier la flore adventice présente. Sur une parcelle on trouve une multitude d'espèces avec chacune des caractéristiques qui leur sont propres. Après reconnaissance des adventices, il est nécessaire de connaître leur TAD. Le **taux annuel de décroissance** s'exprime en pourcentage de graines qui ne germeront pas après un an (ITAB, 2005). Par conséquent, plus le TAD est élevé plus la durée de vie de l'adventice est courte. De ce fait, les adventices ayant un faible TAD seront plus difficiles à maîtriser. La figure 16 nous permet de constater que la durée de vie des graines d'adventices est très variable selon les espèces rencontrées. Les dicotylédones, majoritairement présentes dans les cultures légumières, ont des une durée de vie plus longue que les graminées hormis le pâturin.

La **profondeur de germination** est associée à la taille des graines d'adventices (Figure 17). En général, plus la taille des graines est importante et plus elles germeront en profondeur. D'une espèce à l'autre, les adventices germent plus ou moins en profondeur, par conséquent on aura une levée étalée dans le temps en fonction des espèces. Cette connaissance permet d'adapter des leviers d'action tels que le labour qui permet de travailler le sol en profondeur pour enfouir les graines d'adventices et d'empêcher leur germination [9].

La **période de germination** varie selon les espèces (Valantin-Morisson et al., 2008). Par conséquent, certaines adventices vont lever sur une période relativement restreinte tandis que d'autres vont lever sur une période très large voire toute l'année (Figure 18). La période de germination permet de construire une rotation en intégrant différents moyens de lutte, en particulier, implanter une culture sur une période où l'adventice ne lèvera pas.

B. Des moyens de lutte diversifiés

De nombreuses techniques culturales de gestion des adventices existent. Parmi celles-ci, on distingue, des techniques curatives qui détruisent les adventices et des méthodes

Tableau 1 : Méthodes de lutte contre les adventices à l'échelle du système de culture et de l'itinéraire technique. (Source : personnelle)

A l'échelle du système de culture		
Leviers préventifs	**Rotation**	Alterner les cultures d'été et d'hiver, alterner les types de molécules employées dans les herbicides, diversifier des pratiques culturales pour casser le cycle des adventices
	Gestion des intercultures	Implanter des cultures étouffantes comme couverts végétaux pour obtenir un effet de compétition avec les adventices ou des cultures ayant des propriétés allélopathiques tels que l'avoine. Cette technique évite l'augmentation du stock de semences d'adventices dans le sol.
	Limiter les apports exogènes	fumier frais, nettoyage des outils, état sanitaire des semences, entretien des abords de la parcelle
A l'échelle de l'itinéraire technique		
Leviers préventifs	**Choix de l'espèce et de la variété**	Culture étouffante, sensibilité de la variété à la concurrence
	Densité de semis et écart entre les rangs	Défavoriser les adventices en permettant une meilleure couverture du sol ce qui limite leur accès à l'oxygène et à la lumière
	Décalage de la date de semis	Plus elle est élevée, plus l'aptitude concurrentielle de la culture face aux adventices sera elle-aussi élevée. Objectif : éviter la période de levée préférentielle des adventices
	Labour	Enfouissement des graines d'adventices
	Faux semis	Provoquer la levée des adventices par un passage d'outil (herse,…) pour ensuite les détruire chimiquement ou mécanique avant l'implantation de la culture.
	Irrigation	Objectif : provoquer la levée des adventices Effet faux semis
Leviers curatifs	**Désherbage chimique**	Nécessite une utilisation de produits phytosanitaires
	Désherbage mécanique	Destruction des adventices déjà levées pour éviter les nuisibilités primaires et secondaires. Les trois principaux outils utilisées sont la herse étrille, la houe rotative et la bineuse.
	Désherbage thermique	Destruction des adventices par le feu ou la vapeur. Destruction des membranes cellulaires des adventices.
	Barrière physique (Mulch, paillage)	En ne **laissant pas passer la lumière**, création de conditions défavorables à la germination, l'émergence et la croissance des adventices
	Solarisation	Par recouvrement du sol avec un **film plastique,** un effet de serre est créé et qui entraîne une **montée en température** sous le plastique ce qui permet la destruction des adventices levées.

préventives qui limitent l'apparition des adventices (Tableau 1). L'efficacité de ces techniques sur les adventices reste partielle et lente par rapport aux herbicides (Kurtjens & Kropff, 2001). En revanche, à long terme, une combinaison de ces différentes techniques peut être efficace (Munier-Jolain, et al., 2008). En effet, par effet cumulatif, une pratique donnée va impacter la flore adventice sur plusieurs années d'où l'utilité de raisonner sa gestion à long terme.

1. La rotation : un levier préventif à ne pas négliger

Un des leviers d'action en préventif le plus efficace dans la gestion des adventices est la **rotation** (Bertrand et Doré, 2008). En effet, il est essentiel de diversifier les cultures (graminées, dicotylédones) tout en alternant cultures d'hiver et cultures de printemps afin de diversifier les périodes de semis dans le but de déspécialiser la flore adventice difficile à contrôler. De plus, la rotation permet de casser le cycle de certaines adventices par la variation des pratiques culturales. L'annexe 1 montre que l'allongement de la rotation permet de réduire le nombre d'adventices avant le semis de céréales. D'autre part, l'introduction d'une culture étouffante dans la rotation permet d'accroître la concurrence vis-à-vis des adventices. Pendant l'interculture, la pratique du déchaumage précoce ou du faux-semis, constitue un levier supplémentaire pour réduire le stock semencier. D'autre part, l'implantation de cultures étouffantes pendant cette période permet de limiter les adventices par effet de compétition. Les prairies temporaires de 2 à 4 ans jouent également un rôle dans la lutte contre l'enherbement car elles permettent de diminuer le stock semencier.

2. Le désherbage mécanique : un moyen de lutte curatif

Lorsque tous les moyens de lutte préventifs n'ont pas suffit à maîtriser les infestations d'adventices, l'agriculteur peut encore intervenir pendant le cycle de la culture. On appelle ces interventions, des interventions curatives, on parle alors de désherbage. La définition du désherbage est "la lutte contre les mauvaises herbes, de différentes façons (Godinho, 1984) :

- destruction des plantes indésirables
- limitation de leur développement en empêchant leur floraison ou l'apparition de semences [10].

Le désherbage peut être chimique, manuel, thermique ou mécanique.

Le désherbage mécanique est une technique de lutte contre les adventices des cultures. Avec le développement des herbicides, le désherbage mécanique a été plus ou moins oublié, il revient aujourd'hui comme technique alternative au désherbage chimique dans des contextes de réduction des intrants [11].

Le désherbage mécanique est un moyen agronomique curatif (destruction des adventices déjà levées) qui peut être utilisé pour limiter ou même supprimer l'usage des herbicides. Cependant, le désherbage mécanique ne peut être efficace que si des techniques préventives ont été adoptées en amont. Si le système de culture est sensible (rotation courte, travail du sol simplifié, …), le désherbage mécanique sera peu efficace voire néfaste. Cette technique repose sur l'utilisation, pendant le développement de la culture, d'outils mécaniques tractés avec différents modes d'action. On en dénombre trois couramment utilisés : la herse étrille, la houe rotative et la bineuse.

2.1 La bineuse

La bineuse, outil muni de socs fixés sur des dents pouvant être combinés à un système de binage sur le rang (exemple : doigts Kress), est utilisée pour la maîtrise de l'enherbement des plantes sarclées (Figure 19). Aujourd'hui, il existe une multitude de bineuses. En effet,

Figure 19 : Bineuse en culture de haricots
(Source : Agro-transfert, 2011)

Figure 20 : Houe rotative en culture de haricots
(Source : Agro-transfert, 2011)

différents types de socs peuvent être combinés à divers modèles de dents. Il existe 3 types de socs : les socs de vibroculteur, les socs à patte d'oie et les socs plats ou lames. La combinaison socs/dents doit être choisie en fonction de son type de sol et de la culture à biner [12]. Cet outil est intéressant car il permet, selon l'assemblage des éléments bineurs, de travailler à la fois sur le rang et l'inter-rang.

La bineuse détruit les adventices en coupant les tiges et en les arrachant. Elle peut être considérée comme un outil de rattrapage car elle est efficace sur des adventices bien développées, jusqu'au stade 4 feuilles, comparé à la houe rotative et à la herse étrille efficaces que sur stade jeune. Cependant, il est fortement déconseillé d'utiliser une bineuse en présence de vivaces car il existe un risque de bouturage. De plus, la bineuse peut être utilisée à des stades plus avancées de la culture. C'est un outil très polyvalent, elle est adaptée même au sol battant et en terre lourde et peut être utilisée sur de nombreuses cultures. La largeur est variable selon l'inter-rang, ce qui permet un débit de chantier plus ou moins important. D'ailleurs, sa vitesse de travail est comprise entre 3 et 5 km/h pour les passages précoces afin de ne pas endommager la culture et entre 10 et 12 km/pour les plus tardifs.

Son efficacité dépend du semis : « la sélectivité est totale avec un bon réglage et une bonne régularité du semis » [13] et du système de guidage. Désormais, de nombreux systèmes de guidage existent : guidage par caméra, manuel, auto-guidage (par. suivis de sillons réalisés au semis) ou auto-pilotage [14].

L'agressivité de la bineuse se règle par :

- la rigidité des dents où sont fixés les socs : plus la dent sera rigide, meilleure sera la pénétration dans le sol
- l'angle de pénétration du soc : si l'angle du soc est élevé, il pénétrera davantage en profondeur le sol qu'un soc dont l'angle est faible et qui travaille à l'horizontal du sol.

2.2 La houe rotative

La houe rotative se compose de roues dont les extrémités sont en forme de cuillères qui travaillent entre 2 et 5 cm de profondeur (Figure 20). Les roues dentées, en tournant rapidement, éjecte la terre et arrache les mauvaises herbes sans endommager la culture. Les particules du sol projetées recouvrent les jeunes plantules déracinées, sinon elles se dessèchent à la surface du sol. Cet outil est utilisable sur des adventices à des stades très jeunes [15].

L'agressivité de la houe rotative dépend de :

- la pression des roues étoilées sur le sol : plus la pression est élevée et plus le travail de la houe sera agressif.
- la vitesse d'avancement : Les passages se réalisent de 10 à 18 km/h, plus rapide que la bineuse ou même la herse étrille. En dessous de 10 km/ha, la houe rotative ne déchausse pas suffisamment les adventices. 18 km/h est considérée comme la vitesse optimale.
- la profondeur du travail : elle varie en réglant la hauteur des roues de jauge. Toutefois, il faut éviter de travailler à plus de 3 cm de profondeur au risque de provoquer des relevées d'adventices.

La houe rotative présente des atouts au niveau agronomique. Elle permet d'**ameublir** superficiellement le sol en cassant la couche superficielle créée par les passages répétitifs d'outils en intercuture. De plus, l'aération du sol ainsi provoquée permet de réchauffer et d'apporter de l'air au sol qui réactive la minéralisation de l'azote.

Figure 21 : Herse étrille de l'OP légumes industrie de Triskalia en action : à droite en culture de pois, à gauche en culture d'épinards (Source : JP. Renoir, 2014)

Figure 22 : Réglages de l'agressivité de la herse étrille : équilibre de l'outil (1), inclinaison des dents (2), hauteur des roues de jauge (3), vitesse d'avancement (4) (Source : Chambre d'agriculture Nord Pas de Calais, 2012)

2.3 La herse étrille

C'est un outil constitué de panneaux mobiles articulés où sont fixées des dents longues et flexibles (Figure 21). Ces dents, en vibrant, déracinent les adventices en travaillant sur 2-3 cm de profondeur. L'air et la chaleur vont provoquer ensuite leur desséchement. Ce travail superficiel évite d'endommager la culture enracinée plus en profondeur [16]. Toutefois, la herse étrille est surtout adaptée pour des cultures dont le feuillage n'est pas fragile et ayant un bon enracinement. La herse étrille est adaptée à des stades précoces des adventices, « stade filaments blancs ». En effet, pour une efficacité supérieure à 80 % il est conseillé d'intervenir avant le stade cotylédons pour les dicotylédones. Par ailleurs, le stade d'intervention varie en fonction des adventices. C'est pourquoi il est important de bien identifier la flore adventice présente sur sa parcelle. Il faut également prendre en compte qu'un passage trop tardif peut endommager la culture. La herse étrille a davantage de difficultés à détruire les adventices à racines pivotantes ou à germination profonde et l'outil est inefficace sur les vivaces.

Cet outil peut être utilisé en sol caillouteux, caractéristique des sols bretons. A l'inverse, cet outil n'est pas adapté à un sol battant car les dents, trop fines, n'arrivent pas à casser cette croûte superficielle. La longueur des dents est variable, les dents courtes permettent de mieux pénétrer dans les terres lourdes. De même, le diamètre des dents se choisit en fonction du type de sol. Plus le diamètre sera important, plus la dent sera dure et donc plus agressive pour la culture. Pour finir, il existe deux formes de dents : courbée ou droite. En présence de cailloux, il est préférable d'employer une herse munie de dents droites pour éviter de les ressortir du sol.

L'agressivité de l'outil peut se régler de diverses manières (Figure 22) [17] :

- par l'inclinaison des dents : une dent verticale par rapport au sol sera plus agressive qu'une dent oblique.
- par la vitesse d'avancement : plus la vitesse augmente et plus l'agressivité sera importante. A savoir que les premiers passages sont assez lents, de 4 à 5 km/h pour atteindre 7 à 8 km/h quand la culture est bien ancrée.
- par la hauteur des roues de jauge : plus les roues de jauge sont basses, moins les cages sont libres, plus le travail va être agressif.

Au niveau agronomique, la pénétration des dents dans le sol permet l'aération du sol ce qui favorise la minéralisation de l'azote et le positionnement du phosphore dans le sol. De plus, le passage de herse limite les pertes d'eau.

2.4 Conditions de réussite

Une stratégie de désherbage mécanique se définit par le choix de l'outil, la date d'intervention et le réglage de l'outil. Il est essentiel de s'adapter au contexte de l'exploitation pour mettre en place une stratégie de désherbage mécanique qui soit efficace dans la lutte contre les adventices. C'est-à-dire qu'il faut prendre en considération différents paramètres pour choisir la bonne stratégie :

- le sol
- le climat
- les adventices
- la culture

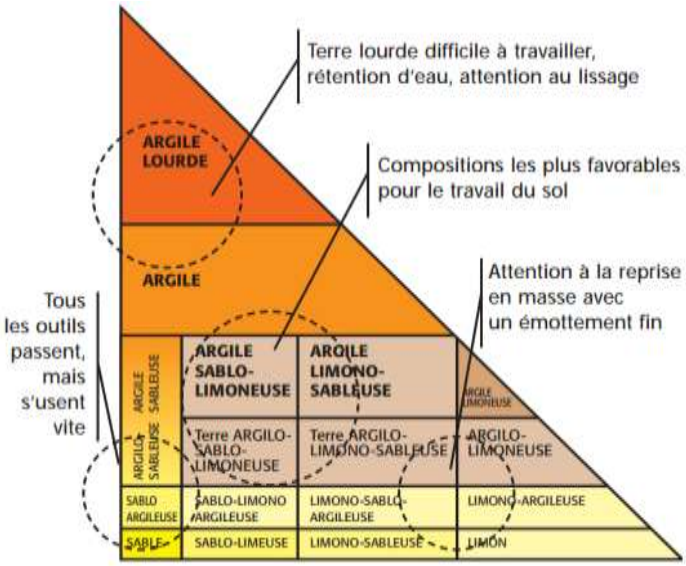


Figure 23 : Triangle de texture des sols (Source : IFV, 2009)

	Herse étrille	Houe rotative	Bineuse
Limon (sol battant)	Déconseillé Inefficace	Très adapté	Adapté
Argileux	Peu adapté	Adapté sous conditions	Adapté
Argilo limoneux	Très adapté	Adapté	Très adapté
Sols caillouteux	Adapté	Peu adapté	Peu adapté
Débris végétaux	Efficacité diminuée	Peu d'impact sur l'efficacité	
Conditions climatiques	Efficacité dépendante des conditions climatiques : - Attendre que le sol soit suffisamment ressuyé - S'assurer d'avoir un climat séchant pendant et après le passage pour permettre la déshydratation des adventices		

Figure 24 : Choix de l'outil en fonction du type de sol (Source : Chambre d'agriculture du Nord Pas de Calais - Ecophyto, 2013)

Tableau 2 : Efficacité des trois principaux outils de désherbage mécanique en fonction de l'humidité du sol, vert : efficacité bonne, passage possible – orange : efficacité moyenne à faible - rouge : efficacité insuffisante ou passage impossible (Source : Arvalis, 2012)

Niveau d'humidité du sol	Herse étrille	Houe rotative	Bineuse
Collant			
Non adhérent			
Frais			
Ressuyé			
Sec			

	Herse étrille	Houe rotative	Bineuse
Vivaces	Inefficace sur les vivaces Attention au risque de bouturage avec l'utilisation de la bineuse		
Annuelles	Efficace jusqu'à 1 F (inefficace sur les adventices développées)	Efficace uniquement au stade « filament blanc » (inefficace sur les adventices développées)	Efficace sur adventices jusqu'à 6 F

Figure 25 : Choix de l'outil en fonction de la flore adventices (Source : Chambre d'agriculture du Nord Pas de Calais - Ecophyto, 2013)

Le sol

L'efficacité de l'outil de désherbage mécanique dépend de la texture du sol, de son état structural initial et de son niveau d'humidité (Figure 24). Chaque outil possède ses propres propriétés et conditions optimales d'utilisation. La texture des sols a permis de faire des classes indiquant des préconisations pour l'usage d'outils de désherbage mécanique (Figure 23). Cependant ce triangle des textures ne tient pas compte de la présence de graviers ou de cailloux, qui rend difficile l'usage d'outils de désherbage mécanique. D'autre part, les outils de désherbage mécanique nécessitent un sol nivelé et rappuyé pour travailler efficacement, en particulier un sol préparé finement et roulé après le semis sera plus favorable [18]. C'est ce qui est pratiqué par l'OP légumes industrie de Triskalia avant un semis d'épinards, de pois ou de haricots.

Le climat

Il est important d'avoir un climat séchant avant, pendant et après l'intervention de désherbage mécanique. En effet, après l'action des outils, les racines doivent se dessécher rapidement. Un environnement trop humide ou une pluie provoque l'effet inverse, les racines des adventices vont repartir ou bien les graines vont germer suite au remuement de la surface du sol (Lieven & Lucas, 2009). « Même si la dessiccation des adventices est généralement rapide après le passage des outils en été, une fenêtre de temps sec de **48 heures** après l'intervention permet de garantir une durabilité intéressante au printemps [18]. Le nombre de jours favorables au désherbage mécanique est alors plus faible que pour un désherbage chimique. A l'inverse, le nombre d'heures par jour est supérieur car le vent et l'hygrométrie ne sont pas des facteurs limitants. D'autre part, le sol doit être ressuyé lors du passage de l'outil. Il doit être ni trop humide, au risque que la terre colle aux roues du tracteur, ni trop sec (Tableau 2). Un minimum d'humidité est requis. Finalement, le désherbage mécanique est une technique très **dépendante des conditions climatiques**.

Les adventices

Les meilleurs moments de passage sont lorsque les adventices sont à un **stade jeune** [19] : « filament blanc », une feuille surtout avec une herse étrille ou la houe rotative. Elles ne sont pas encore bien implantées dans le sol et plus facilement déracinables (Figure 25). Les outils travaillent superficiellement entre 3 et 4 cm. Ce n'est pas assez profond pour déraciner des adventices trop développées**.** Elles sont affaiblies mais se redéveloppent dès que les conditions climatiques sont favorables. Même le recouvrement de terre n'est pas assez efficace contre les adventices, il n'empêche pas les plantes les plus vigoureuses de repartir. Selon l'outil de désherbage mécanique, l'efficacité va varier **en fonction des espèces** d'adventices présentes (Figure 25).

La culture

Les outils de désherbage mécanique peuvent être utilisés dès lors que les semis sont en lignes [19]. L'écartement entre les rangs de la culture va également conditionner le choix de l'outil. En effet, la bineuse convient davantage à une culture avec un écartement important comparé à la herse étrille. Le stade optimal de la culture pour l'intervention varie avec l'outil (annexe 2).

C. Le désherbage mécanique : une alternative adaptée au contexte

Le désherbage mécanique est compatible avec l'agriculture écologiquement intensive que l'OP légumes industrie de Triskalia souhaite développer. En effet, le désherbage mécanique permet

Tableau 3 : Explication du choix de la technique de désherbage mécanique (Source : personnelle)

	Comparatif désherbage mécanique
Désherbage chimique	- impact sur l'environnement et la santé humaine - résidus sur les produits - retraits d'homologation de matières actives - développement de résistances
Solarisation	- plus qu'un simple outil mécanique à tracter : nécessité de mettre en place des formations - temps pour la mise en place - incompatible avec des grandes surfaces - coût (1500 €/ha) : rentabilité insuffisante comparé à un usage en maraîchage
Désherbage thermique	- coût plus élevé - essais non concluants au sein de la coopérative Triskalia - temps d'intervention - consommation d'énergies fossiles plus importantes - problème de sécurité
Barrière physique (mulch, paillage)	- Cette technique n'est pas envisageable pour des cultures légumières destinées à l'industrie car les machines de récoltes ne sont pas capables de trier les résidus de culture ni même les usines.

de réduire voire d'éliminer l'usage d'herbicides : « dans l'optique écologiquement intensive, l'objectif n'est pas l'éradication totale des adventices mais la limitation des populations à des niveaux acceptables car contrôlables » (Griffon, 2013).

D'autre part, l'OP légumes industrie de Triskalia a déjà investi dans des outils de désherbage mécanique : une bineuse ainsi qu'une herse étrille. Des démonstrations auprès des producteurs ont eu lieu lors de la campagne de 2013 et ont suscité un engouement de leur part. Certains agriculteurs sont prêts à mettre en place cette technique, cependant ils souhaitent que la rentabilité reste la même. C'est pourquoi il est important de travailler à l'optimisation de la technique d'autant plus que les données sur légumes industrie sont limitées.

De plus, aujourd'hui les entreprises agricoles sont mécanisées et le temps disponible pour les agriculteurs est de plus en plus limité. Par conséquent, le désherbage mécanique est une technique adaptée à ces évolutions. D'autre part, il n'y a pas besoin de formations, l'outil doit simplement être tracté. Le débit de chantier est supérieur à un outil de désherbage thermique et sa mise en œuvre est bien plus rapide que la technique de la solarisation ou la mise en place d'un paillage. Par ailleurs, les barrières physiques telles que le paillage ou le mulch ne sont pas envisageables pour des cultures légumières destinées à l'industrie. En effet, comme on l'a vu précédemment, les exigences de l'aval sont nombreuses. Les plastiques ou même les résidus de matières organiques se retrouveraient au travers des légumes, les machines de récoltes n'étant pas sélectives, ce qui peut entrainer un refus du lot. Le tableau 3 reprend les justifications du choix du désherbage mécanique en faveur des autres leviers d'actions curatifs pour la maîtrise de l'enherbement. Le coût de l'investissement fait partie également des critères de choix.

D. Etat des lieux des pratiques de désherbage mécanique en cultures de pois et d'épinards

1. Désherbage mécanique en culture de pois

On distingue 3 étapes qui caractérisent le cycle de culture du petit pois (UNILET, 2008) :

- **La levée** (10 – 31 jours) : elle intègre l'imbibition de la graine et sa germination. Sa durée varie en fonction des conditions de semis.
- **La croissance végétative** (35 – 50 jours) : elle se situe entre la levée et la floraison et est déterminée par la précocité de la variété
- **La phase de remplissage des gousses et des grains** (25 – 45 jours) : correspond au développement reproducteur.

Soit une durée totale du cycle de 75 à 115 jours. Avant le semis, un sous-solage est parfois pratiqué pour casser la semelle de labour. En effet, le pois est sensible à la compaction et à une mauvaise aération. D'autre part, le sol doit être nivelé à la préparation du lit de semences pour assurer un désherbage efficace et faciliter la récolte.

Concernant le désherbage du pois, on distingue des herbicides en postsemis-prélevée et des herbicides en post-levée. Dans les deux cas, les herbicides utilisables sur pois ont des efficacités restreintes. Leur efficacité est dépendante des conditions climatiques, du stade des adventices… Ces deux types d'herbicides doivent être combinés car **l'impasse du désherbage postsemis-prélevée est risquée.** En effet, le désherbage postlevée seul est aléatoire sur certaines adventices. Agro-transfert a édité un document récapitulatif des essais de désherbage mécanique qu'ils ont mené dans des cultures de pois, de haricots et de carottes en Picardie. La figure 26 présente la période du cycle de culture du pois qu'ils ont considéré comme idéale pour

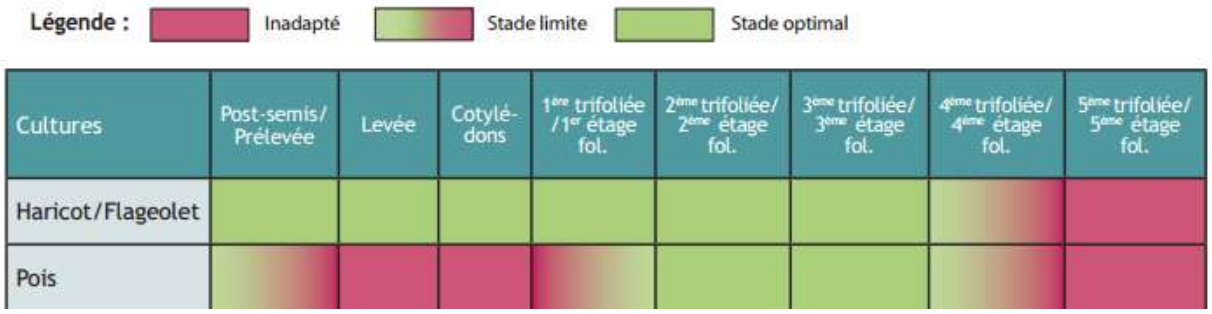


Figure 26 : Période du cycle de culture optimal du pois et du haricot destinés à l'industrie pour un passage de herse étrille avec réglage des dents par ressort sur le même modèle que la herse étrille de l'OP légumes industrie de Triskalia (Agro-transfert, 2014)

Tableau 4 : Détails des résultats obtenus après passage de différents outils de désherbage mécanique sur une culture de petits pois en agriculture biologique (Source : S.J Reddiex et al., 2001)

	Témoin	Herse étrille	Houe rotative	Bineuse
- MS adventices	9.29a	8.13a	10.0a	-
- MS culture	521a	596a	509a	-
- Rendement	11.3a	10.1a	12.4a	-

* Deux lettres différentes dénotent des moyennes statistiquement différentes au risque de 5 %

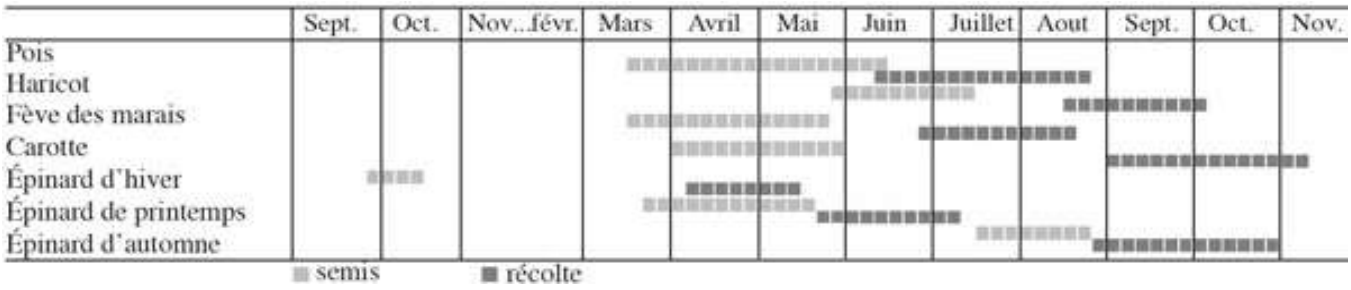


Figure 27 : Calendrier de production des principaux légumes industriels (Source : université de Liège, 2013)

le passage de la herse étrille ou de la bineuse. On peut constater que cette période assez restreinte entre le stade **fin du 1er étage foliaire** et le stade apparition du **4ème étage foliaire** du pois. En effet, le passage d'outil mécanique trop tôt dans le cycle de culture du pois risque d'entraîner une perte de pieds par manque d'ancrage de la culture à ce stade. A l'inverse, un passage d'outil après le 4ème étage foliaire pourrait endommager la plante, la rendre plus chétive car la fermeture du rang apparaît à cette période et cela pourrait avoir une conséquence sur le rendement ou sur la qualité. Ajouter à cela, il faut prendre en compte la fenêtre climatique.

S.J Reddiex et al. (2001) ont mis en place des expérimentations pour évaluer l'efficacité de deux outils de désherbage mécanique (herse étrille et houe rotative) sur la culture de petits pois en agriculture biologique en comparaison à un témoin non désherbé. Aucune différence significative du traitement de gestion de l'enherbement n'a été observée sur le taux de matière sèche des adventices, sur le taux de matière sèche de la culture et sur le rendement ($p > 0.05$) (Tableau 4). Les auteurs expliquent ces résultats par la faible population d'adventices présente initialement ce qui rend difficile de déterminer s'il y a eu un réel effet ou non du désherbage mécanique. D'autre part, la culture de pois n'est pas très sensible à la compétition des adventices. Stiefield et Popay (1990) ont montré que le rendement du pois n'a pas été amélioré même en réduisant la flore adventice de 66 % à l'aide de la herse étrille.

2. Désherbage mécanique en culture d'épinards

On distingue trois périodes de culture pour les épinards : épinards d'hiver, de printemps et d'automne (Figure 27). Pour la culture d'épinards d'hiver, la principale problématique concerne la présence de véronique. En effet, aucun produit aujourd'hui ne permet de lutter efficacement contre cette adventice. Deux herbicides en post-semis sont communément utilisés en Bretagne : le Varape et le Centium 36 CS qui permettent un contrôle de la plupart des adventices retrouvées en épinards hormis la véronique. En hiver, les conditions sont propices à l'utilisation de ces herbicides. En effet, le sol breton est riche en matière organique ce qui implique un blocage d'une partie des molécules utilisées en traitement dans le sol, l'autre partie est alors libérée directement pour la plante. L'humidité permet à la plante d'accéder aux molécules présentes dans le sol. Ce taux de matière organique élevé en Bretagne a pour conséquence des applications de doses plus importantes. A l'inverse, en culture d'épinards de printemps lorsque les conditions sont plus sèches, le Varape et le Centium 36 CS sont moins efficaces. Par conséquent, un autre herbicide est utilisé en complément du post-semis : le Fasnet SC (post-levée). Cependant, ce produit à un spectre d'efficacité réduit et ne permet pas de contrôler les adventices qui posent problème à cette période, c'est-à-dire les chénopodes, l'amarante et l'arroche. Comme on l'a vu précédemment, les outils de désherbage mécanique sont efficaces contre les dicotylédones. La pratique du désherbage mécanique pourrait alors, en complément de l'objectif de réduction des herbicides, maîtriser la flore adventice non contrôlée par des méthodes chimiques.

En Italie centrale, F. Tei et al. (2002) ont mené une étude pour connaitre l'efficacité de quelques méthodes de désherbage physique sur épinards d'hiver destinés à l'industrie semés à deux inter-rangs : 12,5 cm et 25 cm. Les méthodes de désherbage physiques testées sont les suivantes : herse étrille, bineuse, bineuse à moulinets et désherbage thermique. Une parcelle non désherbée et une désherbée chimiquement ont servi de témoin. La figure 28 illustre le matériel et la méthode. La densité d'adventives avant le passage d'outils de désherbage était bien supérieure à la densité observée sur le témoin non traité au moment de la récolte. Par conséquent, l'épinard a montré une **forte compétition initiale** avec les adventices. Pour assurer cette compétition initiale, pour favoriser l'efficacité du désherbage physique qui s'ensuit,

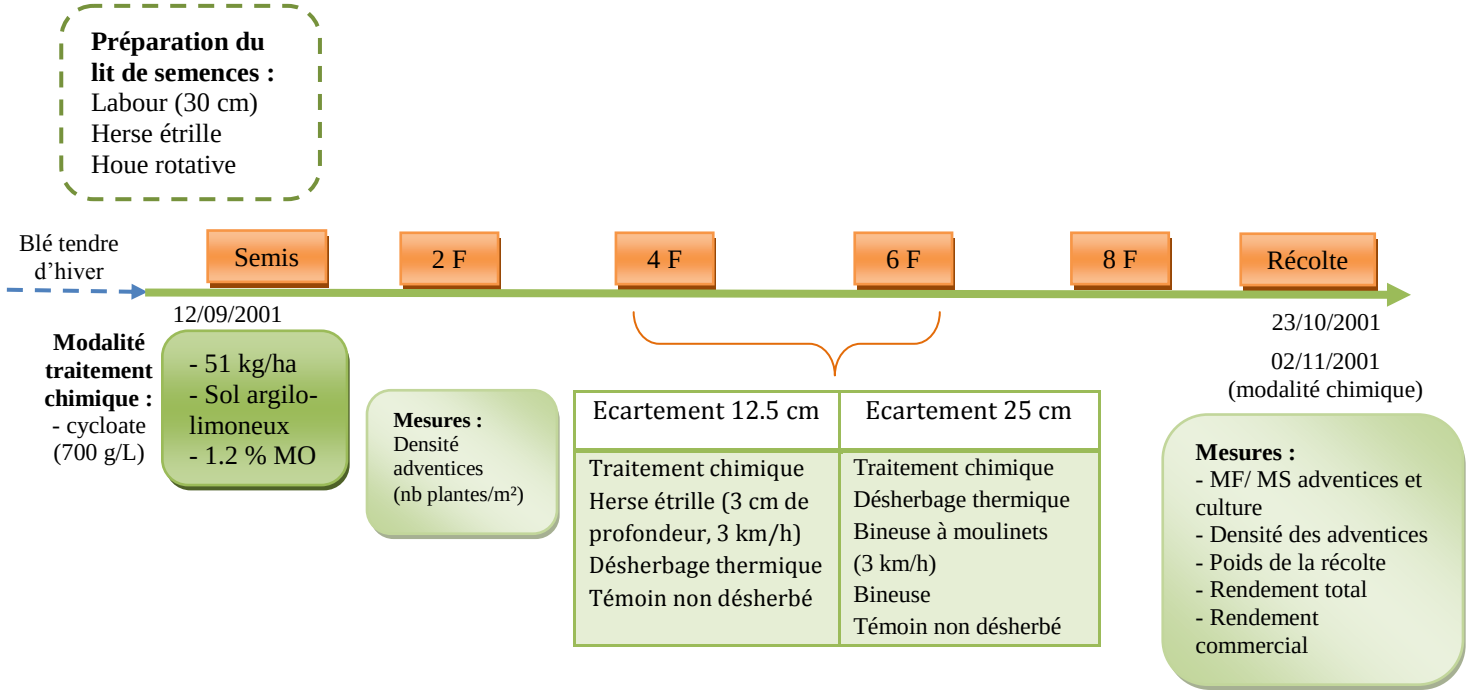


Figure 28 : Matériels et méthodes de l'expérimentation menée en Italie sur épinards destinés à l'industrie

(Source : personnelle d'après F. Tei et al., 2002)

il serait nécessaire de réaliser un faux semis, un désherbage thermique en pré-levée ou un passage de herse superficiel. D'autre part, le traitement chimique en pré-semis obtient lesmeilleurs résultats en terme de contrôle des adventices cependant le traitement a affecté la croissance de la plante, contrairement au désherbage physique, ce qui a retardé la récolte d'environ 10 jours et affecté les rendements. Concernant les rendements obtenus, aucune différence n'a été constatée entre les deux inter-rangs. Par ailleurs, avec un inter-rang de 25 cm, les résultats montrent un fort potentiel de la bineuse et de la bineuse à moulinets pour le contrôle des adventices sans endommager la culture. A l'inverse, la herse étrille n'a pas été efficace dans la lutte contre les adventices avec un inter-rang classique de 12.5 cm. Le désherbage thermique a provoqué une pourriture des feuilles temporaires et dans certains cas une déformation des feuilles qui entraine des pertes au niveau du rendement commercial d'autant plus importantes avec un inter-rang de 12.5 cm.

E. Bilan des essais de désherbage mécanique de la campagne 2013

En 2013, des essais ont été réalisés par l'OP légumes industrie de Triskalia afin de tester le désherbage mécanique en culture de pois, d'épinards et d'haricots destinées à l'industrie. Ces essais ont été menés en plein champ, sans protocole bien défini. L'objectif consistait à déterminer si le programme de désherbage chimique pouvait être remplacé totalement par un désherbage mécanique. Les essais ont permis de mettre en évidence l'**importance du désherbage post-semis**. En effet, le désherbage mécanique, en l'absence de passage d'herbicide n'a pas permis de maintenir les parcelles propres. C'est pourquoi cette année, pour les essais, le désherbage post-semis a toujours été réalisé.

Comme on l'a vu précédemment dans l'expérimentation de F. Tei et al., le binage des épinards avec un inter-rang de 25 cm semble concluant. L'OP légumes industrie de Triskalia n'a pas souhaité mettre en place cette technique car des essais aux Pays-Bas de binage en épinards avec un inter-rang de 25 cm en maintenant la densité de semis à 3 millions de graines/ha ont montré que l'épinard montait par augmentation de la densité sur le rang. Il faudrait alors réduire la densité de semis. De plus, cette technique pose un problème de matériel, la bineuse de l'OP est adaptée à un écartement de 50 cm en haricot, elle n'est pas adaptée à un écartement de 25 cm. D'autre part, des réglages supplémentaires seraient nécessaires pour adapter le semoir à cet écartement. Les essais de 2013 réalisées sur 2 parcelles différentes, sans protocole précis, ont permis de démontrer qu'un passage de herse au stade 2 feuilles vraies de l'épinard endommageait la culture entrainant une perte de pieds non acceptable. De plus, il a été constaté une perte de densité après passage de herse au stade 4 feuilles vraies d'environ 20 % au visuel, et une perte d'environ 10 % après passage au stade 6 feuilles vraies de l'épinard. Soit pour arriver à une densité de semis égale à 2.5 millions de graines/ha, il faut une densité de semis initiale de 3.5 millions de graines/ha. C'est pourquoi, pour la campagne de 2014, pour toutes les parcelles conduites en désherbage mécanique, la densité de semis d'épinards à été augmentée à 3.5 doses (1 dose = 1 million de graines/ha), correspondant à une augmentation de 30 %.

F. Problématique

Pour la campagne 2014, l'OP légumes industrie de Triskalia a décidé de poursuivre les essais sur la base des résultats obtenus suite aux essais de 2013 et de développer la technique à plus grande échelle. En effet, cette année 90 hectares ont été prévus pour être conduits en désherbage mécanique pour les cultures de choux, de haricots, de pois et d'épinards. Ces parcelles intègrent le programme « Système U », un programme qui permet une prise en charge de la part de la filière en cas de surcoût des charges opérationnelles de la culture et également

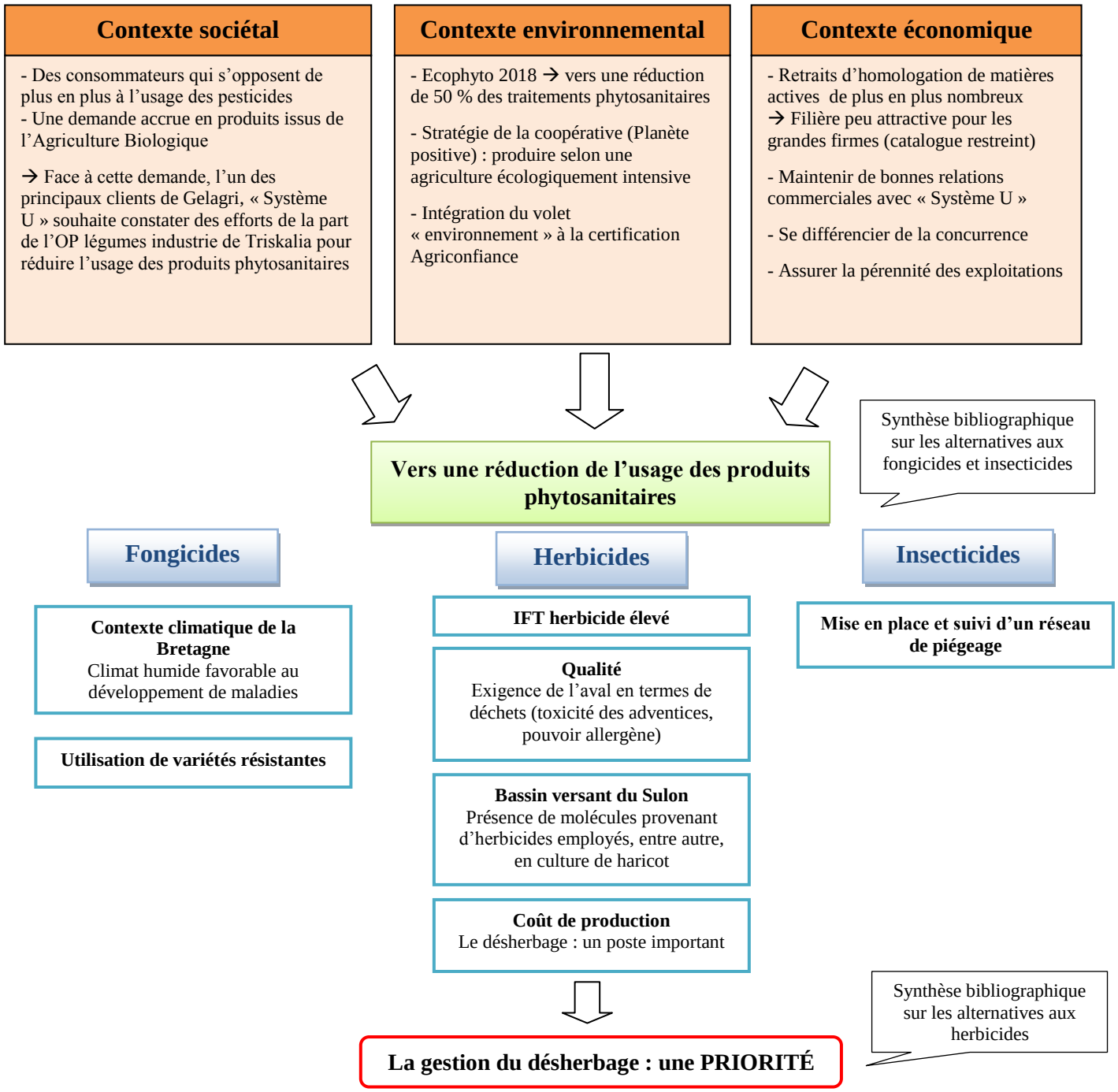


Figure 29 : Schéma explicatif de la problématique choisie (Source : personnelle)

en cas d'échec sur la culture. Ainsi, le producteur percevra un revenu identique à une conduite de désherbage tout chimique, sa conduite usuelle. Sur ces 90 hectares, 3 parcelles ont été choisies pour réaliser des essais directement chez les producteurs, une parcelle en culture d'épinards de printemps et deux parcelles en culture de pois. Lors de mon stage, j'étais également en charge du suivi des parcelles entièrement désherbées mécaniquement.

Ce projet a donc pour but d'évaluer les conséquences technico-économiques de l'usage du désherbage mécanique en culture de pois et d'épinards dans ces différentes exploitations témoins. La problématique est la suivante : **« Le désherbage mécanique en culture de pois et d'épinards est-il un levier techniquement et économiquement viable pour les exploitations types étudiées ? » (**Figure 29).

Sous questions :
Comment modifier l'itinéraire technique pour intégrer des pratiques de désherbage mécanique ?
Le contexte pédoclimatique influence-t-il les pratiques de désherbage mécanique ?
Quels sont les freins et leviers techniques et économiques intervenant dans la diffusion et l'adoption de ces pratiques innovantes ?

Objectifs:
- Evaluer l'efficacité technico-économique des pratiques de désherbage mécanique
- Définir des règles de décisions déclenchant les interventions de désherbage mécanique
- Valider des itinéraires techniques transposables de manière réaliste aux producteurs de légumes d'industrie

IV. MATERIEL ET METHODES

A. Description des sites d'expérimentation

1. Essai en culture d'épinards de printemps

Présentation de la parcelle

La parcelle d'épinards de printemps consacrée à l'essai désherbage mécanique se situe chez Monsieur Dominique GUILLERMIC, GAEC du Beau Village, au lieu dit de Kermaquer à Noyal-Pontivy avec une surface de 3 ha. La parcelle est positionnée au milieu d'espaces naturels, principalement des parcelles cultivées et des haies boisées, et en bordure d'un aérodrome (Figure 30).

Système cultural

L'exploitation de Dominique GUILLERMIC, avec un élevage de porcs, est un système « polyculture-élevage » sur 150 hectares. La rotation se compose de céréales et de cultures légumières pour l'industrie (haricots et épinards). Les épinards représentent 12 % de son assolement. La rotation des cultures sur la parcelle d'essai est la suivante : blé – orge – (*couvert d'avoine)* – **épinards de printemps** – maïs. Le tableau 5 présente les caractéristiques de la parcelle. Les épinards de printemps, de la variété Matisse, ont été semés le 30 mars 2014 à 2,8 doses soit 2,8 millions de graines/ha.

Dispositif expérimental

L'essai est constitué de 2 bandes (une par modalité) de 5 micro-parcelles chacune soit un total de 10 parcelles élémentaires. La taille des parcelles élémentaires diffèrent d'un

Figure 30 : Localisation de la parcelle d'épinards à Noyal-pontivy délimitée en rouge (Source : Google map, 2014)

Tableau 5 : Synthèse des caractéristiques de la parcelle

Texture du sol	limono-argileux
Potentiel de rendement	• 2012 : 20 T/ha • 2013 : 22 T/ha potentiel de rendement qui correspond à la moyenne
Taux de matière organique	~ 4 %
pH	basique (6,5 – 7)

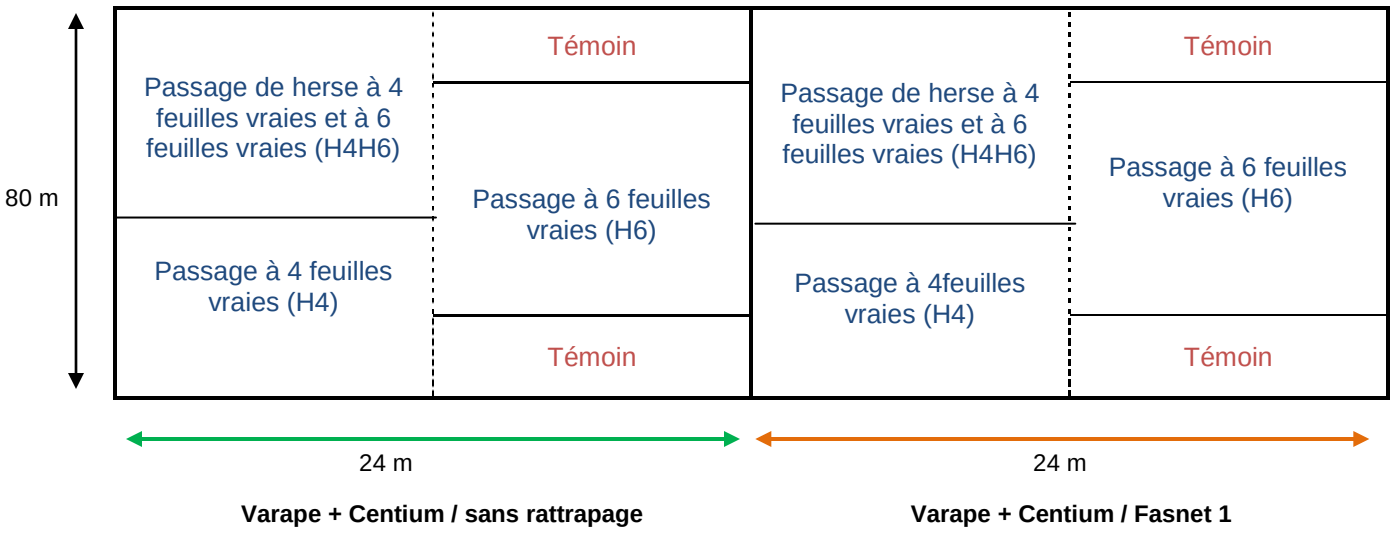


Figure 31 : Plan de l'essai « désherbage mécanique en culture d'épinards » mis en place sur la parcelle de l'EARL du Beau village (Source : personnelle)

traitement à l'autre. Une bande mesure 24 mètres de large (largeur du pulvérisateur de l'agriculteur) et 80 mètres de long ce qui correspond à une superficie totale de 0.4 ha. Le reste de la parcelle, soit 2.6 ha, correspond à la pratique usuelle de l'agriculteur. Dans cette parcelle sont comparées trois conduites : l'une habituelle tout chimique (pratique de l'agriculteur) et deux associant chimique et mécanique (la première avec un traitement post-semis uniquement et la deuxième avec un traitement post-semis et un rattrapage en post-levée). Par conséquent, on distingue 3 itinéraires techniques différents (Annexe 3).

Concernant les parcelles élémentaires, pour chaque bande, la répartition des différentes modalités de passage de herse est la suivante :

- Une micro-parcelle avec un passage de herse étrille au stade 4 feuilles vraies de l'épinard.
- Une micro-parcelle avec deux passages de herse au stade 4 feuilles vraies et au stade 6 feuilles vraies de l'épinard.
- Une micro-parcelle avec un passage de herse au stade 6 feuilles vraies de l'épinard.
- Deux micro-parcelles témoins, sans passage de herse étrille.

Le reste de la parcelle est conduit en tout chimique : un désherbage en post-semis et deux rattrapages au Fasnet en post-levée.

Le protocole comprend deux types de désherbage :

- Chimique : Varape à 1 kg/ha + Centium CS à 0.12 l/ha en post-semis (02/04/14)
  Fasnet à 0.9 l/ha en rattrapage (18/04/14)
- Mécanique : passage de herse étrille Treffler (Stekete) de 12 m à dents courbées appartenant à l'OP légumes industrie de Triskalia réalisées le 28 avril (semis + 29 jours) et le 15 mai (semis + 46 jours) (Tableau 6).

Le tableau 6 récapitule les différents traitements et la figure 31 représente le plan de l'essai.

Tableau 6 : Synthèses des différentes modalités de désherbage testées dans la parcelle d'épinards

Traitements	Modalités de passage de herse
Désherbage post-semis (Varape + Centium)	Passage de herse à 4 feuilles vraies
	Passages de herse à 4 et à 6 feuilles vraies
	Passage de herse à 6 feuilles vraies
	Témoins (X 2)
Désherbage post-semis (Varape + Centium) + un rattrapage (Fascnet)	Passage de herse à 4 feuilles vraies
	Passages de herse à 4 et à 6 feuilles vraies
	Passage de herse à 6 feuilles vraies
	Témoins (X 2)

2. Essais en culture de pois

Présentation des parcelles

Deux parcelles de pois ridés ont été sélectionnées cette année pour réaliser des essais de désherbage mécanique. La première parcelle d'essai est située sur la commune de Loudéac (22600), chez Monsieur François LE BIHAN, **SCA le Bihan Gloux.** La SAU de l'exploitation atteint 600 ha et avec 70 ha, la culture de pois représente 12 % de leur assolement. La parcelle de 16 ha, où est intégré l'essai, est entourée de haies boisées qui la séparent des autres parcelles cultivées. C'est une exploitation en polyculture-élevage (élevage de porcs). La rotation se compose de cultures céréalières et de cultures légumières pour l'industrie. Sur la parcelle de l'essai, la rotation est la suivante : épinards d'automne – blé – épinards d'hiver – **petits pois** – haricot.

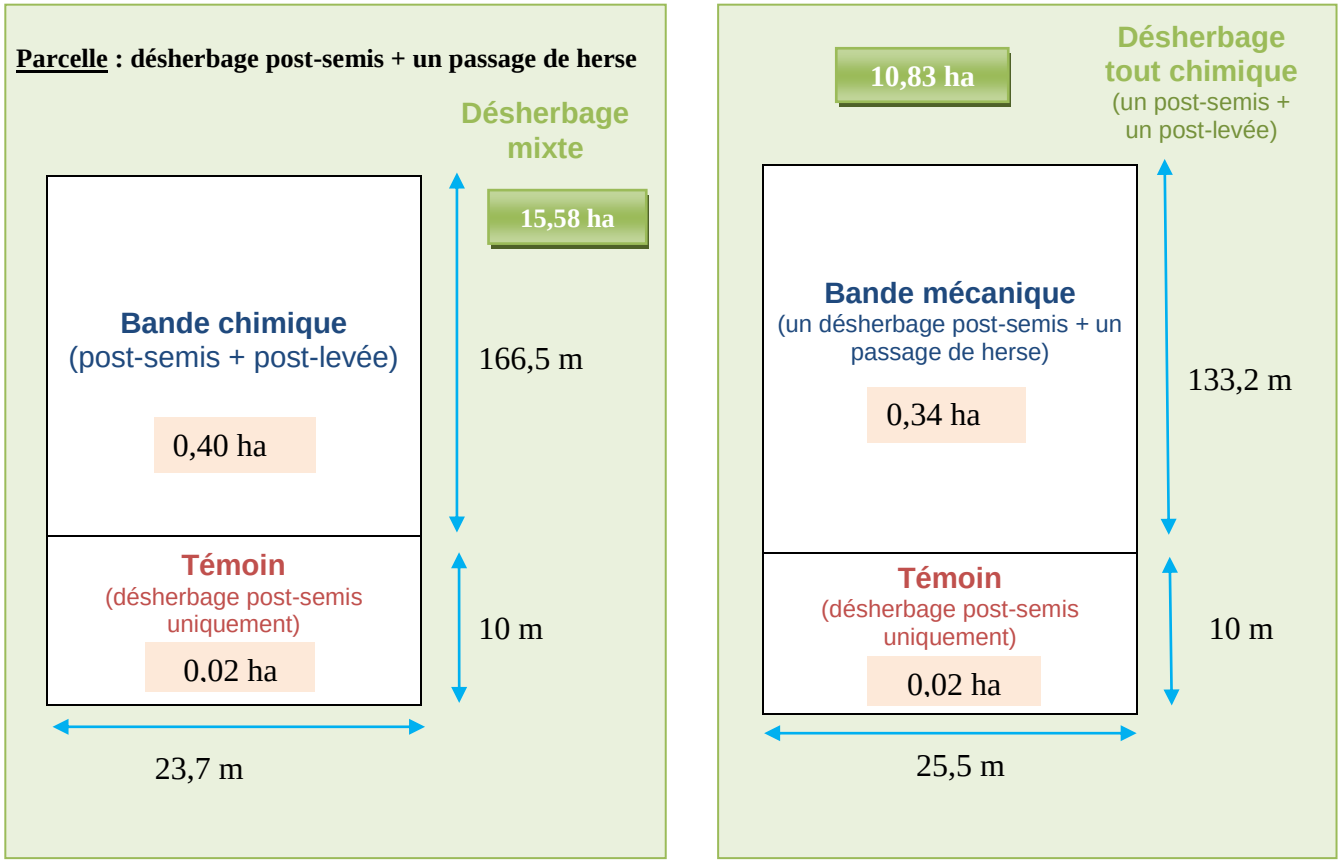


Figure 32 : Plan des essais en culture de pois. A gauche essai mis en place sur la parcelle « la ville calair » (SCA Le Bihan Gloux). A droite plan de l'essai mis en place sur la parcelle « la ville rouault » (EARL de Penhouedo). En blanc la partie essai et en vert le reste de la parcelle. L'encadré vert nous donne la surface de la parcelle sans la zone d'essai (figurée en blanc).

Figure 33 : Passage de herse étrille dans la culture de pois au stade 8 -10 cm du pois (Source : F.Bonfils, 2014)

La seconde expérimentation a eu lieu chez Monsieur Pascal RENOIR, EARL de Penhouedo, sur une parcelle de 11,20 ha située au lieu dit la ville Rouault à Trévé (22600). La parcelle est entourée d'une parcelle cultivée en maïs et délimitée par des haies boisées. C'est une exploitation en polyculture-élevage. En effet, Monsieur RENOIR possède un élevage de vaches laitières. La SAU de l'exploitation est de 146 ha dont 50 ha consacrés aux cultures légumières ce qui représente 34 % de son assolement. Il cultive chaque année 12 ha de pois destinés à l'industrie. La rotation des cultures sur la parcelle où s'est déroulé l'essai est la suivante : Maïs – Maïs – Maïs – Blé – (*couvert d'avoine)* – **petits pois** – blé. Pour les 2 parcelles, le sol est d'une texture argilo-limoneuse.

En ce qui concerne la SCA le Bihan Gloux, les pois ridés de la variété, FABIO, ont été semés le 19 avril 2014 à 6.4 doses soit 128 graines/m². La parcelle de l'EARL de Penhouedo a été semée plus tardivement, le 22 avril 2014 à une densité de semis de 90 graines/m². La variété correspondante est la variété ZONDA en pois ridés. L'annexe 4 détaille les itinéraires techniques de la culture de pois sur les 2 parcelles.

Dispositif expérimental

Le protocole comprend 3 traitements différents, la variable est la gestion du salissement de la culture :

- **Désherbage mixte :** un désherbage en post semis et un passage de herse étrille Treffler appartenant à l'OP légumes industrie de Triskalia et conduite par un entrepreneur. Le passage de herse a eu lieu au stade 8 – 10 cm du pois (le et à une vitesse de 3-4 km/h avec une tension de 3 sur une échelle de 10.
- **Désherbage tout chimique** (pratique usuelle de l'agriculteur) : un désherbage en post-semis (centium à 0.2 L/ha + challenge 600 à 1.5 L/ha) et un rattrapage en post-levée (Basagran à 0.8 kg/ha)
- **Zone témoin** : un désherbage en post-semis uniquement

Le dispositif expérimental comprend 2 bandes sur une partie de la parcelle, une par modalité. La taille des bandes diffère d'une modalité à une autre. La largeur des bandes correspond à la largeur du pulvérisateur de l'agriculteur, soit 24 m (la largeur réelle après mesure a été plutôt prise en compte, cf. schéma du dispositif). La 3ème modalité correspond à la conduite de désherbage pratiquée sur le reste de la parcelle (tout chimique ou mixte selon l'exploitation). La figure 32 présente les 2 dispositifs expérimentaux.

B. Notations

Adventices

Les notations de salissement (flore adventice présente) sont effectuées à l'aide d'un cercle de 0,25 m². Pour chaque traitement et à chaque notation, 8 zones sont notées, soit une zone d'échantillonnage de 2 m². Cette surface est choisie de façon aléatoire sur chaque traitement. Une notation avant le passage de herse et une seconde après les passages de herse ont été réalisées. Sont notés pour chaque relevé et pour chaque espèce le stade, le nom et le nombre d'individus.

Eventuelles pertes de plants

Des comptages de nombre de plants de pois ont été effectués avant et après l'intervention de désherbage mécanique sur une surface totale de 2 m², à l'aide d'un cercle de 0.25 m². 8 zones

Figure 34 : Outil utilisé pour la récolte des modalités de l'essai épinards (Source : personnelle)

Figure 35 : Récoltes des différentes modalités dans l'essai épinards (Source : personnelle)

ont été notées par modalité, placées de manière aléatoire sur la parcelle permettant ainsi d'évaluer la densité de plants au mètre carré.

Impact rendement

Essai épinards

Afin d'évaluer les rendements pour chaque modalité, une barre de coupe a été utilisée, ne disposant pas de moissonneuse d'expérimentation (Figure 34). Elle coupe le pétiole à 3 cm de hauteur ce qui, par conséquent, n'est pas représentatif d'une récolte conventionnelle qui coupe les pétioles à 7 cm de hauteur par rapport au sol. Deux placettes de 5.25 m² ont été récoltées par traitement (Figure 35). Cette surface a été choisie de façon aléatoire sur une même ligne de semis dans chaque modalité. La récolte des micro-parcelles a été réalisée le 26 mai 2014, soit une semaine avant la récolte entière de la parcelle (2 juin 2014). Au moyen d'une balance de précision, les rendements ont été évalués en tonne par hectare. De plus, au moment de la récolte de la parcelle dans son entièreté, toute la partie « essai » a été récoltée dans un même caisson soit une surface de 0,4 ha, ce qui a permis d'évaluer le rendement pour tous les traitements confondus.

Essai pois

La parcelle située à Loudéac « La ville calair » a été récoltée le 10 juillet 2014 tandis que la parcelle à Trévé a été récoltée le 15 juillet 2014. Seules les modalités « désherbage mixte » et « désherbage tout chimique » ont été récoltées séparément avec la machine de récolte de l'OP afin d'obtenir un rendement en T/ha et pour apprécier la qualité des différentes modalités à l'usine Gelagri. Le témoin a été récolté avec le reste de la parcelle étant donné la faible superficie.

Qualité de la récolte

Pour chaque micro-parcelle, la qualité de la récolte est évaluée à l'usine Gelagri selon la procédure usuelle d'agréage des lots. Pour cela un échantillon a été prélevé sur chaque micro-parcelle. Pour les **épinards**, le rapport pétiole sur limbe (P/L), le pourcentage d'eau libre, le taux de déchets (adventices et autres corps étrangers) et les tourteaux sont des critères d'agréage. Pour les **pois**, la tendérométrie (dureté des grains) est évaluée ainsi que le taux de déchets. Ces critères d'agréage font partie du barème de paiement des agriculteurs. De plus, une appréciation visuelle a permis de compléter les données d'agréage. Les données de parage à l'usine ont permis de préciser la composition et la quantité totale de déchets du lot.

C. Analyses statistiques

Les données de densité d'adventices et de densité de pois ont été traitées à l'aide du logiciel R. Tous les tests effectués ont un niveau de signification de 5% ce qui est la valeur standard. Des **tests de normalités** pour toutes les données adventices (densité par espèce) ont été construits, en effet les effectifs sont inférieurs à 30. Les probabilités critiques associées à ces tests étaient toujours inférieures à 5 %, l'hypothèse nulle H0, associée au test de Shapiro Wilk qui affirme que l'échantillon suit une loi normale a donc été rejetée. Il a alors été nécessaire d'employer un test non paramétrique pour modéliser la relation entre le facteur « conduite de désherbage » et les variables « Densité d'adventices ». Pour cela des **tests de Kruskal-Wallis** ont été employés. Ce test permet de tester la différence significative entre les différents traitements. Dans le cas où la probabilité critique associé au test de Kruskal-Wallis est inférieur au niveau de signification alpha (0.05), des tests de Wilcoxon sont réalisés afin de comparer deux à deux les différentes conduites de désherbage.

Figure 36 : Perte de plants observée après le passage de herse, l'encadré rouge délimite la modalité « passage de herse au stade 4 feuilles vraies de l'épinard, sans rattrapage herbicide » (Source : personnelle)

Tableau 7 : Résultats du test de Kruskal Wallis qui compare les densités de chénopodes entre les différentes conduites de désherbage mécanique pour la partie herbicide de post-semis unique (sans rattrapage)

K chi2	13.4822
ddl	3
p-value	**0.003702**
alpha	0.05

Tableau 8 : Résultats des tests de Wilcoxon unilatéraux qui comparent les densités de chénopodes des 3 conduites de désherbages mécanique pour la modalité sans rattrapage. Comparaison de la densité de chénopodes de la modalité H4 avec la modalité H4H6 (a), comparaison des modalités H4 et témoin (b), comparaison des modalités H4H6 et témoin (c), comparaison des modalités H6 et témoin (d), comparaison des modalités H4 et H6 (e)

a

W	59
p-value	**0.003588**
alpha	0.05

b

W	108
p-value	**0.006087**
alpha	0.05

c

W	43
p-value	0.1585
alpha	0.05

W	53
p-value	0.4806
alpha	0.05

d

W	56
p-value	**0.01102**
alpha	0.05

e

V – RESULTATS DES ESSAIS

A. Essai épinards – EARL du Beau village

1. Conséquences techniques

1.1 Densité d'épinards

Après le passage de herse à 4 feuilles, une perte de pieds d'épinards a été observée. A l'inverse, nous n'avons pas constaté, au visuel, une perte après un passage à 6 feuilles vraies (Figure 36). Quand on passe la herse plus tard dans le cycle de culture, la plante est mieux ancrée dans le sol, on a alors moins de perte de plants. Cependant, cette perte de densité n'a pas été quantifiée.

1.2 Adventices

Les espèces d'adventices observées sur la parcelle sont : le chénopode blanc (*Chenopodium album*), la renouée persicaire (*Polygonum persicaria*) et la pensée des champs (*Viola arvensis*). Les analyses qui suivent s'intéressent uniquement à la densité de chénopodes étant l'adventice la plus fréquemment rencontrée.

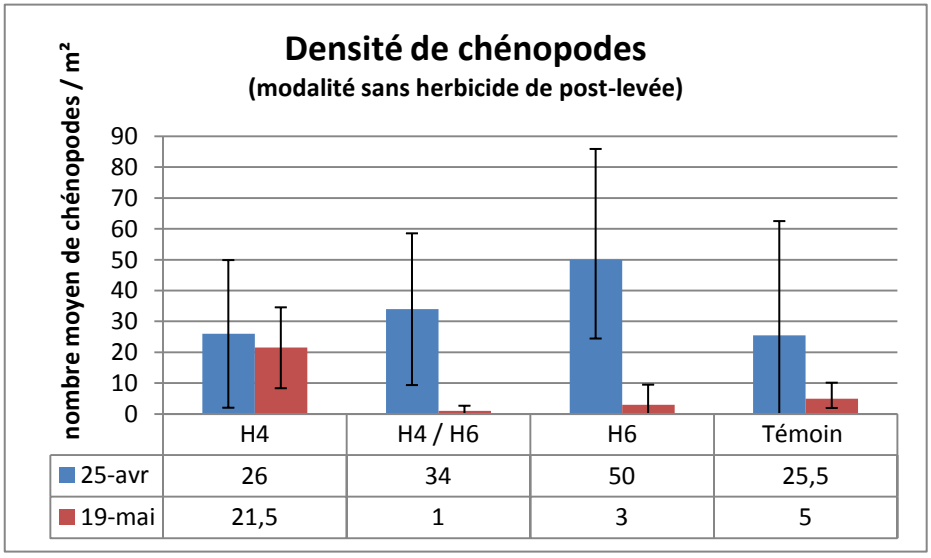


Figure 37 : Densité de chénopodes, quantifiée sur la zone sans rattrapage herbicide avant les passages de herse le 25 avril et 4 jours après le 2ème passage de herse le 19 mai, en fonction de la conduite de désherbage mécanique (H4 : post-semis + passage au stade 4 feuilles vraies, H6 : post-semis + passage au stade 6 feuilles vraies de l'épinard, H4/H6 : post-semis + passages au stade 4 feuilles puis au stade 6 feuilles, Témoin : herbicide de post-semis uniquement)

Nous pouvons observer une importante diminution de la densité de chénopodes au 2ème relevé du 19 mai en comparaison au 1er relevé réalisé avant les passages de herse. Les herbicides de post-semis Varape et Centium se sont probablement réactivés avec les conditions humides de ce printemps. Cette différence peut également s'expliquer par l'effet de compétition avec la culture qui atteint le stade 9 feuilles lors du 2ème relevé. D'autre part, on constate une densité de chénopodes plus importante après un passage de herse au stade 4 feuilles vraies de l'épinard en comparaison aux autres modalités. Nous allons vérifier si cette différence est significative ou non.

Le test de Kruskal-Wallis, nous indique qu'il y a au moins une conduite de désherbage mécanique pour laquelle la densité de chénopodes après la herse est différente des autres (Tableau 7). Ensuite, les tests de Wilcoxon (Tableau 8) montrent qu'il n'existe pas de différence

Tableau 9 : Synthèse des résultats des tests de Wilcoxon pour la partie de l'essai dont la conduite de désherbage comprend seulement un herbicide de post semis

	H4	H6	H4H6	Témoin
Densité de chénopodes (moyenne / m²)	21.5 b	1 a	3 a	5 a

* Deux lettres différentes dénotent des moyennes statistiquement différentes au risque de 5% (Tests de Kruskal-Wallis et de Wilcoxon)

Tableau 10 : Résultats du test de Kruskal Wallis qui compare les densités de chénopodes entre les différentes conduites de désherbage mécanique pour la partie avec rattrapage : herbicide de post-semis + herbicide de post-levée

K chi2	3.2977
ddl	3
p-value	0.348
alpha	0.05

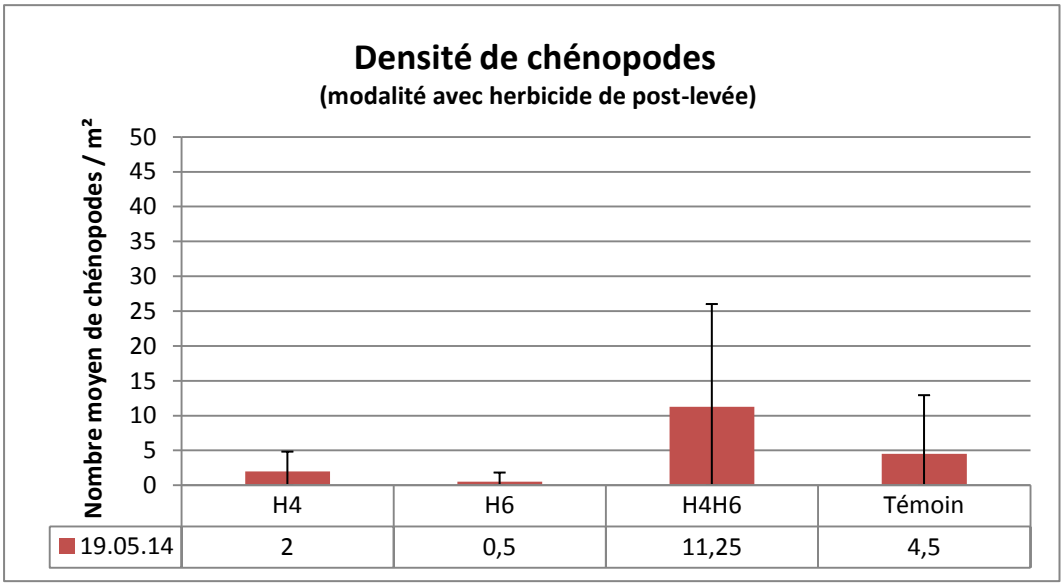


Figure 38 : Densité de chénopodes pour la modalité « avec rattrapage » quantifiée après le passage de herse

Tableau 11 : Synthèse des résultats des tests de Kruskal Wallis pour la partie de l'essai dont la conduite de désherbage comprend seulement un herbicide de post semis

	H4	H6	H4H6	Témoin
Densité de chénopodes (moyenne / m²)	2 a	0.5 a	11.25 a	4.5 a

* Deux lettres différentes dénotent des moyennes statistiquement différentes au risque de 5% (Tests de Kruskal-Wallis)

significative de la densité de chénopodes entre les 3 conduites de désherbage suivantes : herbicide de post semis et 2 passages de herse à 4 et 6 feuilles (H4H6) / herbicide en post-semis et un passage de herse à 6 feuilles (H6) / herbicide en post-semis uniquement (témoin). A l'inverse, la probabilité critique associée au test de Wilcoxon indique qu'il y a une différence significative de densité de chénopodes entre ces 3 conduites de désherbage et la modalité H4 (herbicide de post-semis et un passage de herse à 4 feuilles vraies) (Tableau 8). Par conséquent, ces résultats (Tableau 9) ne nous permettent pas de conclure quant à l'efficacité de la conduite de désherbage comprenant un passage de herse au stade 6 feuilles et de la conduite comprenant 2 passages de herse (H4/H6). Il faudrait renouveler l'essai avec une population d'adventices plus importante afin de déterminer l'impact du désherbage mécanique sur la population d'adventices. Nous pouvons tout de même affirmer qu'un seul passage de herse au stade 4 feuilles vraies de l'épinard, sur cette partie de l'essai, n'a pas été efficace. Toutefois, il est possible qu'on soit en présence d'un effet bloc mais nous ne pouvons pas le vérifier ici car les modalités n'ont pas été répétées.

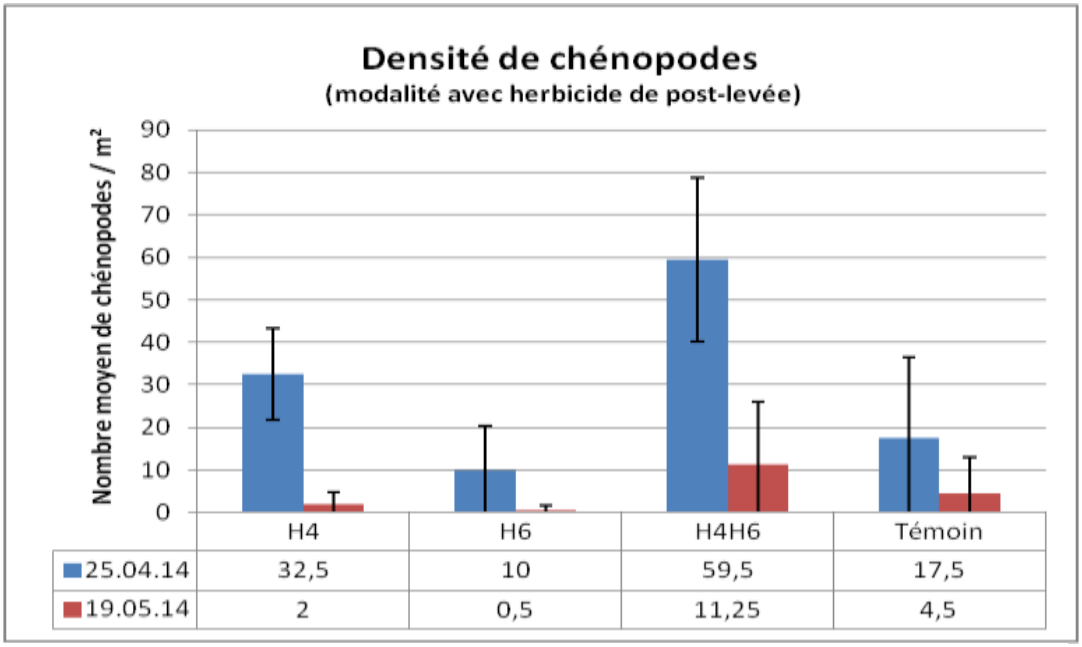


Figure 39 : Densité de chénopodes pour la modalité « avec rattrapage » quantifiée avant le passage de herse (25.04.14) et 4 jours après le second passage de herse (19.05.14) en fonction de la conduite de désherbage mécanique.

Le graphique de la figure 39 présente une fois encore une densité de chénopodes au 2ème relevé plus faible comparée au 1er relevé réalisé avant les passages de herse. Nous nous intéressons plus particulièrement à la densité de chénopodes au 2ème relevé (Figure 38), c'est-à-dire après les passages de herse. Il ne semble pas exister de différence significative de la densité de chénopodes entre les différentes conduites de désherbage mécanique. Toutefois, la densité moyenne de chénopodes après deux passages de herse à 4 et 6 feuilles vraies (H4H6) est supérieure à la densité de chénopodes des autres modalités (H4, H6, témoin). Le test de Kruskal-Wallis suivant va nous permettre de déterminer si cette différence est significative ou non.

Concernant la conduite de désherbage employée et la densité de chénopodes, la probabilité critique (p-value = 0. 0.348) est supérieure à 5 % donc on en conclut à la non significativité du facteur « conduite de désherbage mécanique » (Tableau 10 et 11). De ce fait, nous ne pouvons pas apporter de conclusions quand à l'efficacité du désherbage mécanique.

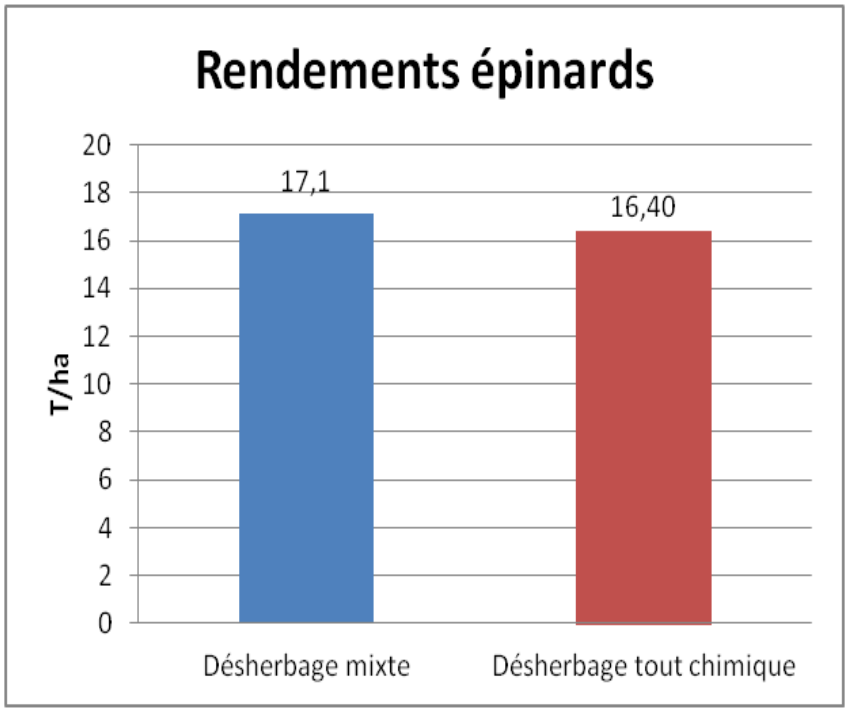


Figure 40 : Rendement obtenu après la récolte du 2 juin 2014 pour la partie essai dans sa globalité et pour le reste de la parcelle dont la conduite de désherbage incluait deux rattrapages herbicides au Fasnet (herbicide de post-levée antidicotylédones)

1.3 Rendement

Le manque de répétitions ne permet pas de réaliser une analyse statistique des résultats, seule une interprétation graphique a pu être effectuée.

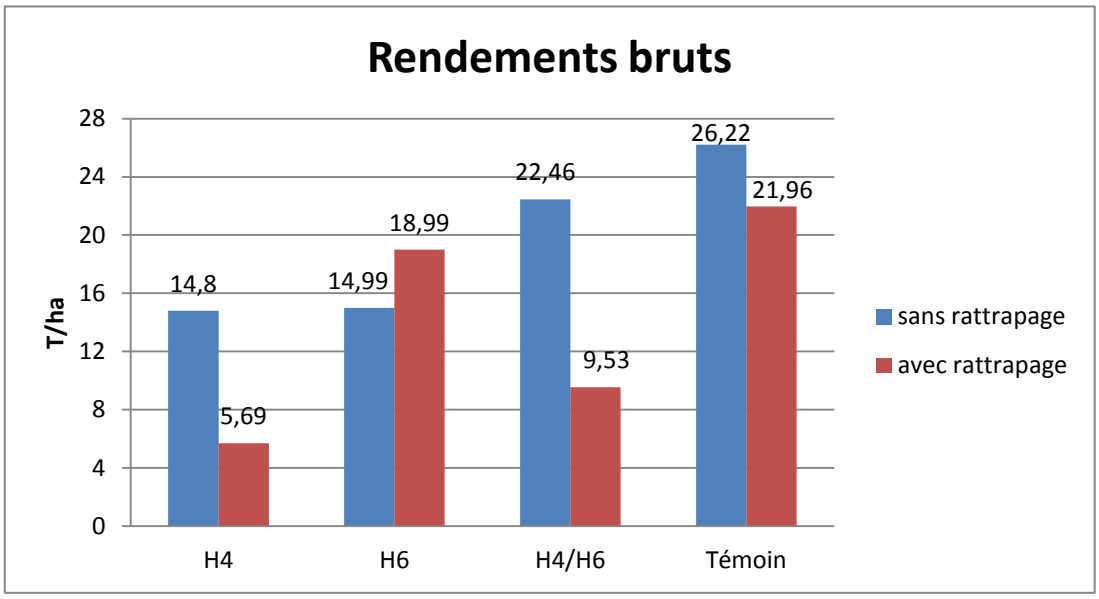


Figure 41 : Rendements bruts obtenus après récolte des micro-parcelles le 26.05.14 en fonction de la conduite de désherbage en post-levée (rattrapage ou non) et en fonction du stade de la culture d'épinards au moment du passage de herse étrille.

On constate une perte de rendement après passage de herse en comparaison au témoin que ce soit avec rattrapage ou sans (Figure 41). Pour la modalité « avec rattrapage », **une perte de rendement,** qui semble significative, **est observée après passage de herse au stade 4 feuilles vraies de l'épinard** comparé à la modalité passage de herse à 6 feuilles vraies de l'épinard. Ces conclusions ne sont pas vérifiées avec la modalité « sans rattrapage ». En effet, la différence de rendement entre un passage à 4 feuilles vraies et un passage à 6 feuilles vraies n'est pas autant marquée. Par conséquent, ces résultats sont à confirmer avec la campagne d'épinards d'automne. La perte de rendement pourrait s'expliquer par le passage de herse (perte de pieds d'épinards provoquée par le passage d'outil) étant donné que le facteur adventice n'était pas présent (parcelle propre). Cependant le protocole ne nous permet pas de vérifier statistiquement cette hypothèse. La perte de rendement peut être également due à une plante davantage stressée, plus chétive après le passage de herse. Nous n'avons pas observé de maladies sur cette parcelle.

Au moment de la récolte de la parcelle, un caisson a été isolé au niveau de l'essai. Toute la partie « essai » a été récoltée dans un même caisson soit une surface de 0.4 ha ce qui a permis d'évaluer le rendement pour toutes les modalités confondues.

On observe une perte de rendement avec la conduite de désherbage tout chimique comprenant 2 rattrapages herbicide en comparaison à la conduite de désherbage mixte (Figure 40). La différence de rendement ne semble pas significative (- 0.7 T/ha) entre la partie essai et le reste de la parcelle dont la conduite de désherbage était tout chimique (herbicide de post-semis + 2 rattrapages). Cela signifierait qu'une conduite de désherbage mixte permettrait d'obtenir un rendement équivalent à une conduite de désherbage tout chimique. Ces résultats sont à modérer car la partie essai comprenait toutes les modalités y compris les témoins.

Figure 42 : Feuilles mortes d'épinards séchées observées sur les nouvelles feuilles au moment de la récolte de la parcelle (Source : personnelle)

Tableau 12: Synthèse des données d'agréage pour les différentes modalités de l'essai récoltées à l'aide la barre de coupe

Modalité	Traitement	% eau	Tourteau	pétiole / limbe	Déchets
V+C / Fasnet 1	Témoin	8%	62%	25,5%	x
	H4FV / X	1%	74%	9%	4 plastiques
	H4FV / H6FV	1,43%	86%	9%	3 plastiques
	X / H6FV	2%	77%	14%	x
V+C / X	Témoin	3%	76%	20%	x
	H4FV / X	1%	73%	10%	x
	H4FV / H6FV	3%	70%	20%	x
	X / H6FV	2%	78%	9%	x

1.4 Qualité

Figure 43 : Morceaux de feuilles mortes provenant des feuilles d'épinards coupées au stade 6 feuilles vraies

A l'agréage, des morceaux de **feuilles mortes** ont été retrouvés collés sur les feuilles d'épinards (Figure 43). Ces feuilles mortes avaient déjà été observées au champ après passage de herse plus tardif, **au stade 6 feuilles vraies** de l'épinard (Figure 42). La herse, à ce stade de la culture, endommage les feuilles qui se retrouvent coupées sur les plus jeunes feuilles. A l'usine, ces déchets ne passent pas au travers des désableurs et se retrouvent dans le lot d'épinards. Des morceaux de plastique étaient également présents dans l'échantillon d'agréage. A l'inverse aucune adventice n'a été retrouvée dans l'échantillon.

Les résultats de l'agréage des échantillons récoltés manuellement une semaine avant la récolte de la parcelle montrent que les lots issus de la modalité « passage à 4 feuilles vraies » sont moins humides (cf. % eau libre) que les autres modalités (Tableau 12). Étant donné qu'une perte de densité a été observée après passage de herse au stade 4 feuilles de l'épinard, on peut supposer que cela s'explique par des plantes moins confinées laissant davantage passer l'air. D'autre part on remarque que les déchets se composent uniquement de plastiques et non pas d'adventices.

Tableau 13 : Ratio pétiole / limbe des épinards en fonction de la conduite de désherbage

	Désherbage mixte	Désherbage tout chimique
P/L	14,2 %	18 %

Le ratio P/L (pétiole / limbe) est plus faible pour les épinards dont la conduite de désherbage est mixte. L'entrepreneur qui a récolté la parcelle a du couper plus haut au niveau de l'essai à cause des remontés de terre provoquées par le passage de la herse ce qui explique cette différence.

Tableau 14 : Déchets retrouvés dans la totalité de l'essai au niveau du parage, rapportés à une tonne d'épinards

	Désherbage mixte	**Désherbage tout chimique**
Plastique	1,0	0
Limace	0,0	1,5
Herbe	2,2	0
Feuilles d'arbre	0,3	0,1
Avoine	0	0,1
Chénopode	**0,3**	0
Rumex	0,3	0
Total adventices	0,6 / T	0,1 / T
Total déchets	4,1 / T	1,7 / T

Une fois blanchis, les épinards passent sur une ligne de parage où du personnel extrait les déchets qui sont encore présents dans le lot malgré le passage dans les désableurs. On constate, à cette étape, une présence de plastiques dans le lot provenant de la partie de la parcelle désherbée mécaniquement et qu'on ne retrouve pas dans le reste de la parcelle (Tableau 14). Actuellement, l'usine ne dispose pas de moyens permettant de trier ces déchets. Concernant les adventices, leurs quantités sont presque similaires entre les deux modalités. Cependant, on retrouve des chénopodes uniquement dans le lot d'épinards de la zone « désherbage mixte » ce qui peut être problématique. En effet, le chénopode est une mauvaise herbe qui atteint fréquemment 1.5 m

de hauteur, si elle n'est pas maitrisée par le programme de désherbage, elle risque fortement de se retrouver dans les lots d'épinards.

2. Conséquences économiques

Epinards	Désherbage mécanique	Désherbage chimique
Tarification	- Semences (3.7 doses) : 708 €/ha - 40 €/ha pour un passage de herse **TOTAL = 748 €/ha**	- Semences (2.8 doses) : 540 €/ha - 1 passage d'herbicide en post-levée : 40 €/ha **TOTAL = 580 €/ha**
Surcoût pour 1 passage de herse	**168 € / ha**	
Tarification	- Semences (3.7 doses) : 708 €/ha - 80 €/ha pour 2 passages de herse **TOTAL = 788 €/ha**	- Semences (2.8 doses) : 540 €/ha - 1 passage d'herbicide en post-levée : 40 €/ha **TOTAL = 580 €/ha**
Surcoût pour 2 passages de herse	**208 € / ha**	

Tableau 15 : Coûts engendrés par le(s) passage(s) de herse en comparaison aux coûts liés au désherbage chimique

Concernant la culture d'épinards de printemps, le coût d'utilisation de la herse étrille atteint 40 €/ha par passage ce qui correspond à un passage d'herbicide en post-levée (20 € correspondant au coût de l'herbicide + 20 € de pulvérisateur), par conséquent un passage de herse étrille n'engendre pas de surcoût. Toutefois, suite aux essais de la campagne 2013, ils se sont rendu compte qu'un passage de herse étrille au stade 4 feuilles vraies de l'épinard engendrait une perte d'environ 20 % et un passage au stade 6 feuilles vraies, une perte de 10 % (quantifiée visuellement). Ainsi la lutte mécanique en culture d'épinards se prépare dès le semis en augmentant la densité de 30 % engendrant alors un surcoût comparé à une conduite de désherbage classique (tableau 15). De plus, pour 2 passages de herse, la prestation s'élève à 80 €/ha soit un surcoût de 40 €/ha par rapport à un désherbage chimique en post-levée à ajouter au surcoût lié à l'augmentation de la densité de semences.

Tableau 16 : Détail du calcul du produit net par hectare à partir du rendement obtenu selon la conduite de désherbage

	Poids net	limbe / pétiole	Montant net	Produit net / ha
Désherbage mixte (herbicides + herse étrille)	6,840 T	14,5 %	731,88 €	1829,70 € / ha
Désherbage tout chimique	9,940 T	17,5 %	974,12 €	1716,65 € / ha
	11,040 T	14 %	1181,28 €	
	20,740 T	16 %	2136,22 €	

Concernant la parcelle d'essai, si on s'intéresse au produit net par hectare, on s'aperçoit qu'une conduite de désherbage mixte a généré un produit de 1829.70 €/ha contre 1716.65 €/ha avec une conduite de désherbage tout chimique soit un gain de **113.05 € / ha** pour le producteur (Tableau 16). Ces résultats sont à modérer car le calcul du produit net par hectare pour la conduite de désherbage mixte concerne la récolte de l'essai dans son entièreté, incluant alors toutes les modalités ainsi que les zones témoins.

Tableau 17 : Résultats du test t de Student qui compare la densité de plants de pois avant et après le passage de herse étrille

t	0.7766
ddl	22
p-value	0.4457

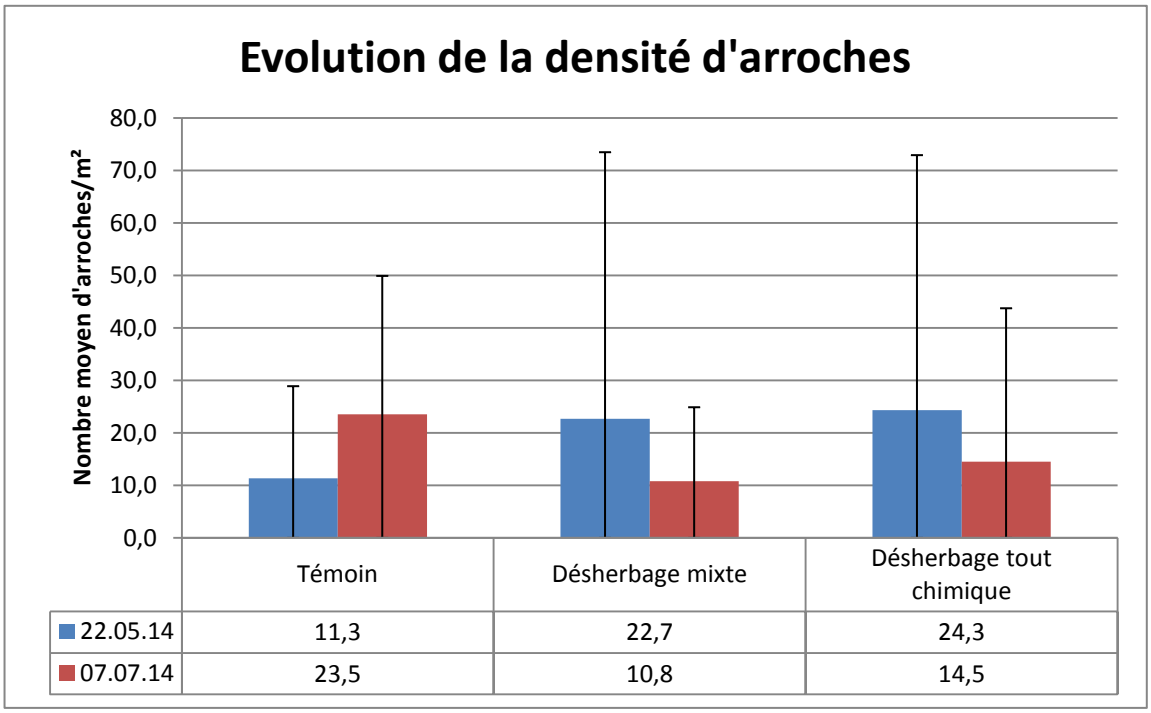


Figure 44 : Densité d'arroches en fonction de la conduite de désherbage comptabilisée une semaine après le passage de herse le 22.05.14 et juste avant la récolte le 07.07.14

B. Essais pois - La ville Calair (SCA Le Bihan Gloux)

1. Conséquences techniques

1.1 Densité de plants de pois

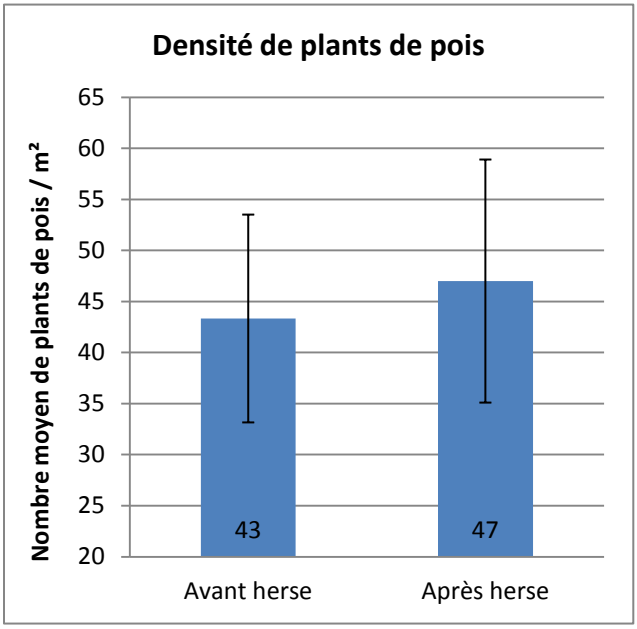


Figure 45 : Densité de plants de petits pois sur la parcelle « la ville Calair » (SCA Le Bihan Gloux) avant le passage de herse et après le passage de herse.

La figure 45 présente la densité de plants de pois avant et après le passage de herse. A priori, le passage de herse n'a pas eu d'impact sur la densité de pois. Le test statistique suivant va permettre de confirmer ou non cette première approche. Le nombre de plants de pois est plus important après le passage de herse, le biais d'échantillonnage est probablement à l'origine de cette évolution.

La probabilité critique (0.4457) associée au test t de Student indique que les moyennes du nombre de plants de pois / m² avant le passage de herse et après le passage de herse ne sont pas significativement différentes, la différence est due seulement au hasard (Tableau 17). Par conséquent, nous pouvons considérer que **le passage de herse n'a pas provoqué de perte de plants de pois.**

1.2 Adventices

On rencontre majoritairement deux espèces d'adventices dicotylédones sur la parcelle « La ville calair » à Loudéac : l'arroche étalée (*Atriplex patula*) et la matricaire camomille (*Matricaria recutite).*

Selon le graphique de la figure 44 présentant la densité d'arroches en fonction de la conduite de désherbage et de la date du relevé, la densité d'arroches ne semble pas varier avec la conduite de désherbage employée que ce soit une semaine après le passage de herse ou une semaine avant la récolte.

Tableau 18 Résultats des tests de Kruskal Wallis pour les données obtenues le 22.05.14 entre la conduite de désherbage employée et la densité de matricaires (a), entre la conduite de désherbage et la densité d'arroches (b), entre la conduite de désherbage et la densité totale d'adventices (c)

K chi2	10.2616
ddl	2
p-value	**0.005912**
alpha	0.05

a

K chi2	0.1113
ddl	2
p-value	0.9459
alpha	0.05

b

K chi2	3.0495
ddl	2
p-value	0.2177
alpha	0.05

c

Tableau 19 Résultats des tests de Kruskal Wallis pour les données obtenues le 07.07.14 entre la conduite de désherbage employée et la densité de matricaires (a), entre la conduite de désherbage et la densité d'arroches (b), entre la conduite de désherbage et la densité totale d'adventices (c)

K chi2	8.1717
ddl	2
p-value	**0.01681**
alpha	0.05

a

K chi2	4.8854
ddl	2
p-value	0.08693
alpha	0.05

b

K chi2	7.3212
ddl	2
p-value	**0.02572**
alpha	0.05

c

Tableau 20 : Moyennes et groupes statistiques obtenus pour la variable densité d'arroches une semaine avant la récolte

	Témoin	Désherbage mixte	Désherbage tout chimique
Densité d'arroches (moyenne / m²)	23.5 a	10.8 a	14.5 b

* Deux lettres différentes dénotent des moyennes statistiquement différentes au risque de 5% (Tests de Kruskal-Wallis et de Wilcoxon)

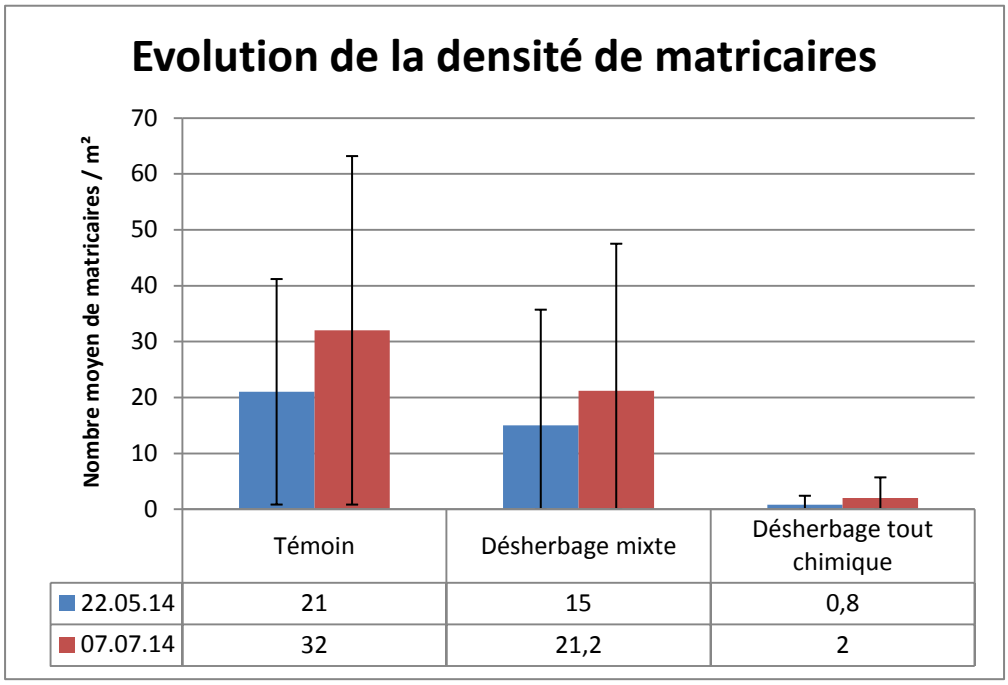


Figure 46 Densité de matricaires en fonction de la conduite de désherbage, comptabilisées une semaine après le passage de herse le 22.05.14 et juste avant la récolte le 07.07.14

Le graphique de la figure 46 nous permet d'observer une densité de matricaires bien plus importante sur les zones témoin et désherbage mixte que sur la zone désherbage tout chimique. En effet la densité de matricaires sur la zone « désherbage tout chimique » est quasiment nulle. Les variations de densité de matricaires observées entre les deux relevés ne sont pas significatives (tests de Wilcoxon, Annexe 5). Par conséquent, les analyses qui suivent s'intéressent seulement à la densité de matricaire une semaine avant la récolte (07.07.14), ce qui est le plus intéressant pour notre étude afin de déterminer l'efficacité finale.

Concernant la conduite de désherbage employée et la densité d'arroches, la probabilité critique (p-value = 0.059) est supérieure à 5 % donc on en conclut la non significativité du facteur « conduite de désherbage » (Tableau 18 et 19). Par conséquent, nous pouvons considérer que l'herbicide en post-levée n'a pas permis de réduire significativement la population d'arroches, de même pour le passage de herse. A l'inverse concernant la densité de matricaires, la probabilité critique (0.02) est inférieure à 5 % donc on rejette Ho et on en conclut à la significativité du facteur « Conduite de désherbage » (Tableau 18 et 19). Il existe donc au moins une conduite de désherbage pour laquelle la **densité de matricaires** au mètre carré est **significativement différente** des autres. Les mêmes résultats sont observés concernant la densité totale d'adventices prenant en compte toutes les espèces d'adventices.

Les tests de Wilcoxon nous permettent de repérer quelle conduite de désherbage est différente des autres pour sa densité de matricaires. Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha (0.05) (Annexe 5), on doit accepter l'hypothèse alternative. On peut donc considérer que la conduite de désherbage « tout chimique » a permis de réduire significativement le nombre de matricaires par mètre carré en comparaison au témoin et également en comparaison à une conduite de désherbage mixte. A l'inverse, la probabilité critique (p-value > 0.05) indique qu'il n'y a pas de différence significative de la densité de matricaires entre les deux modalités « Bande mécanique » et « Témoin ». Là encore, on retrouve les mêmes résultats pour la variable « densité totale d'adventices ». Par conséquent, il serait intéressant de renouveler l'expérience car l'objectif est d'observer une réduction significative de la densité d'adventices après le passage de herse en comparaison à un témoin. Les tableaux 20, 21 et 22) résument les résultats.

Tableau 21: Moyennes et groupes statistiques obtenus pour la variable densité de matricaires une semaine avant la récolte

	Témoin	Désherbage mixte	Désherbage tout chimique
Densité de matricaires (moyenne / m²)	32 a	21.2 a	2 b

* Deux lettres différentes dénotent des moyennes statistiquement différentes au risque de 5% (Tests de Kruskal-Wallis et de Wilcoxon)

Tableau 22 : Moyennes et groupes statistiques obtenus pour la variable densité d'adventices, toutes espèces confondues, une semaine avant la récolte

	Témoin	Désherbage mixte	Désherbage tout chimique
Densité totale d'adventices (moyenne / m²)	55.5 a	32 a	13.6 b

* Deux lettres différentes dénotent des moyennes statistiquement différentes au risque de 5% (Tests de Kruskal-Wallis et de Wilcoxon)

Figure 47 : Présence de matricaires (fleurs blanches sur la photo) dans la parcelle de pois « La ville Calair » à Loudéac (Source : personnelle)

Figure 48 : Une partie de la culture de pois broyée avant récolte (Source : personnelle)

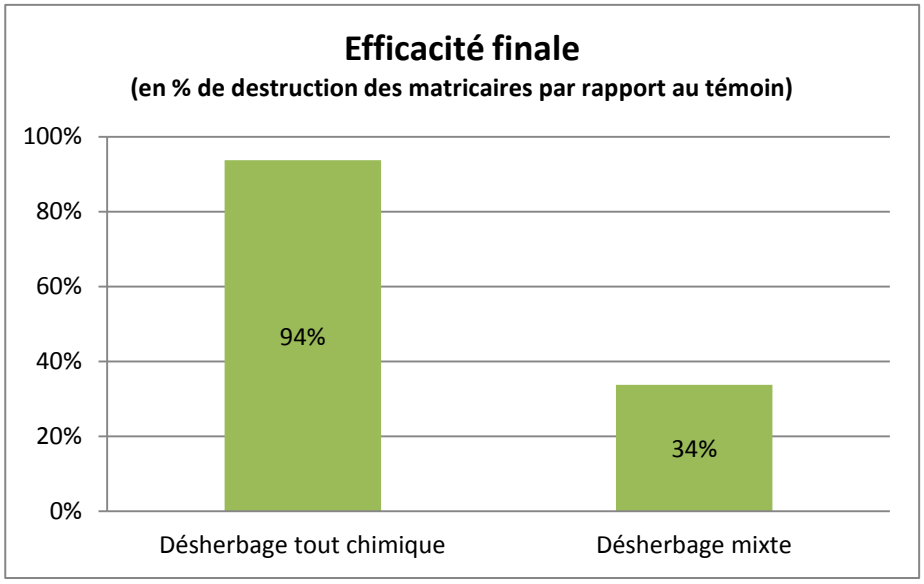
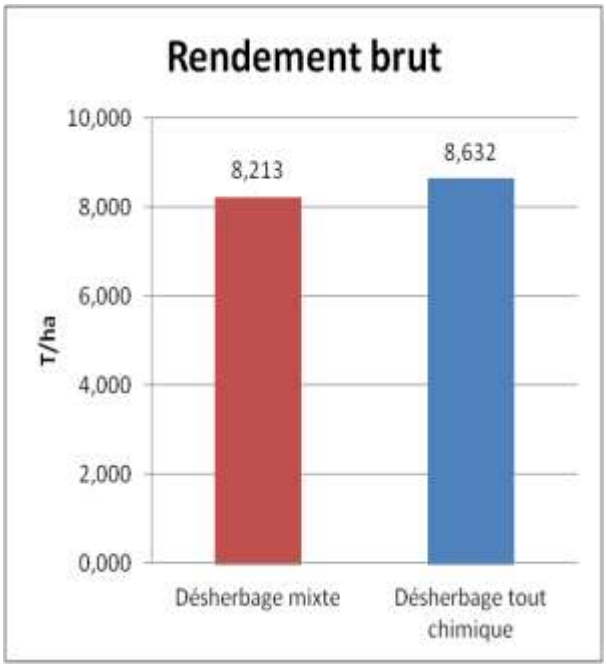


Figure 49 : Efficacité finale en termes de destruction des matricaires en fonction de la conduite de désherbage.

Les calculs montrent une efficacité finale qui atteint 94 % avec une conduite de désherbage tout chimique contre 34 % avec une conduite de désherbage mixte (Figure 49). Le désherbage mixte intégrant le désherbage mécanique reste moins efficace qu'une conduite de désherbage tout chimique.

1.3 Rendement

Sur les 16 ha de pois cultivés sur cette parcelle, seulement 7.40 ha ont pu être récoltés. En effet, 7.60 ha ont été broyés le 8 juillet 2014, soit 2 jours avant la récolte, du fait de la présence de matricaires atteignant un seuil critique (Figures 47 et 48). A l'inverse de l'arroche, les matricaires posent problème à la récolte car leurs capitules se retrouvent dans le produit récolté (la machine de récolte n'étant pas sélective) et les usines ne sont pas équipées pour les extraire des petits pois.



Le graphique de la figure 50 présente les rendements obtenus pour les modalités « Désherbage tout chimique » et « Désherbage mixte ». Un rendement brut de 8,63 T/ha avec une conduite de désherbage tout chimique a été obtenu contre 8,21 T/ha avec une conduite de désherbage mixte, incluant à la fois désherbage chimique et mécanique, soit une perte de 0.42 T/ha (**- 5 %**). Ces rendements correspondent à la moyenne des rendements obtenus sur la campagne 2014 des pois. En effet, les rendements ont augmenté globalement d'une tonne par hectare (en moyenne 6.75 T/ha les autres années) étant donnée les températures élevées du mois de juillet.

Figure 50 : Rendements bruts en fonction de la conduite de désherbage obtenus sur la parcelle la ville Calair à Loudéac suite à la récolte du 10 juillet 2014.

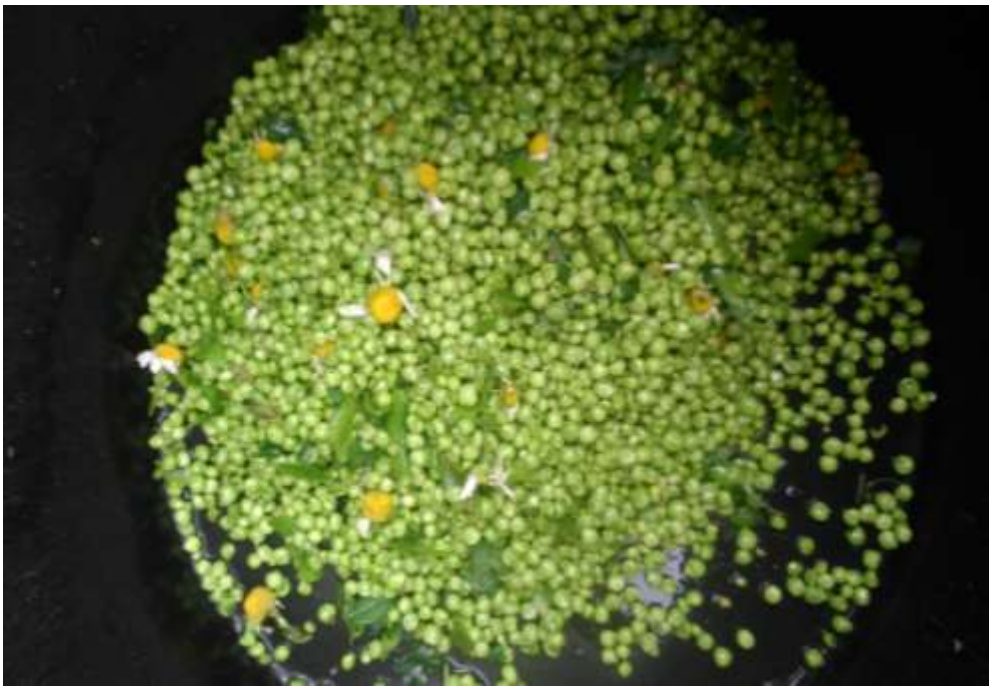


Figure 51 : Capitules floraux de matricaires (boutons jaunes) retrouvés dans les pois après récolte sur la zone de désherbage mixte incluant un passage de herse étrille au stade 8-10 cm du pois (Source : personnelle)

Tableau 23 : Effet de la conduite de désherbage sur les composantes de rendement du pois

	Rendement brut	Nombre moyen de gousses / plantes	Nombre moyen de grains / gousse	Densité moyenne d'adventices / m²
Désherbage mixte	8.21 T/ha	11	9.6	30
Désherbage tout chimique	8.63 T/ha	13	9	13.6

On remarque que le nombre de gousses par plante est inférieur avec une conduite de désherbage mixte comparée à une conduite de désherbage tout chimique (Tableau 23). On obtient une différence de 2 gousses par plantes entre les deux conduites de désherbage testées. On constate également que le nombre de gousses par plante est plus faible lorsque la densité d'adventices est importante. D'autre part, le nombre de grains par gousse ne diffère que de 0.6 soit à peine un grain par gousse de différence entre les deux conduites de désherbage. Nous pouvons considérer cette différence comme non significative.

1.4 Qualité

1.4.1 Déchets

Tableau 24 : Taux de déchets moyen et composition de ces déchets en fonction de la conduite de désherbage

	Désherbage tout chimique	Désherbage mixte
Nombre de capitules	4 capitules / T	**+++**
Taux moyen de déchets	7 %	12,5 %

On observe un taux de déchets plus important avec une conduite mixte comparé à une conduite tout chimique **(+ 5.5 %)** (Tableau 24). Au total une quinzaine de capitules floraux de matricaires ont été retrouvés dans le lot de petits pois (3.420 T) provenant de la zone désherbage tout chimique soit en moyenne 4 capitules par tonne, ce qui reste faible. En ce qui concerne les pois provenant de la partie de la parcelle conduit avec un désherbage mixte, les déchets n'ont pas pu être comptabilisés étant donné l'**abondance des capitules** de matricaires (Figure 51). D'autre part, l'usine a fait remarquer que le lot comprenait davantage de gousses que dans un lot de petits pois provenant d'une parcelle avec une conduite de désherbage tout chimique ce qui signifie que l'**extraction** des pois par la machine de récolte a été plus **difficile**, la forte présence d'adventices a du gêner à la récolte. L'usine a également noté une forte ventilation au niveau de la réception.

1.4.2 Tendérométrie

Tableau 25 : Indices tendérométriques des pois en fonction de la conduite de désherbage

	Désherbage tout chimique	Désherbage mixte
Indice tendérométrique moyen	152	151

L'indice tendérométrique moyen présente un écart d'un point seulement entre les deux conduites de désherbage (Tableau 25). Par conséquent, pour cette parcelle, nous pouvons considérer que la conduite de désherbage n'a **pas** eu **d'effet sur la tendérométrie** des pois.

POIS RIDES (70% SF)		
Classe	I.T.T.V.	€/tonne
1 à 6	< à 109	393,70 €
	110 à 119	
7	120 à 124	379,10 €
8	125 à 129	364,95 €
9	130 à 134	350,80 €
10	135 à 139	336,65 €
11	140 à 144	322,50 €
12	145 à 149	308,35 €
13	150 à 154	299,85 €
14	155 à 159	291,40 €
15	160 à 164	289,50 €
16	165 à 169	286,65 €
17	> à 170	refus

POIS RIDES (55% SF)		
Classe	I.T.T.V.	€/tonne
1 à 7	< à 114	363,05 €
	115 à 119	363,05 €
	120 à 124	
8	125 à 129	351,75 €
9	130 à 134	340,40 €
10	135 à 139	329,10 €
11	140 à 144	317,80 €
12	145 à 149	308,35 €
13	150 à 154	298,90 €
14	155 à 159	291,40 €
15	160 à 164	283,85 €
16	165 à 169	280,05 €
17	170 à 174	276,30 €
18	> à 175	refus

GROS GARDEN PEAS		
Classe	I.T.T.V.	€/tonne
1	90 à 94	388,30 €
2	95 à 99	
3	100 à 104	
4	105 à 109	370,30 €
5	110 à 114	
6	115 à 119	348,90 €
7	120 à 124	328,15 €
8	125 à 129	311,20 €
9	130 à 134	296,10 €
10	135 à 139	279,40 €
11	140 à 144	
12 à 18	145 à 179	230,10 €
	> à 180	refus

GARDEN Type ICON		
Classe	I.T.T.V.	€/tonne
1	90 à 94	451,70 €
2	95 à 99	
3	100 à 104	
4	105 à 109	415,65 €
5	110 à 114	
6	115 à 119	375,30 €
7	120 à 124	356,45 €
8	125 à 129	339,45 €
9	130 à 134	325,35 €
10	135 à 139	311,20 €
11	140 à 144	297,05 €
12	145 à 149	282,90 €
13	150 à 154	268,75 €
14	155 à 159	254,60 €
15	160 à 164	240,45 €
16	165 à 169	226,30 €
17	170 à 174	212,15 €
18	> à 175	refus

POIS LISSES		
Classe	I.T.T.V.	€/tonne
1 à 11	≤ à 144	361,75 €
12 à 18	> à 145	347,15 €

DÉCHETS : Un déchet forfaitaire de 7 % est appliqué pour une plage neutre de 0 à 10 % ; au-delà de 10 %, le déchet réel est pris en compte.

RÉCOLTE : 19 % du produit brut, après déduction de la péréquation.

SEMENCES :
Pois ridés et lisses de 77,14 € à 80,62 €/dose de 200 000 graines
Garden Peas de 39,72 € à 44,57 €/dose de 100 000 graines.

Figure 52 : Prix payé pour une tonne de pois en fonction de leur tendérométrie (Source : Triskalia, 2014)

Tableau 26 : Résultats économiques pour la parcelle « la ville calair » à Loudéac avec application du taux de déchets forfaitaire

	Poids brut	Forfait déchets	Quantité nette	Tendérométrie	Montant net	Produit net / ha
Désherbage chimique	3,420 T	7 %	3,181 T	151	953,82 €	2407,42 € / ha
Désherbage mixte (post-semis + herse étrille)	12,400 T		11,532 T	152	3457,87 €	2354,91 € / ha
	11,540 T		10,732 T	149	3309,21 €	
	23,200 T		21,576 T	143	6958,26 €	
	10,350 T		9,625 T	166	2759,00 €	

Tableau 27 : Marges brutes dégagées pour la parcelle de « la ville calair » en fonction de la conduite de désherbage employée

	Désherbage mixte	Désherbage tout chimique
Produit net / ha	2207,62 € / ha	2407,42 € / ha
Coût de production	1372 € / ha	1385 € / ha
Marge brute	835,62 € / ha	1022,42 € / ha

2. Conséquences économiques

Tableau 28 : Comparaison des coûts engendrés par le passage de herse avec les coûts liés au passage du pulvérisateur et à l'achat des herbicides

Pois	Désherbage mécanique	Désherbage chimique
Tarification	- 35 € / ha / passage	- Herbicide en post-levée : 48 €/ha - Passage de pulvérisateur : 18 €/ha **TOTAL = 66 €/ha**
Surcoût	- 1 passage de herse : pas de surcoût, **économie de 31 €/ha** - 2 passages de herse : **4 €/ha**	

Le tableau 28 présente les coûts liés à l'utilisation de la herse étrille pour une culture de petits pois d'industrie. Un passage de herse étrille en remplacement d'un désherbage chimique en post-levée permet à l'agriculteur d'économiser 31 €/ha, ce qui n'est pas négligeable. A l'inverse, à partir de 2 passages de herse, un surcoût apparait (+ 4 €/ha).

La tendérométrie mesure la texture du grain. Le barème de paiement des pois est défini selon leur qualité depuis que les tendéromètres ce sont généralisés dans les usines. Le principe est le suivant : plus les pois sont tendres, meilleure sera la rémunération (Figure 52). En effet, la tendérométrie idéale pour les pois de conserve est de 130 points contre 110 points pour les pois destinés à la surgélation.

Tableau 29 : Synthèse des caractéristiques du produit de la récolte de la parcelle « la Ville calair » en fonction de la conduite de désherbage

	Désherbage mixte	Désherbage tout chimique
Rendement brut	8,21 T/ha	8,63 T/ha
Tendérométrie (moyenne)	152	151
Déchets réels (moyenne)	12,5 %	7 %
Produit net / ha (avec forfait déchets)	2407.42 € / ha	2354.91 € / ha

<u>Perte économique liée au rendement</u>

Le rendement brut obtenu avec une conduite de désherbage mixte est inférieur au rendement brut obtenu avec une conduite de désherbage « tout chimique » **(- 5 %).** Concernant le paiement au producteur, avec une conduite de désherbage mixte, une **différence de – 52.51 €/ha** est observée par rapport à une conduite de désherbage « tout chimique » (Tableau 26 et 29). Dans ce cas, au niveau du paiement, la perte de rendement n'a pas pu être compensée par la qualité des pois car les indices tendérométriques sont similaires pour les deux traitements et bien supérieurs à la tendérométrie optimale pour des pois destinés à la surgélation. Malgré l'économie du passage d'herbicide permettant de réduire le coût de production, la marge brute dégagée avec la conduite de désherbage mixte a diminué de 186.80 € / ha soit une **baisse de 18 %** en comparaison à la marge brute dégagée avec une conduite de désherbage tout chimique (un post-semis + un rattrapage en post-levée) (Tableau 27).

<u>Surcoût usine lié au taux de déchets</u>

La filière (usine, OP) a décidé de participer au surcoût lié au passage d'outils de désherbage mécanique. Pour cela, l'usine a ramené le taux de déchets à 7 % (forfait pour un taux de déchet compris entre 0 et 10 %) même si celui-ci était supérieur à 10 %. Pour la

Tableau 30 : Résultats économiques pour la parcelle « la ville calair » à Loudéac en faisant l'hypothèse que l'usine applique le taux de déchet forfaitaire de 7 % que pour un taux de déchet compris entre 0 et 10 % (pratique usuelle de l'usine). Ce tableau présente alors les résultats économiques en prenant en compte les taux de déchets réels.

	Poids brut	Déchets réels	Quantité nette	Tendérométrie	Montant net	Produit net / ha
Désherbage chimique	3,420 T	7 %	3,181 T	151	953,82 €	2407,42 € / ha
Désherbage mixte (post-semis + herse étrille)	12,400 T	15 %	10,540 T	152	3160,42 €	2207,62 € / ha
	11,540 T	15 %	9,809 T	149	3024,60 €	
	23,200 T	13 %	20,184 T	143	6509,34 €	
	10,350 T	7 %	9,625 T	166	2759,00 €	

Tableau 31 : Montant net total facturé à l'usine pour la livraison des petits pois provenant de la partie de la parcelle dont la conduite de désherbage est mixte (chimique + mécanique)

	Forfait 7 %	Déchets réels
Montant net (total)	16484.34 €	15453.36 €

Tableau 32 : Détail du calcul nécessaire à la détermination du déficit net lié au 8.60 ha non récoltés

Coût de production pour 16 ha de petits pois	1372 €/ha x 16 ha = 21952 €
Produit net pour 7.40 ha récoltés	2354,91 € x 7.40 ha = 17426.33 €
Déficit net	**- 4525.67 €**

Tableau 33 : Résultats du test de normalité de Shapiro-Wilks pour la variable densité de plants de pois.

W	0.912
p-value	0.06961
alpha	0.05

Tableau 34: Résultats du test t de comparaison de moyenne pour la variable densité de plants de pois sur la parcelle "La ville Rouault"

t	- 0.3759
ddl	17.7
p-value	0.7115

parcelle de la ville Rouault, il n'y a pas eu de surcoût pour l'usine car tous les taux de déchets étaient compris entre 0 et 10 %. A l'inverse, le surcoût usine pour la récolte de la parcelle de « la ville Calair » à Loudéac s'élève à 1030.98 € (Tableau 31). En effet, le taux moyen de déchets atteint 12.5 %. Pour le producteur, si on appliquait les taux de déchets réels on aurait alors une perte de 199,80 €/ha au lieu de 52.51 €/ha avec l'application du forfait (Tableau 30).

Perte économique liée à la technique

Nous pouvons ainsi quantifier économiquement la perte liée au broyage des 8.60 ha de la parcelle engendrée par la présence de matricaire. Avec un rendement brut 8.21 T/ha et un taux de déchets ramené à 7 % on obtient un tonnage net moyen de 7.64 T/ha. Si on se rapporte à la grille de paiement, une tonne de pois ayant une tendérométrie de 152 revient à 299.85 € soit une perte totale estimée à **19701,34 €.** De plus, le produit net dégagé sur les 7.40 ha récoltés ne permet pas de couvrir les charges opérationnelles de la culture de pois sur cette parcelle de 16 ha. Finalement, le broyage des 8.60 ha a engendré pour le producteur un déficit net de **4525.67 €** (Tableau 32).

C. Essais pois - La ville Rouault (EARL de Penhouedo)

1. Conséquences techniques

1.1 Densité de plants de pois

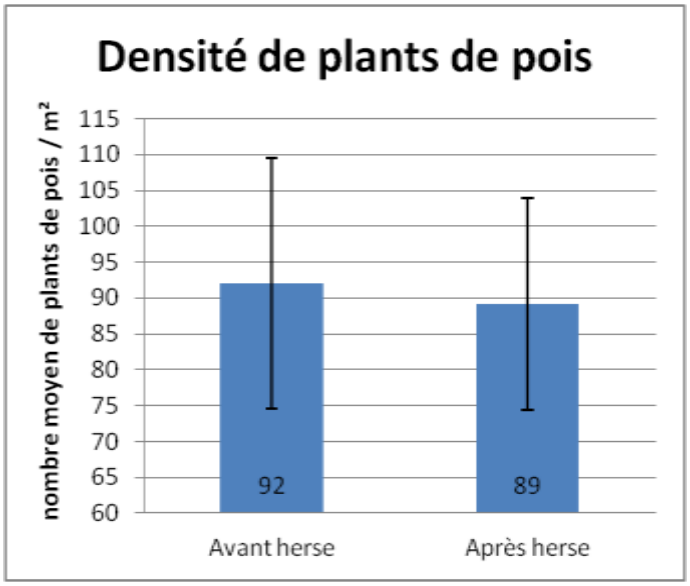


Figure 53 : Densité de plants de pois sur la parcelle « La ville Rouault » (EARL de Penhuedo) avant le passage de herse et après le passage de herse.

Au vu de ce graphique (figure 53) qui représente le nombre moyen de plants de pois par mètre carré avant et après le passage de herse, il semble qu'il n'existe pas d'effet « conduite de désherbage » sur la densité de plants de pois. Un test de comparaison de deux moyennes va permettre de le vérifier.

Les résultats du tableau 33 nous permettent d'accepter le test de normalité de la variable « densité de pois », nous pouvons alors utiliser un test paramétrique de comparaison de deux moyennes : test t de Student. La probabilité critique (0.7115) associée au test avec variances égales indique que les moyennes ne sont pas significativement différentes (Tableau 34). Par conséquent, cette différence s'explique par le hasard seul. **Nous pouvons alors considérer que le passage de herse n'a pas provoqué de perte de plants de pois.**

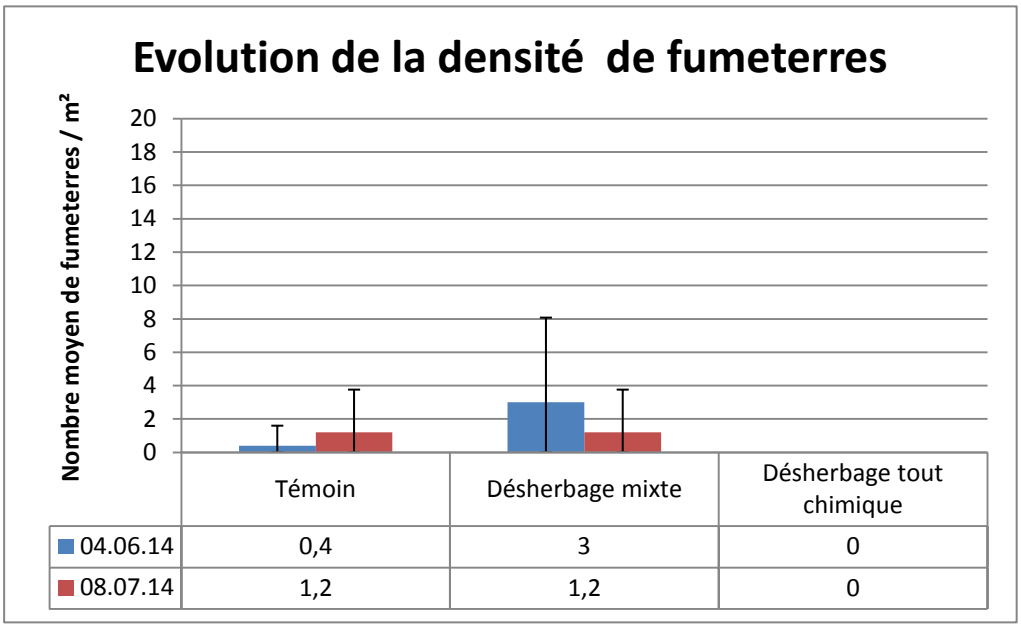


Figure 54 : Evolution de la densité de fumeterres une semaine après le passage de herse (04.06.14) et une semaine avant la récolte (08.07.14)

1.2 Adventices

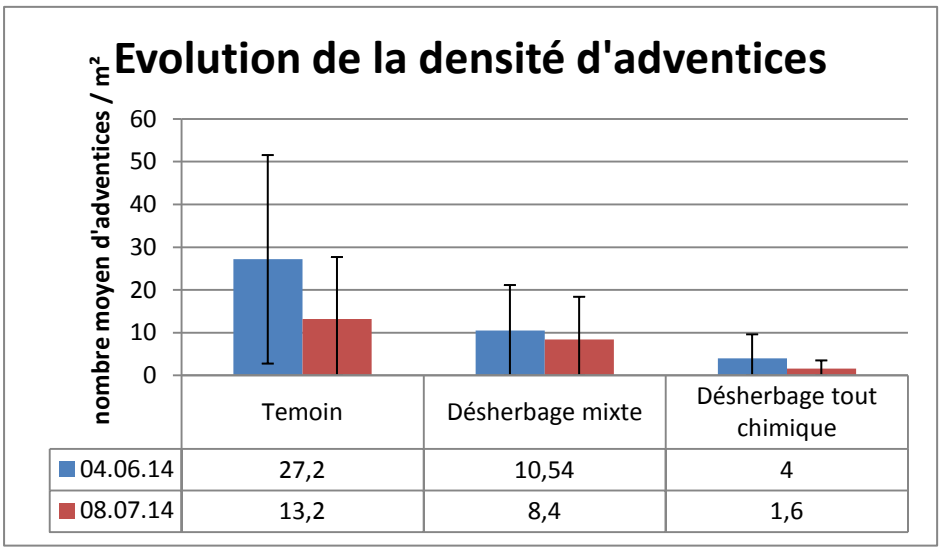


Figure 55 : Evolution de la densité d'adventices (toutes adventices confondues) une semaine après le passage de herse (04.06.14) et une semaine avant la récolte (08.07.14)

La figure 55 présente l'évolution de la densité des adventices. On remarque que la densité d'adventices a diminué après le passage de herse étrille. La herse a alors complété l'action du désherbant de post-semis. De même après les passages d'herbicides de synthèse.

Les espèces rencontrées sur la parcelle de la ville Rouault sont des dicotylédones : l'arroche étalée (*Atriplex patula*), fumeterre officinale (*Fumaria officinalis*), liseron des champs (*Convolvulus arvensis)* et la renouée persicaire (*Polygonum persicaria)*. Les analyses qui suivent s'intéressent à la densité d'arroches et de fumeterres étant les adventices les plus fréquemment rencontrées. Toutefois, une faible population de fumeterre a été observée (Figure 54).

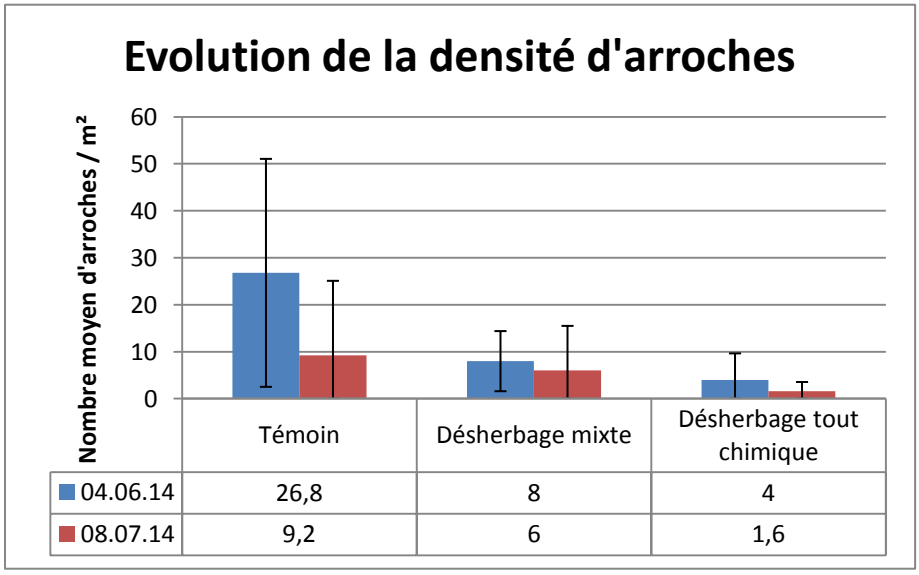


Figure 56 : Densité d'arroches de la parcelle la ville Rouault en fonction de la conduite de désherbage quantifiée une semaine après le passage de herse le 04.06.14 et juste avant la récolte le 08.07.14

Le graphique de la figure 56 présentant la densité d'arroches en fonction de la conduite de

Tableau 35 Résultats des tests de Kruskal Wallis pour les données obtenues une semaine après le passage de herse (04.06.14) entre la conduite de désherbage employée et la densité totale des adventices (a), entre la conduite de désherbage et la densité de fumeterres (b), entre la conduite de désherbage et la densité d'arroches (c)

K chi2	5.013	K chi2	3.6413	K chi2	5.2191
ddl	2	ddl	2	ddl	2
p-value	**0.03093**	p-value	0.1619	p-value	0.07357
alpha	0.05	alpha	0.05	alpha	0.05
a		**b**		**c**	

Tableau 36 : Résultats des tests de Kruskal Wallis pour les données obtenues le 08.07.14 entre la conduite de désherbage employée et la densité totale des adventices (a), entre la conduite de désherbage et la densité de fumeterres (b), entre la conduite de désherbage et la densité d'arroches (c)

K chi2	6.2408	K chi2	2.3638	K chi2	1.1026
ddl	2	ddl	2	ddl	2
p-value	**0.04414**	p-value	0.3067	p-value	0.5762
alpha	0.05	alpha	0.05	alpha	0.05
a		b		c	

Tableau 37 : Moyennes et groupes statistiques obtenus pour la variable densité d'arroches une semaine avant la récolte

	Témoin	Désherbage mixte	Désherbage tout chimique
Densité totale d'adventices (moyenne / m²)	9.2 a	6 a	1.6 b

* Deux lettres différentes dénotent des moyennes statistiquement différentes au risque de 5% (Tests de Kruskal-Wallis et de Wilcoxon)

Tableau 38 : Moyennes et groupes statistiques obtenus pour la variable densité d'adventices toutes espèces confondues une semaine avant la récolte

	Témoin	Désherbage mixte	Désherbage tout chimique
Densité totale d'adventices (moyenne / m²)	13.2 a	8.4 a	1.6 b

* Deux lettres différentes dénotent des moyennes statistiquement différentes au risque de 5% (Tests de Kruskal-Wallis et de Wilcoxon)

désherbage permet d'observer une tendance : la densité d'arroches est plus faible avec une conduite de désherbage mixte qu'un passage unique d'herbicide en post-semis (témoin) quelque soit la date du relevé. La conduite de désherbage tout chimique semble être la conduite la plus efficace pour réduire la population d'arroches. D'autre part, on remarque une densité plus faible au second relevé qui s'explique probablement par un effet de compétition avec la culture de pois.

En ce qui concerne la relation entre la conduite de désherbage (témoin, désherbage mixte ou tout chimique) et la densité de fumeterres ainsi que la relation entre la conduite de désherbage et la densité d'arroches, les résultats des tests de Kruskal Wallis nous donnent dans tous les cas une probabilité critique supérieure à 0.05 quelque soit la date du relevé (Tableau 35 et 36) ce qui confirme qu'il n'y a **pas de dépendance entre la conduite de désherbage et la densité de fumeterres, de même entre la conduite de désherbage et la densité d'arroches.** Par conséquent nous pouvons considérer que le passage de herse ni même l'herbicide de post-levée n'ont permis de réduire de manière significative la population d'arroches et de fumeterres par rapport au témoin. La faible pression initiale des adventices ne nous a pas permis d'observer de différence significative.

Toutefois, les tests statistiques nous montrent qu'il existe au moins une conduite de désherbage pour laquelle la densité totale d'adventices (toutes espèces confondues) est significativement différente des autres (p-value < 0.05) (Tableau 35 et 36). Nous cherchons désormais à connaître quelle(s) conduite(s) de désherbage diffère des autres.

Les résultats des tests de Wilcoxon nous montrent qu'il existe une différence significative de la densité totale d'adventices entre la conduite de désherbage tout chimique et le témoin et également entre la conduite de désherbage mixte et la conduite de désherbage tout chimique (Annexe 6). Par conséquent, la conduite de désherbage tout chimique a permis de réduire significativement la population d'adventices, toutes espèces confondues. Les tableaux 37 et 38 résument les résultats.

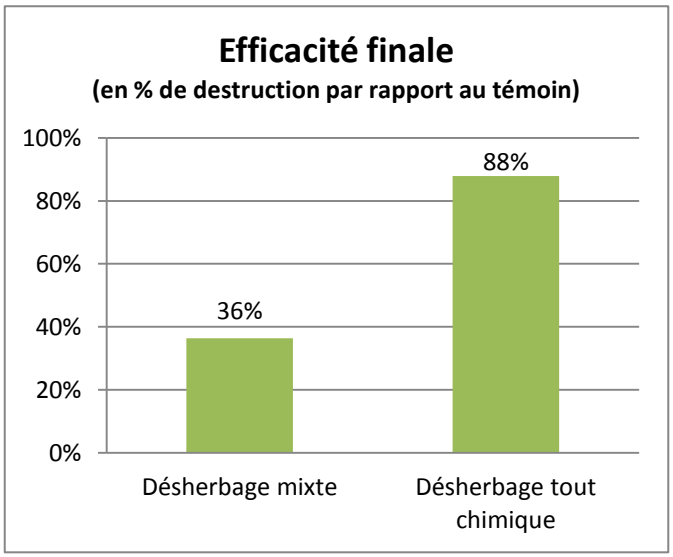


Figure 57 : Efficacité finale en fonction de la conduite de désherbage

La figure 57 nous montre que la conduite de désherbage « tout chimique » a été la plus efficace en terme de destruction des adventices avec 88 % de destruction des adventices par rapport au témoin contre 36 % avec une conduite de désherbage mixte intégrant un passage de herse étrille.

1.3 Rendements

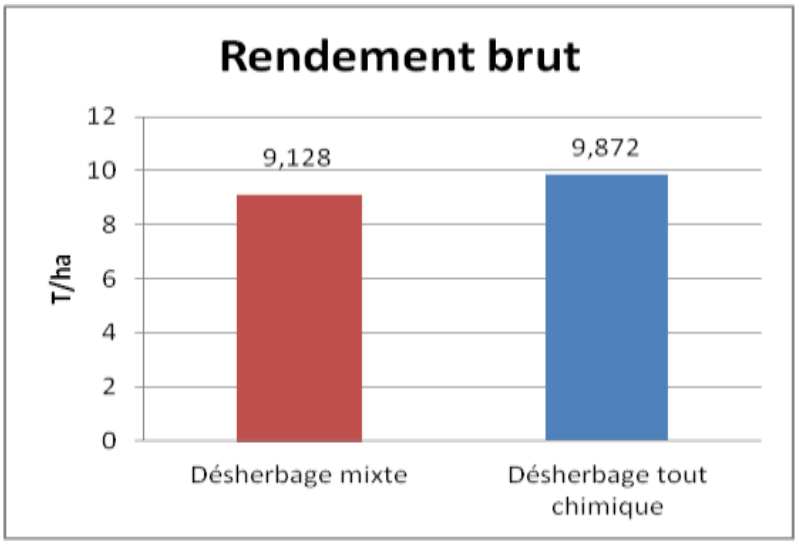


Figure 58 : Rendements bruts en fonction de la conduite de désherbage obtenus sur la parcelle la ville Rouault à Trévé suite à la récolte du 15 juillet 2014.

Le graphique de la figure 58 met en évidence une différence de rendement entre les 2 conduites de désherbage. En effet, on obtient un rendement brut de 9.128 T/ha avec une conduite de désherbage « mixte » incluant un herbicide en post-semis et un passage de herse étrille au stade 8-10 cm du pois contre 9.872 T/ha avec une conduite de désherbage classique « tout chimique ». Une perte de rendement de 0.744 T/ha est ainsi observée, soit une **baisse de 7 %.**

Tableau 39 : Effet de la conduite de désherbage sur les composantes du rendement

	Rendement brut	Nombre moyen de gousses / plantes	Nombre moyen de grains / gousse	Densité moyenne d'adventices / m²
Désherbage mixte	9.128 T/ha	11.4	9.8	9.6
Désherbage tout chimique	9.872 T/ha	11.6	9.8	1.6

On observe un nombre moyen de gousses avec une conduite de désherbage mixte légèrement inférieur au nombre moyen de gousses par plants des petits pois cultivés avec une conduite de désherbage tout chimique (Tableau 39). Nous pouvons considérer que cette différence est non significative. On constate également que le nombre de grains par gousse ne varie pas avec la technique de désherbage employée.

1.4 Qualité

1.4.1 Déchets

Tableau 40 : Taux de déchets moyen en fonction de la conduite de désherbage issus des données d'agréage à l'usine

	Désherbage tout chimique	Désherbage mixte
Taux moyen de déchets	5 %	5 %

Les taux de déchets sont équivalents entre le lot de petits pois provenant de la zone « désherbage mixte » et les pois provenant de la zone « désherbage tout chimique » (Tableau 40)

Tableau 41 : Résultats économiques pour la parcelle « la ville Rouault » à Trévé avec application du taux de déchets forfaitaire, ici en adéquation avec les taux de déchets réels relevés car < 10 %.

	Poids brut	Déchets	Quantité nette	Tendérométrie	Montant net	Produit net / ha
Désherbage mixte (post-semis + herse étrille)	3,100 T	5 %	2,883 T	129	1052,1 €	3098,05 € / ha
Désherbage chimique	11,100 T	6 %	10,323 T	132	3621,30 €	3035,12 € / ha
	11,840 T	6 %	11,011 T	142	3551,04 €	
	22,320 T	4 %	20,758 T	139	6988,18 €	
	22,080 T	6 %	20,534 T	142	6622,21 €	
	23,240 T	5 %	21,613 T	144	6970,19 €	
	16,640 T	5 %	15,475 T	135	5209,66 €	

Tableau 42 Marges brutes dégagées pour la parcelle de « la ville Rouault » en fonction de la conduite de désherbage employée

	Désherbage mixte	Désherbage tout chimique
Produit net / ha	3098,05 € / ha	3035,12 € / ha
Coût de production	1372 € / ha	1385 € / ha
Marge brute	1726,05 € / ha	1650,12 € / ha

De plus, ce taux de déchets reste faible avec seulement 5 %. Les déchets se composent exclusivement de gousses et de tiges. Les adventices ne se sont pas retrouvées dans le produit de récolte

1.4.2. Tendérométrie

Tableau 43 : Indices tendérométriques des pois en fonction de la conduite de désherbage

	Désherbage tout chimique	Désherbage mixte
Indice tendérométrique moyen	129	139

Un écart de 10 points de tendérométrie des pois est observé entre les deux conduites de désherbage (Tableau 43). Le manque de répétitions et donc de données ne nous permet pas d'affirmer qu'il y a un effet significatif de la conduite de désherbage sur la tendérométrie des pois.

2. Conséquences économiques

Tableau 44 : Synthèse des caractéristiques du produit de la récolte de la parcelle « la Ville Rouault » en fonction de la conduite de désherbage

	Désherbage mixte	Désherbage tout chimique
Rendement brut	9,128 T/ha	9,872 T/ha
Taux de déchets moyen	5 %	5 %
Rendement net (forfait déchets 7 %)	8,489 T/ha	9,181 T/ha
Tendérométrie (moyenne)	129	139
Produit net / ha	3098.05 € / ha	3035.12 € / ha

Dans les deux cas, le taux de déchet est compris entre 0 et 10 %, par conséquent un déchet forfaitaire de 7 % est appliqué pour le paiement au producteur. Malgré la perte de rendement avec une conduite de désherbage mixte, un **gain de 62,93 €** par hectare pour le producteur est constaté par valorisation de la tendérométrie (Tableau 41).

Avec un produit net par hectare plus élevé et un coût de production plus faible, la conduite de désherbage mixte a permis de dégagé une marge brute de 1726,05 € / ha contre 1650,12 € / ha avec une conduite de désherbage tout chimique, soit une augmentation de 4 % sur le revenu de l'agriculteur (Tableau 42).

D. Description de l'organisation du désherbage mécanique au sein de l'OP

La prestation de désherbage mécanique pour l'organisation de producteurs de légumes industrie de Triskalia est réalisée par une ETA. L'organisation est la suivante : les techniciens déterminent la date du passage des outils par observation de la culture et en suivant le protocole définit avec le chef marché produit. Ensuite, les techniciens contactent les conducteurs de l'ETA pour effectuer les travaux de la parcelle. L'entrepreneur doit prévenir le producteur de sa venue pour valider avec lui les hectares désherbés mécaniquement. Cette année, seulement une parcelle d'épinards de printemps a été désherbée mécaniquement à l'aide de la herse étrille. Par conséquent, l'organisation avec les entrepreneurs s'est déroulée sans difficulté. De même avec les 47.2 ha de pois répartis sur 5 parcelles sur le même bassin. A l'inverse, j'ai pu observer des difficultés dans la gestion du désherbage mécanique des parcelles

Figure 59: Remontés de plastiques après passage de herse (Source : personnelle)

de haricots. Cette année, 68 ha de haricots dispersés sur 8 exploitations ont été désherbés selon un protocole incluant un passage de herse étrille et deux passages de bineuse. Une parcelle de haricots n'a pas pu être désherbée entièrement car le second passage de bineuse a été réalisé trop tard et a endommagé la culture dont le stade atteignait 5-6 trifoliées. En effet, l'entrepreneur a d'abord réalisé tous les premiers passages de bineuse sur les 2 bassins, par conséquent il n'a pas pu intervenir à temps pour le 2ème passage de cette parcelle.

VI – DISCUSSION ET PERSPECTIVES

A. Discussion et perspectives pour la culture d'épinards

Cette année, la campagne d'épinards de printemps n'a pas permis de multiplier les surfaces conduites en désherbage mécanique. En effet, au vu de la propreté des parcelles il n'a pas été nécessaire de réaliser un désherbage en rattrapage. Le Centium 36 CS a été réellement efficace avec le printemps humide de cette année qui a permis sa réactivation « la matière active clomazone agit principalement sur la germination des adventices et, en conditions de sol humide, permet le contrôle des levées échelonnées par sa persistance d'action » [20]. Cependant 2014 est une année atypique pour le désherbage en épinards, par conséquent ces résultats ne sont pas généralisables d'une année à l'autre. La réactivation du Centium a favorisé également le pouvoir concurrentiel de l'épinard sur les adventices. Par conséquent, la population d'adventices lors des comptages était très faible et ne nous a pas permis de tirer des conclusions quant à l'efficacité de la herse étrille.

D'autre part, le passage de herse au stade 6 feuilles vraies a provoqué un dépôt de feuilles séchées sur les feuilles d'épinards, ceci est problématique car ces déchets ne peuvent pas être triés à l'usine. De plus, quelque soit le stade de la culture au moment du passage de la herse, des morceaux de plastiques sont remontés à la surface (Figure 59) et se retrouvent dans le lot à l'usine. Ces plastiques proviennent des bâches utilisées pour les semis de maïs. Par conséquent, il a été décidé de poursuivre les essais sur épinards d'automne en conservant uniquement la modalité « passage de herse au stade 4 feuilles vraies de l'épinard » pour éviter les problèmes de feuilles séchées avec un 2ème passage au stade 6 feuilles vraies. D'autre part, il est nécessaire de confirmer la baisse de rendement. A la récolte si les conducteurs doivent couper plus haut les épinards à cause des remontés de terre, comme on a pu le noter pour l'essai, cela risque de baisser les rendements. Il est important également de quantifier la perte de plants d'épinards après un passage à 4 feuilles vraies en épinards d'automne pour déterminer une éventuelle augmentation de densité de semis et les coûts que cela pourrait engendrer. Toutefois, **je propose de reconduire les essais également en culture d'épinards de printemps**. En effet, les conclusions des essais en épinards d'automne ne s'appliquent pas de manière évidente à une culture d'épinards de printemps. D'ailleurs, en début de stage j'ai suivi des essais de désherbage mécanique en culture d'épinards d'hiver. La parcelle présentait une population de véroniques très importante et nous avons pu réaliser jusqu'à 3 passages de herse consécutifs à une vitesse de 13 km/h sans engendrer de perte significative de densité d'épinards. En culture d'épinards de printemps, les passages de herse se sont effectués qu'à une vitesse de 3-4 km/h pour limiter les pertes de densité et éviter d'endommager la culture. Il a été également décidé pour la campagne d'épinards de 2015 de revenir à une **phase d'essais** avant de pouvoir développer la technique à plus grande échelle. Justement, si la mise en œuvre du désherbage mécanique à plus grande échelle se confirmait, il serait nécessaire de sélectionner les parcelles qui ne présentent pas d'historique « maïs sous bâches » afin d'éviter les remontés de plastiques qu'on peut retrouver dans le produit de récolte. Or, il est difficile de déterminer ces parcelles. En effet,

Tableau 45 : Marge dégagée pour une culture d'épinards avec une conduite de désherbage mixte en faisant varier l'augmentation de la densité de semis en comparaison à une conduite de désherbage tout chimique.

	Désherbage mixte				Désherbage tout chimique
Produit brut	2369 € / ha	2369 € / ha	2369 € / ha	2369 € / ha	2369 € / ha
Augmentation densité	+ 30 %	+ 35 %	+ 40 %	+ 45 %	0 %
Semences	708 € / ha	729 € / ha	756 € / ha	783 € / ha	540 € / ha
Engrais	220 € / ha				
Produits phytosanitaires	121 € / ha				
Récolte	415 € / ha				
Péréquation / cotisation 2%	47 € / ha				
Charges	1511 € / ha	1532 € / ha	1559 € / ha	1586 € / ha	1342 € / ha
Marge brute	858 € / ha	837 € / ha	810 € / ha	783 € / ha	**1027 € / ha**
Différence / tout chimique	**- 16 %**	**- 18 %**	**- 21 %**	**- 24 %**	

Tableau 46 : Comparaison de la marge brute d'une conduite de désherbage tout chimique avec la marge brute réalisée avec une conduite de désherbage mixte avec une baisse de rendement de 5 %.

	Désherbage mixte	Désherbage tout chimique
Produit brut	2250.55 € / ha	2369 € / ha
Semences	708 € / ha	540 € / ha
Engrais	220 € / ha	
Produits phytosanitaires	121 € / ha	
Récolte	415 € / ha	
Péréquation / cotisation 2%	47 € / ha	
Charges	1511 € / ha	1342 € / ha
Marge brute	739.55 € / ha	**1027 € / ha**
Différence / tout chimique	**- 28 %**	

Tableau 47 : Comparaison de l'IFT herbicides en fonction de la conduite de désherbage

	Mixte sans rattrapage	Mixte avec un rattrapage	Tout chimique avec 2 rattrapages
IFT herbicides	2.3	2.6	3

les plastiques utilisés il y a une dizaine d'années ne se dégradent pas si rapidement que les plastiques utilisés aujourd'hui. La technique est tout de même intéressante car on obtient une réduction de l'IFT herbicides avec une conduite de désherbage mixte sans rattrapage herbicide de 23 % et avec une conduite de désherbage mixte intégrant un désherbage de post-levée, une baisse de 13 % (Tableau 47). Toutefois, cela reste au dessus de la référence établie pour la Bretagne avec un IFT herbicide moyen de 1.1 pour les exploitations en polyculture-élevages (Tableau 47 et annexe 7) [21].

Au niveau économique, le revenu de l'agriculteur avec une conduite de désherbage mixte baisse de 16 % en augmentant la densité de semis de + 30 % en comparaison à une conduite de désherbage tout chimique (Tableau 45). De plus, on remarque qu'une baisse de seulement 5 % de rendement, avec une qualité équivalente, engendre une perte de 28 % sur la marge dégagée (Tableau 46). L'augmentation du coût de production est due uniquement à l'augmentation de la densité de semis. Or, il serait risqué de ne pas augmenter la densité de semis avec un passage de herse au stade 4 feuilles vraies de l'épinard. En effet, la perte de densité laisserait alors de l'espace pour le développement des adventices et pourrait être à l'origine d'un produit différent. Cette baisse de revenu risque de **freiner l'adoption du désherbage mécanique** par les agriculteurs. Par conséquent, des moyens financiers doivent être mis en place (subventions, soutiens financiers de la part des industriels, augmentation du prix de vente,…) car la rentabilité économique de l'exploitation ne doit pas être affectée. En effet, celle-ci conditionne la diffusion d'un système de culture, avant même sa performance environnementale.

Afin de rendre le système rentable, il faudrait que le prix d'achat aux producteurs augmente. Ce qui demanderait alors aux distributeurs de vendre le produit transformé plus cher. Je suggère donc de **créer une filière** spécifique en mettant en place une image du produit où l'on valorise mieux la réduction d'herbicides. Cette filière serait l'intermédiaire entre des produits issus de l'agriculture conventionnelle et des produits issus de l'agriculture biologique. Il serait alors intéressant de réaliser une **étude consommateurs** en ciblant « la personne responsable des achats pour le foyer » afin de savoir si le consommateur est prêt à payer plus cher un produit identifié avec une image terroir et produit de manière durable. Il serait également judicieux de valoriser tous les efforts de l'OP pour réduire l'impact environnemental (réseaux de piégeage, utilisation d'anti-limace bio…) en plus de la réduction d'herbicides. En effet, la simple réduction des herbicides n'est probablement pas un critère d'achat. Sinon, il faudrait orienter les producteurs réellement motivés par les démarches environnementales vers des filières bio. Cependant, on remarque certaines difficultés en Bretagne à produire des légumes pour l'industrie selon le cahier des charges de l'agriculture biologique. Cette année par, exemple, une parcelle d'épinards bio n'a pas pu être récoltée à cause de l'enherbement non maîtrisé.

B. Discussion et perspectives pour la culture de pois

Les résultats des essais ont montré que le passage de herse n'engendrait pas de perte de plants de pois. Toutefois, nous avons constatés dans les deux parcelles d'essai, une perte de rendement. Agrobio 35 (Bretagne) a réalisé des essais en 2011 dont l'objectif était d'optimiser la conduite technique de différentes légumineuses à graines biologiques [22]. Ils ont observé sur les parcelles dont le salissement était important, notamment en chénopodes et renouées, une diminution du nombre de gousses par plante d'une culture de pois protéagineux. Nous observons le même phénomène sur la parcelle de « La ville calair ». Agrobio 35 a suggéré qu'un enherbement important pouvait entraîner un faible développement et une mauvaise fructification du pois qui s'illustre par un faible nombre de

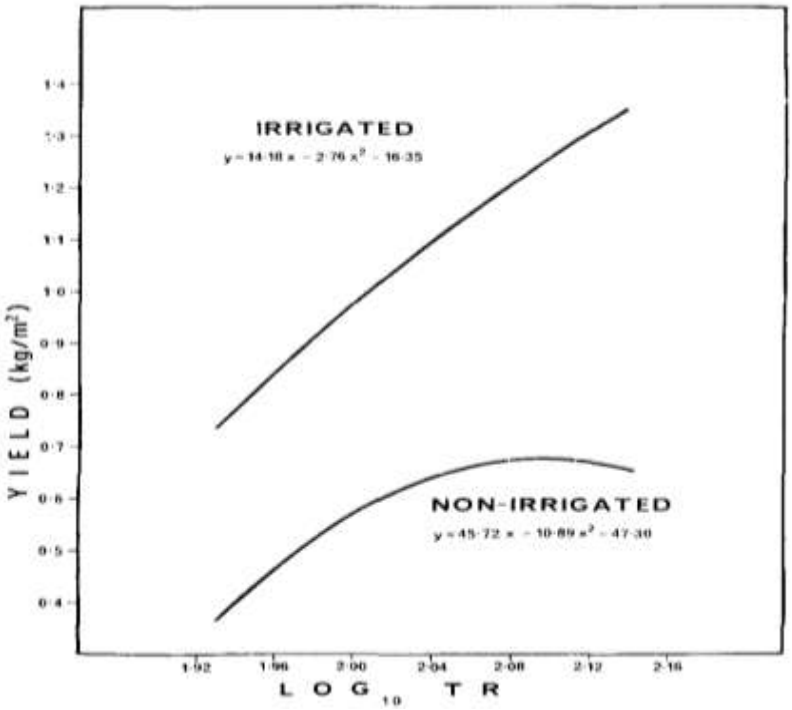


Figure 60: Rendement (YIELD) en fonction du logarithme de la tendérométrie des pois (LOG TR) et selon l'irrigation : culture de pois irriguée (IRRIGATED), culture non irriguée (NON-IRRIGATED) (Source : F. Dastgheib, 2004)

Tableau 48 : Comparaison du produit net par hectare entre les 2 conduites de désherbage avec l'hypothèse d'une tendérométrie équivalente

	Désherbage mixte	Désherbage tout chimique
Rendement brut	9,128 T/ha	9,872 T/ha
Taux de déchets moyen	5 %	5 %
Rendement net (forfait déchets 7 %)	8,489 T/ha	9,181 T/ha
Tendérométrie (moyenne)	139	139
Produit net / ha	32857.82 € / ha	3035.12 € / ha

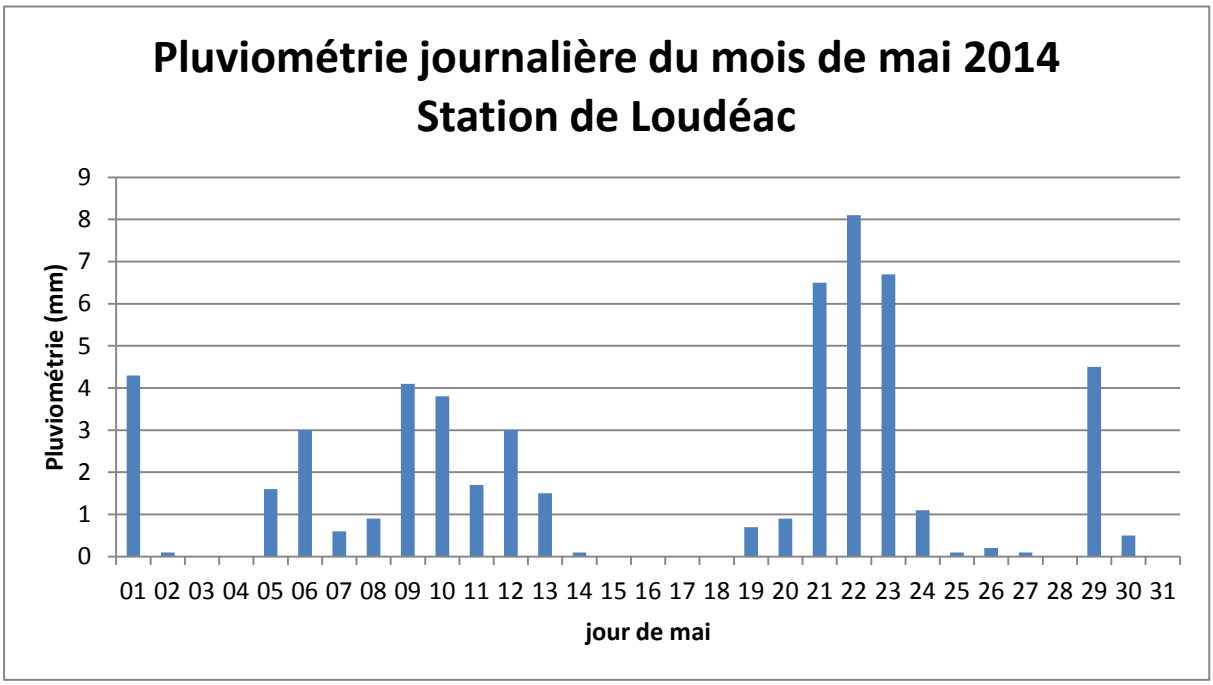


Figure 61 : Pluviométrie journalière du mois de mai 2014 à Loudéac (Source : Station météorologique de Loudéac, Météo France, 2014)

gousses par plante. Malgré la faiblesse d'une des composantes de rendement, les suivantes peuvent permettre d'obtenir un rendement équivalent or les résultats des essais montrent que le nombre de grains par gousse ne varie pas avec la conduite de désherbage employée. Par conséquent, la diminution du nombre de gousses par plante n'a pas pu être compensée d'où la baisse de rendement. Concernant la parcelle de « la ville Rouault » à Trévé (EARL de Penhuedo), le nombre de gousses par plante n'est pas significativement différent entre la modalité « désherbage mixte » et la modalité « désherbage tout chimique », probablement due à la faible population d'adventices. En effet, dans l'étude de G. Avola et al. (2008), avec une population adventices en culture de pois de 58.6 %, le nombre de gousses par plantes n'étaient pas significativement différent entre la conduite de désherbage mécanique et la conduite de désherbage chimique. A l'inverse, l'année suivante, la population d'adventices atteignait 85 % et ils ont pu constater une diminution significative du nombre de gousses par plante après un passage d'outil de désherbage mécanique en comparaison à une conduite de désherbage chimique. La tendérométrie des pois pourrait alors expliquer la perte de rendement observée sur la parcelle de la ville Rouault. En effet, on obtenait une tendérométrie de 129 avec une conduite de désherbage mixte contre 139 avec une conduite de désherbage comprenant 2 passages d'herbicide. Or, plus l'indice tendérométrique est élevé, plus le grain est dur car au cours de son évolution les sucres solubles du grain se transforment en matière sèche (amidon). Fallon et al. (2006) affirme « qu'une récolte tardive résulte en un meilleur rendement mais réduit la qualité (indice de tendreté élevé) ». D'ailleurs, Anderson et al. (1974) ont mis en évidence une relation positive entre le rendement et la tendérométrie des pois (Figure 60). Etant donné que la tendérométrie du pois augmente avec l'avancement du cycle, on peut émettre l'hypothèse qu'il y a eu un **retard du cycle** de culture du pois avec une conduite de désherbage mixte, le passage de herse a pu affaiblir la plante, ce qui expliquerait la perte de rendement. Cependant, la date de floraison entre les 2 modalités ne différait pas (10 juin).

Cette perte de rendement peut générer une baisse de revenu de l'agriculteur si la tendérométrie ne permet pas de mieux valoriser sa production. En effet, nous avons pu constater une perte de 18 % sur la marge brute dégagée avec une conduite de désherbage mixte sur la parcelle « la ville Calair » à Loudéac, en prenant en compte le taux de déchets réels. Pour la parcelle de la ville Rouault, si la tendérométrie n'avait pas permis une valorisation du produit de récolte, la perte de rendement de 0.744 T (-7 %) aurait engendré une **baisse de 6 %** de marge brute avec conduite de désherbage mixte en comparaison à une conduite de désherbage tout chimique (Tableau 48). On peut émettre l'hypothèse, que cette perte de revenu est encore acceptable pour un producteur très motivé par les démarches environnementales. De plus, la technique permet une réduction de l'IFT herbicides avec une conduite de désherbage mixte de 27 % pour l'essai de la parcelle de Loudéac et une baisse de 35 % pour la parcelle de Trévé par rapport à une conduite tout chimique, ce qui n'est pas négligeable (annexe 9). Dans ce cas, on se rapproche davantage de la référence régionale (IFT = 1.1) pour les exploitations en polyculture-élevage. Toutefois on ne sait pas si ces exploitations intègrent des légumes d'industrie dans leur assolement.

Au vu des résultats obtenus en culture de pois, je suggère de **revenir à la mise en place d'essais pour la campagne 2015**. Une telle perte économique et un taux de déchets si important résultant de la parcelle « la ville calair » à Loudéac (SCA Le Bihan Gloux) ne sont pas envisageables. De plus, la filière va devoir rembourser les producteurs or les résultats montrent que les **écarts de prix** entre une conduite de désherbage classique « tout chimique » et une conduite de désherbage mixte sont **importants** particulièrement pour la parcelle de « la ville calair ». D'autre part, les résultats des essais ont montré que le passage de herse ne permettait pas de réduire significativement la population d'adventices présente sur les parcelles. Cela peut s'expliquer par les conditions humides du mois de

mai. Malgré une précipitation de seulement 54.1 mm à Loudéac, le fait qu'il est plu tous les jours a pu provoquer des repousses d'adventices. De plus, on peut voir sur le graphique de la figure 61 que le 19 mai, soit 2 jours après le passage de herse réalisé sur la parcelle de la ville Calair à Loudéac, une pluviométrie de 11.8 mm a été enregistrée. Or, nous avons vu dans la bibliographie qu'une fenêtre de temps sec de 48 heures après l'intervention permettait de garantir une durabilité intéressante au printemps. Le même problème se pose pour le passage de herse de la parcelle la ville Rouault réalisé le 28 mai. Ce graphique permet également de comprendre pourquoi il a été difficile de trouver un créneau pour les interventions de désherbage mécanique en mai (Figure 61). De plus, les adventices atteignaient un stade 2 feuilles vraies lors du passage de herse, on aurait probablement observé une meilleure efficacité avec des conditions climatiques permettant de passer la herse au stade cotylédons des adventices.

D'autre part, si on arrive a montré l'efficacité de la technique en culture de pois suite à de nouveaux essais, il serait important de privilégier les exploitations en polycultures élevage dont les légumes ne représente qu'une faible part de la SAU. En effet, nous avons pu observer une quantité d'adventices bien plus conséquente sur la parcelle de la SARL Le Bihan gloux comparé à la parcelle de l'EARL de Penhouedo. Comme nous l'avons vu dans la bibliographie, la rotation est un levier d'action notamment en alternant culture d'hiver et d'été afin de casser les cycles des adventices. Or la rotation de la parcelle de la SARL Le Bihan gloux est composée principalement de légumes, la terre est alors sans cesse cultivée. D'ailleurs, Avola et al. (2008) ont montré, dans leur étude sur le contrôle des adventices de trois légumineuses à graines, que le désherbage mécanique en culture de pois permettait de contrôler les adventices au même titre qu'un herbicide de synthèse uniquement lorsque la pression adventices était faible.

Pour les exploitations en polyculture-élevage dont la surface en cultures légumières ne représente qu'une faible part de la SAU, un passage de herse serait envisageable quand la pression adventice initiale est relativement faible. Toutefois, avant de développer la technique, il est important de vérifier par la mise en place d'essais que les rendements sont supérieurs avec une conduite de désherbage mixte (herbicide en post-semis + un passage de herse) qu'une conduite de désherbage chimique incluant un seul passage d'herbicide en post-semis. Si on s'aperçoit que les rendements sont similaires, il serait alors judicieux de ne réaliser qu'un désherbage en post-semis afin d'économiser le coût du passage de la herse étrille, soit 35 €/ha.

Comme nous l'avons vu dans la bibliographie, l'efficacité du désherbage mécanique repose sur une approche globale associant la prévention et la combinaison de techniques complémentaires. Or, l'une des conclusions de ces essais est qu'il est important que le stock grainier de la parcelle soit faible pour assurer la récolte de la parcelle dans son entièreté et pour limiter le taux de déchets surtout si on conserve le protocole comprenant un seul passage de herse. Pour cela le **raisonnement** doit s'effectuer à l'**échelle du système de culture**. Il serait alors intéressant d'accentuer la collaboration entre les techniciens grandes cultures et les techniciens légumes et de proposer des études pluriannuelles testant les méthodes préventives et curatives (essais de couvert végétaux en intercultures, désherbage mécanique en plus de la conduite chimique classique dans la céréale qui précède le légume).

Par ailleurs, chaque année des **essais variétaux** de pois sont mis en place et suivis par l'OP. Diverses notations sont effectuées pour chaque variété, il serait pertinent d'ajouter la capacité de concurrencer les adventices en notant par exemple la hauteur des plantes, la couverture du sol, le port des feuilles... D'ailleurs, l'ITAB, l'INRA, ARVALIS ont démarré en 2007 un programme de trois ans pour quantifier les différences de pouvoir concurrentiel entre les variétés de blé tendre d'hiver pour l'agriculture biologique [23].

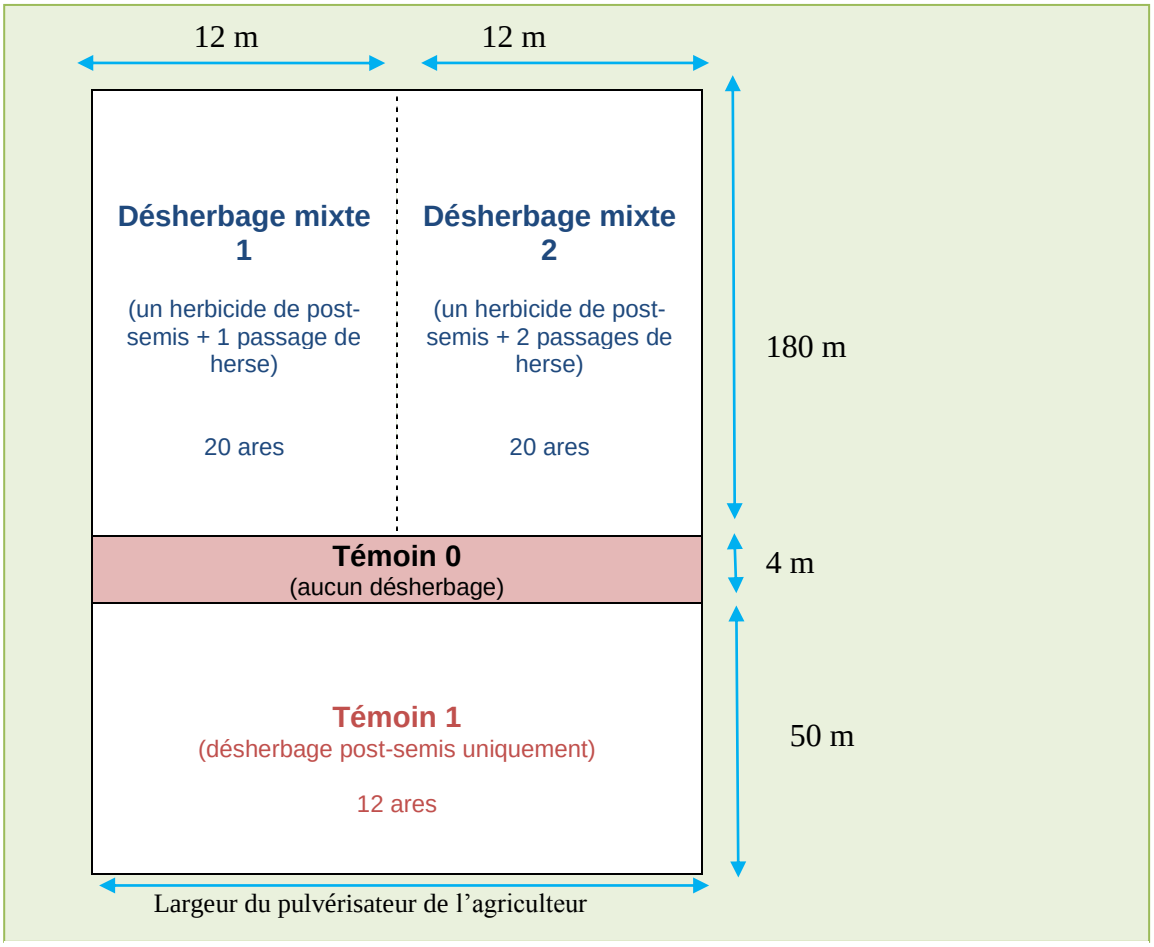


Figure 62 : Schéma du protocole expérimental proposé (Source : personnelle)

Figure 64 : Pois à 3 feuilles (Source : Chambre d'Agriculture 76)

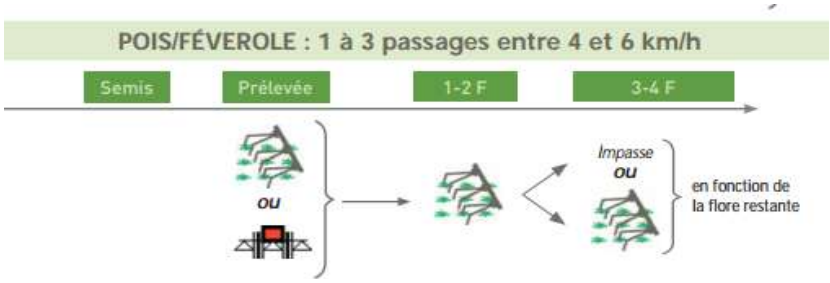


Figure 63 : Exemple de stratégie envisageable sur pois et féveroles (Source : Agro-transfert, 2007)

Tableau 49 : Matière sèche (MS) adventices au moment de la récolte (g/m²) et rendement des pois (t/ha) en fonction du stade de la culture au moment du ou des passage(s) de herse – Southbridge 2003 (Source : F. Dastgheib, 2004)

	MS adventices	Rendement
Témoin	311	1.692
Pré-émergence	153	2.675
2 feuilles	62	3.195
3 feuilles	140	2.006
2 + 3 feuilles	13	3.161
5 feuilles	130	1.952
Pré + 2 feuilles	31	3.293
Pré + 3 feuilles	93	2.431
Pré + 5 feuilles	82	3.001
LSD (P=0.05)	73.7	0.893

Propositions d'essais pour la campagne de petits pois de 2015

Choisir 2 parcelles après discussion avec le producteur, l'une connue pour son salissement important en adventices et la seconde présentant, à priori, une faible population initiale d'adventices. L'objectif est de déterminer si 2 passages de herse peuvent permettre de réduire la population d'adventices même à fort salissement. D'ailleurs l'étude de F. Dastgheib (2004) a montré que la meilleure conduite de désherbage mécanique, permettant à la fois une réduction significative de la densité d'adventices et une nette amélioration du rendement des pois en comparaison au témoin, comprenait 2 passages de herse étrille : un passage à 2 feuilles et un second au stade 3 feuilles du pois (Figure 64). C'est également ce que préconise Agro-transfert en culture de pois/féverole (Figure 63).

Le protocole que je propose comprend 4 modalités différentes (Figure 62) :

- Désherbage mixte 1 : un passage de herse étrille au stade 2 feuilles du pois.

- Désherbage mixte 2 : premier passage de herse étrille au stade 2 feuilles du pois et un second au stade 3 feuilles du pois.

- Désherbage tout chimique : herbicides en post-semis prélevée + herbicides en post-levée.

- Témoin 0 : non désherbée (le producteur devra lever sa rampe de pulvérisateur sur 4 mètres). Cette zone permettra d'évaluer visuellement l'efficacité du passage de herse.

- Témoin 1 : zone ayant reçu uniquement un herbicide en post-semis pré-levée.

Les diverses notations à réaliser sont détaillées dans l'annexe 9.

C. Analyse de l'organisation

Si cette technique devait se généraliser, il serait nécessaire que les producteurs adhérents de l'OP disposent de leur propre parc matériel (herse étrille, bineuse) pour pouvoir désherber leur parcelle au moment adéquat afin d'assurer une efficacité en terme de destruction des adventices. Etant donné que l'OP légumes industrie de Triskalia ne possède qu'une seule herse étrille et une seule bineuse, si la surface totale devait augmenter considérablement, il deviendrait alors difficile d'organiser les chantiers de désherbage mécanique notamment pour des semis proches. Par ailleurs, l'OP légumes industrie de Triskalia a recruté une personne pour gérer l'organisation du désherbage en culture de brocolis. En effet, pour la campagne 2014 toutes les parcelles de brocolis ont été désherbées mécaniquement avec la bineuse de l'OP. Ils se sont rendu compte qu'il était nécessaire d'organiser également les chantiers de désherbage mécanique des haricots, c'est pourquoi cette personne a été rapidement mise en charge de ce dossier. En effet, un calendrier n'a pas été fixé ce qui entraine parfois des litiges entre les techniciens de la coopérative quand au choix de la parcelle à désherber en premier lieu. L'investissement des agriculteurs dans des outils de désherbage mécanique permettrait également à l'OP de réduire ses charges salariales.

Toutefois cette suggestion peut faire débat car pour une herse étrille de 12 m, identique à celle de l'OP, il faut une surface importante par an (110 ha) pour faire des économies par rapport à la prestation de l'ETA (Tableau 60, figures 65 et annexe 10). La solution serait peut-être d'investir dans un outil de désherbage mécanique à 4 ou 5 agriculteurs (CUMA) ou de préférer une herse étrille de seulement 6 m qui nécessite une utilisation sur une plus faible surface par an pour faire des économies (Figure 66). Cependant, le passage de herse réalisé

Tableau 50 : Comparaison des coûts d'utilisation d'une herse étrille de 6 m et de 12 m pour 100 ha / an à désherber (Source : personnelle)

	Herse étrille 6 m	Herse étrille 12 m
Coûts pour une surface annuelle de 100 ha	- Coût d'achat : 5 260 € - Charges fixes : 638 €/an soit 6.4 €/ha - Réparation : 1 €/ha - Débit de chantier : 2 ha/h	- Coût d'achat : 20838.25 € - Charges fixes : 2977 €/an soit 29.77 €/ha - Réparation : 1 €/ha - Débit de chantier : 4 ha/h
Coût total herse	**7,4 €/ha**	**30,77 €/ha**
Coûts pour un tracteur 4 roues motrices 100 ch à 47 300 €	- Réparation : 2.10 €/h - Carburant : 6.01 €/h - Pneus : 1.09 €/h - Huile : 0.3 €/an - Durée d'utilisation : 700 h/an soit charges fixes : 6.7 €/h	
Coût total tracteur	**8,10 € / ha**	**4,05 € / ha**
Coût main d'œuvre	**6 € / ha**	**3 € / ha**
Coût total pour un passage de herse	**21,5 € / ha**	**37.82 € / ha**

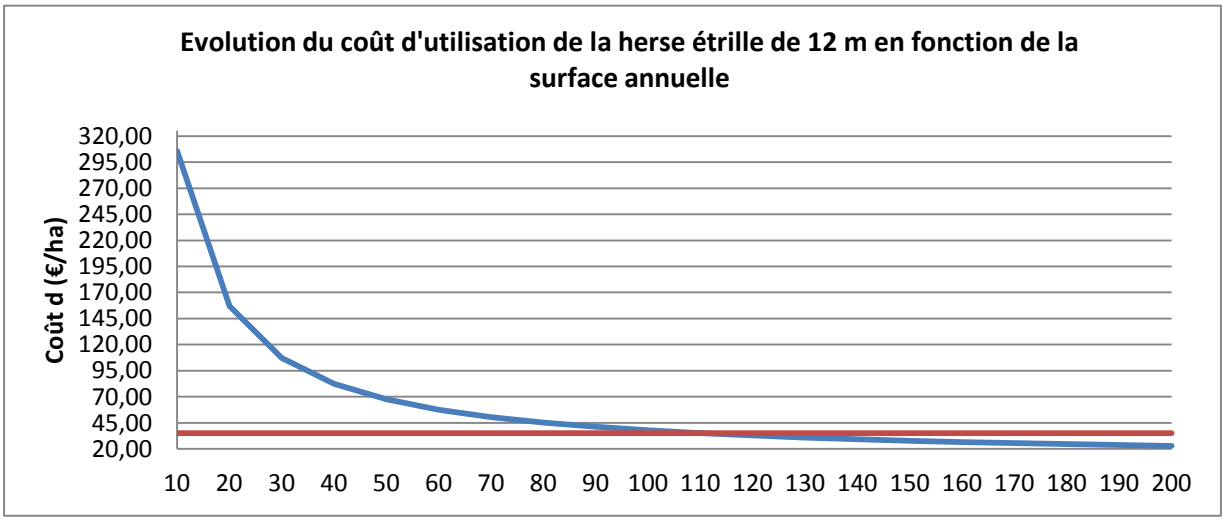


Figure 65 : Evolution du coût d'utilisation d'une herse étrille de 12 m en fonction de la surface (courbe bleu) en comparaison au coût du passage de herse par l'ETA (courbe rouge)

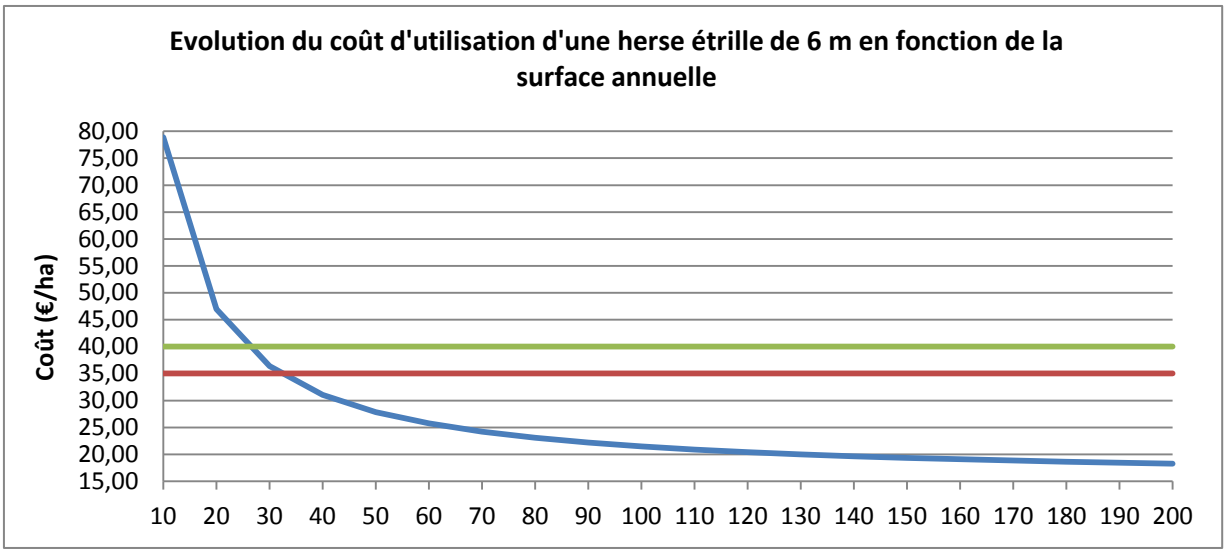


Figure 66 : Evolution du coût d'utilisation d'une herse étrille de 6 m en fonction de la surface (courbe bleu) en comparaison au coût du passage de herse de l'ETA pour un passage en pois (courbe rouge) et pour un passage en épinards (courbe verte)

par l'ETA permet à l'agriculteur de se dégager du temps pour les autres travaux de l'exploitation. De plus, par économie, un investissement dans une herse étrille de 6 mètres augmenterai le temps de travail de l'agriculteur de par un débit de chantier moins important comparé à la herse de 12 m de l'OP. Et en plus de devoir raisonner les interventions, le débit de chantier d'une herse (4 ha/h avec une vitesse de 3 km/h) est moins élevé qu'un pulvérisateur (6 ha/h pour un pulvérisateur de 21 m et une vitesse de 8 km/h). Par conséquent, le désherbage mécanique est une technique plus coûteuse en temps de travail en comparaison à une gestion systématique conventionnelle. Ceci est à modérer car il faut prendre en compte le temps pour préparer la bouillie, remplir le pulvérisateur, le nettoyer… Pour promouvoir la technique auprès des agriculteurs, la **communication** est primordiale. Il serait alors intéressant de mettre en place des partenariats entre les agriculteurs biologiques, qui maîtrisent globalement bien la technique, et les agriculteurs conventionnels. Ces partenariats doivent se faire de manière locale pour que le contexte pédoclimatique soit le même. D'autre part, la communication auprès des agriculteurs pourrait être mise en œuvre par l'intermédiaire des techniciens (après formations ou réunions sur le sujet).

D. Limites de l'étude

La faible représentativité des relevés (10 placettes de 0.25 m² pour les relevés adventices) incite à la prudence dans les conclusions. D'autre part, les essais ont été réalisés directement chez des agriculteurs adhérents de l'OP légumes industrie de Triskalia par conséquent les protocoles d'essais n'ont pas été établis comme en station expérimentale. En effet, il aurait été nécessaire de mettre en place des protocoles d'essais selon un **dispositif en bloc de Fisher** afin de répéter les modalités à différents endroits de la parcelle et de vérifier statistiquement que nous ne sommes pas en présence d'un effet bloc. Toutefois, en coopérative cela reste difficile à adopter. Le protocole doit rester simple pour les agriculteurs afin de ne pas augmenter leur temps de travail car ce sont eux qui réalisent toutes les opérations culturales. De plus, il est difficile de demander aux agriculteurs de ne remplir qu'une partie de leur cuve pour traiter une seule zone de la parcelle notamment pour la modalité « désherbage tout chimique » dans le cas où la parcelle n'a reçu qu'un désherbage en post-semis ou lorsque la parcelle est désherbée entièrement à l'aide de la herse étrille. Par ailleurs, les producteurs ne souhaitent pas laisser de bande témoin large dans leur parcelle où les adventices seraient présentes. D'ailleurs nous avons du réduire la taille des bandes témoin pour les essais en pois, c'est pourquoi nous n'avons pas récolté la bande témoin dans les essais.

CONCLUSION

Finalement, le désherbage mécanique n'a pas permis de réduire significativement l'enherbement et a provoqué une baisse de rendement en comparaison à une conduite tout chimique que ce soit en culture de pois ou d'épinards. La stratégie la plus efficace en termes de rendement, taux de déchets et contrôle des adventices reste la conduite « tout chimique ». Les résultats des essais en culture de pois de la parcelle « la ville rouault » à Trévé montrent cependant qu'il est possible avec une conduite de désherbage mixte de dégager un revenu supérieur à une conduite de désherbage conventionnelle même avec des densités adventices plus élevées dans la zone désherbée mécaniquement. Il faut tout de même prendre en compte que la population initiale d'adventices était faible. A l'inverse, avec un enherbement important, l'introduction du désherbage mécanique sur la parcelle de « la ville calair » a eu pour conséquence une baisse de revenu importante pour l'agriculteur. Par conséquent, il faut revenir à une phase d'essais (pour rappel une superficie de 90 ha était dédiée au désherbage mécanique) pour valider ces résultats, optimiser la technique et réduire les coûts pour la filière. Des essais ont d'ailleurs été reconduits en cultures d'épinards d'automne.

Nous avons vu que le désherbage mécanique n'était pas forcément moins coûteux qu'un traitement chimique, notamment en culture d'épinards, et qu'il pouvait engendrer des coûts supplémentaires liés à l'augmentation de la densité de semences. Dans le contexte agricole actuel, sans aides apportées aux systèmes à bas niveau d'intrants, de tels itinéraires techniques risquent de voir leur diffusion réduite.

Augmenter la tolérance par rapport aux adventices permettrait de développer l'usage du désherbage mécanique cependant le cahier des charges usine est restrictif et un taux de déchets plus important ne sera pas accepté. Il faudrait que les usines s'équipent afin de disposer de moyens permettant de trier ces déchets, que ce soit les adventices ou les plastiques remontés par les passages de herse.

Toutefois, afin de développer l'usage du désherbage mécanique, il serait préférable que les agriculteurs adhérents de l'OP investissent dans des outils de désherbage mécanique. En effet, les interventions de désherbage mécanique requièrent une forte réactivité pour être positionnées au mieux car les conditions climatiques de la Bretagne peuvent réduire la fenêtre d'intervention. D'autre part, l'adoption de la technique doit passer par la communication.

Les résultats peu concluants des essais, nous amènent à nous poser la question suivante : quelle gestion adoptée à l'échelle du système de culture pour assurer ensuite la réussite du désherbage mécanique ?

Bibliographie

Articles

Anderson J. A. D. et. White J. G. H, 1974. The relationship between green pea yield and tenderometer reading. New Zealand Journal of Experimental Agriculture, 2:1, 31-33.

Avola G., R. Tuttobene, F.Gresta, V.Abbate, 2008. Weed control strategies for grain legumes. Agronomy for sustainable development, 28, 389-395.

Bertrand M., Doré T., 2008. Comment intégrer la maîtrise de la flore adventice dans le cadre général d'un système de production intégré ? Innovations Agronomiques, 3, 1-13.

Caussanel J.P. ; 1989. Nuisibilité et seuils de nuisibilité dans une culture annuelle : situation de concurrence bispécifique. Agronomie, 9, 219-240.

Charter A., 2013. Action binage de la culture de haricot. Chambre d'agriculture des Côtes d'Armor, 1-7.

Dastgheib F., 2004. Optimising tine weeding in organic pea crops. New Zealand Plant Protection, 57, 45-48.

Fallon, E., Tremblay, N. and Desjardins, Y. 2006. Relationships among growing degree-days, tenderness, other harvest attributes and market value of processing pea (Pisum sativum L.) cultivars grown in Quebec. Canadian Journal of Plant Science, 86, 525–537.

Godinho, I., 1984. Les définitions d'"adventice" et de "mauvaise herbe". Weed Research, 24, 121-125.

Kurtjens, D. & Kropff, M., 2001. The impact of uprooting and soil-covering on the effectiveness of weed karrowing. Weed Research, 41, 211-228.

Lieven, J. & Lucas J.-L., 2009. Contribution des méthodes de luttes mécaniques intégrées des Grandes Cultures oléagineuse. Cetiom. Approches de la protection intégrée des cultures, 16 :3.

Reddiex, S.J., Wratten, S.D., Hill G.D., Bourdôt, G.W., Frampton, C.M, 2001. Evaluation of mechanical weed management techniques on weed and crop populations. New Zealand Plant Protection, 54, 174-178

Stiefel W., Popay A.I., 1990. Weed control in organic arable crops. Proc. 43rd New Zealdand Weed and Pest Control Conference, 138-141.

Tei F., Stagnari F., Granier A., 2002, Preliminary results on physical weed control in processing spinach. 5th EWRS Workshop on Physical Weed Control, Pisa, Italy, 11-12 Mars 2002.

Valantin-Morison M., Guichard L. et Jeuffroy M.H, 2008. Comment maîtriser la flore adventice des grandes cultures à travers les éléments de l'itinéraire technique ? Innovations Agronomiques, 8, 27-41

Ouvrages :

Dore, T., Le bail, M., Martin, P., Ney, B. et Roger-estrade J., 2006. L'agronomie aujourd'hui. Versailles: Editions QUAE.

Griffon M., 2013. Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ? Versaille : Edition Quae.
ITAB, 2005. Maîtriser les adventices en grandes cultures biologiques. Paris: Guide Tech
Itab.

Loyat J., 2013. Agricultures du monde : les questions qui font peur, les solutions pour agir durablement. Paris: Édition France agricole.

Munier-Jolain, N., Chauvel, B. et Gasquez, J., 2005. Stratégies de production intégrée contre les adventices des cultures : le retour de l'agronomie. Dans: Lavoisier, éd. Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement. Paris: Editions TEC & DOC, pp. 411-430.

UNILET, 1998. Pois pour la transformation - Guide de culture.

Sites internet :

[1] Triskalia, 2014. Nos métiers. [En ligne]
Disponible sur : http://wwww.triskalia.fr
Consulté le 05/03/2014

[2] Agri-confiance, 2014. Assurer la traçabilité du champ à l'assiette et de l'assiette au champ ! [En ligne]. Disponible sur : http://www.agriconfiance.coop/assurer-la-tracabilite-et-la-qualite.php. Consulté le 11.03.2014

[3] UNILET, 2008. La filière des légumes en conserve et surgelés. [En ligne]
Disponible sur : http://www.anifelt.com/pdf/UNILET-Presentation-cst-anifelt-3-juillet.pdf Consulté le 15.03.2014

[4] Actu-environnement, 2009.Les enjeux de l'agriculture de demain. [En ligne]. Disponible sur : http://www.actu-environnement.com/ae/news/enjeux_agriculture_demain_7881.php4 Consulté le 25.03.2014

[5] Chambre d'agriculture de Normandie, 2014. Présentation synthétique du référentiel de l'agriculture raisonnée. [En ligne] Disponible sur : http://partage.cra-normandie.fr/r_agr_raison/cc_synthese.pdf
Consulté le 21.06.2014

[6] Chambre d'agriculture champagne Ardenne, 2014. Agriculture intégrée. Valoriser l'agronomie pour des systèmes plus autonomes. [En ligne] Disponible sur :
http://www.marne.chambagri.fr/fileadmin/documents/internet/optimiser_productions/grandes_cultures/Guide_pratique_agriculture_integree_2013.pdf
Consulté le 21.06.2014

[7] Chaire-aei.fr, 2014. CHAIRE AEI : Agriculture Ecologiquement Intensive. [En ligne]
Disponible sur : http://www.chaire-aei.fr/
Consulté le 22.06.2014

[8] Le SAGE Blavet, 2014. La qualité de l'eau. [En ligne].. Disponible sur : http://www.sage-blavet.fr/. Consulté le 26.06.2014

[9] Agro-transfert, 2007. Des parcelles plus propres avec moins d'herbicides grâce à des systèmes de cultures intégrés fondés sur l'agronomie. [En ligne]. Consulté le 28.04.2014
Disponible sur :
file:///C:/Documents%20and%20Settings/zz011094/Mes%20documents/Downloads/Des%20parcelles%20plus%20propres%20avec%20moins%20d'herbicides.pdf

[10] Techno-science, 2014. Désherbage (agricuture). [En ligne]. Consulté le 09.05.14
Disponible sur : http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3461

[11] Cuma Ouest, 2005. Techniques alternatives de désherbage. FDcuma des Pays de la Loire et FRcuma Ouest. [En ligne].Disponible sur :
www.synagri.com/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/04268/$File/050919067d%C3%A9pliantd%C3%A9shalt200 5.pdf?OpenElement
Consulté le 28.05.2014

[12] Cetiom, 2012. Désherber les grandes cultures. [En ligne]. Disponible sur :
//www.cetiom.fr/fileadmin/cetiom/Cultures/Colza/desherbage/desherber_mecaniquement_grandes_cultures.pdf
Consulté le 28.05.2014

[13] Chambre d'Agriculture de Bretagne, 2011. Le binage des cultures en agriculture biologique. [En ligne]. Disponible sur :
http://www.bretagne.synagri.com/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/16948/$File/binage.pdf?OpenElement. Consulté le 04.06.2014

[14] Arvalis, 2012. La bineuse, un outil adapté à une large gamme de sols. [En ligne]. Disponible sur : http://www.arvalis-infos.fr/view.jspz?obj=arvarticle&id=9615&syndtype=null&hasCookie=false&hasRedirected=true
Consulté le 24.04.2014

[15] Schaub C., 2010. Mieux connaître les mauvaises herbes pour mieux maitriser le désherbage. Rapport Agrimieux et Chambre d'Agriculture du Bas Rhin. [En ligne]
Disponible sur : http://www.bas-rhin.chambagri.fr/fileadmin/documents/Environnement-Innovation/mauvaises_herbes.pdf.
Consulté le 22.03.2014

[16] Agro-transfert, 2007. La herse étrille. [En ligne]. Disponible sur :
file:///C:/Users/Marine/Downloads/La%20herse%20etrille%20(1).pdf. Consulté le : 04.04.2014

[17] Arvalis, 2012. Herse étrille : déracine les plantules, même en sols caillouteux. [En ligne].
Disponible sur : http://www.arvalis-infos.fr/view-9611-arvarticle.html?region=
Consulté le 24.04.2014

[18] IFV, 2009. Alternatives au désherbage chimique sous le rang : désherbage mécanique. [En ligne]. Disponible sur :
http://www.vignevin.com/fileadmin/users/ifv/publications/A_telecharger/Itin21_AlternativDesherbageChim.pdf
Consulté le 04.06.2014

[19] Agro-transfert, 2007. Les conditions de réussite du désherbage mécanique. [En ligne]. Disponible sur :
file:///C:/Users/Marine/Downloads/Fiche%20generique%20desherbage%20mecanique.p
Consulté le : 22.06.2014

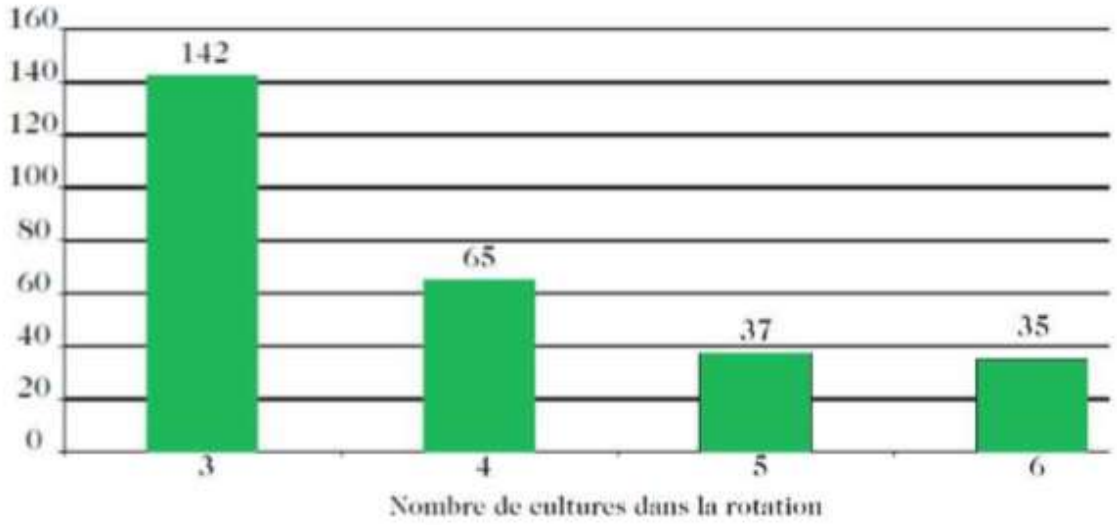
[20] ITB. Extension d'usage pour le Centium 36 CS : un nouvel herbicide de postlevée pour la betterave. [En ligne] Disponible sur :
http://www.itbfr.org/apps/accesbase/bindocLoad2.asp?d=24879&t=0&uid=57305290&sid=57305290&idk=22980&idobj=ddEFC7Gm. Consulté le 14 août 2014.

[21] DRIAAF Ile de France. Méthode de calcul des IFT par exploitation et des IFT de référence dans le cadre du dispositif FERME. [En ligne].
Disponible sur : http://driaf.ile-de-france.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_presentation_IFT_cle4535d3.pdf
Consulté le 10.08.2014

[22] AGROBIO 35, 2011. Comparaison de différentes légumineuses à graines biologiques en Ille et Vilaine. [En ligne]. Disponible sur :
http://www.interbiobretagne.asso.fr/upload/File/Recherche/Grandes_cultures/Resultats_2011/BrochureGrandesCultures-2011-LegumineusesGraines.pdf
Consulté le 09.07.2014

[23] AGROBIO Poitou-Charentes, 2009. Bulletin technique du réseau bio Poitou-Charentes. [En ligne]. Disponible sur : http://www.penser-bio.fr/IMG/pdf/L_auxiliaire_bio_No4_juin_2009.pdf
Consulté le 11.07.2014

ANNEXE I - Nombre d'adventices par m² avant le semis de céréales en fonction de la longueur de la rotation (source : C. David dans guide ITAB, 2005)



ANNEXE II - Stade d'utilisation de la herse étrille et houe rotative sur les différentes cultures

(Source : Agrobio Poitou-Charente, 2009)

ANNEXE III – Itinéraires techniques de la culture d'épinards sur la parcelle de Noyal-Pontivy (EARL du Beau Village)

Conduite de désherbage mixte avec un ou deux passages de herse au stade 4 et 6 feuilles vraies de l'épinard et sans rattrapage herbicide en post-levée

Conduite de désherbage mixte avec un ou deux passages de herse au stade 4 et 6 feuilles vraies de l'épinard et un seul rattrapage herbicide en post-levée

Conduite de désherbage tout chimique (pratique de l'agriculteur) sur le reste de la parcelle comprenant 2 rattrapages herbicides en post-levée

ANNEXE IV – Itinéraires techniques de la culture de pois sur la parcelle située à Loudéac (1) et sur la parcelle située à Trévé (2).

1 - Parcelle « La ville Calair » - Loudéac (SCA Le Bihan Gloux)

Opérations		**Désherbage mixte**		**Désherbage tout chimique**
Traitement de sol contre le sclérotinia	18/04/14	Contans WG 2 kg	18/04/14	Contans WG 2 kg
Semis	19/04/14	Variété Fabio	19/04/14	Variété Fabio
Désherbage post-semis pré-levée	19/04/14	Challenge 600 1.5 l Centium 0.2 l	19/04/14	Challenge 600 1.5 l Centium 0.2 l
Fumures minérales	19/04/14	Sulfate de potasse 250 kg Meatracime 250 kg	19/04/14	Sulfate de potasse 250 kg Meatracime 250 kg
Désherbage post-levée	17/05/14	Passage de herse au stade 8-10 cm du pois	23/05/14	Basagran 0.8 kg
Fongicides (mildiou, anthracnose)	25/05/14	Amistar 0.8 l Lambada 0.062 l	25/05/14	Amistar 0.8 l Lambada 0.062 l
Fongicides	13/06/14	Switch 0.8 kg (sclérotinia, botritys) Cercobin 1.6 l (sclérotinia) Sticman 0.15 l (adjuvant)	13/06/14	Switch 0.8 kg (sclérotinia, botritys) Cercobin 1.6 l (sclérotinia) Sticman 0.15 l (adjuvant)
Insecticide	13/06/14	Okapi 1.25 l (pucerons)	13/06/14	Okapi 1.25 l (pucerons)
Récolte		**10/07/14**		**10/07/14**

2 – Parcelle « La ville Rouault » - Trévé (EARL de Penhouedo)

Opérations		**Désherbage mixte**		**Désherbage tout chimique**
Fumures minérales	20/04/14	Sulfate de potasse 200 kg	20/04/14	Sulfate de potasse 200 kg
Semis	22/04/14	Variété ZONDA D9732	22/04/14	Variété ZONDA D9732
Désherbage post-semis pré-levée	24/04/14	Challenge 600 1.4 l Centium 0.1 l	24/04/14	Challenge 600 1.4 l Centium 0.1 l
Fumures minérales	16/05/14	Ammonitrate 33.5 – 150 kg	16/05/14	Ammonitrate 33.5 – 150 kg
Insecticide (pucerons)	25/05/14	Decis protech 0.4 l Sticman (adjuvant) 0.1 l	25/05/14	Decis protech 0.4 l Sticman (adjuvant) 0.1 l
Fongicides (mildiou, anthracnose)	25/05/14	Amistar 0.8 l	25/05/14	Amistar 0.8 l
Désherbage post-levée	30/05/14	Passage de herse au stade 8-10 cm du pois	30/05/14	Basagran 0.8 kg
Fongicides	21/06/14	Switch 0.8 kg (sclérotinia, botritys) Cercobin 1.2 l (sclérotinia) Sticman 0.15 l (adjuvant)	21/06/14	Switch 0.8 kg (sclérotinia, botritys) Cercobin 1.6 l (sclérotinia) Sticman 0.15 l (adjuvant)
Insecticide	21/06/14	Okapi 1.2 l (pucerons)	21/06/14	Okapi 1.2 l (pucerons)
Récolte		**15/07/14**		**15/07/14**

ANNEXE V – Résultats des tests de Wilcoxon pour les données adventices de la parcelle « La ville Calair » à Loudéac

Résultats des tests de Wilcoxon bilatéraux qui comparent les densités de matricaires lors des deux relevés. Comparaison de la densité de matricaires de la modalité « Témoin » du 22.05.14 et du 07.07.14 (a), densité de matricaires de la modalité « Désherbage mixte » du 22.05.14 et du 07.07.14, densité de matricaires de la modalité « Désherbage tout chimique » du 22.05.14 et du 07.07.14

W	25
p-value	0.5615
alpha	0.05

a

W	45.5
p-value	0.757
alpha	0.05

b

W	44
p-value	0.5823
alpha	0.05

c

Résultats des tests de Wilcoxon unilatéraux qui comparent les densités de matricaires des 3 conduites de désherbages. Comparaison de la densité de matricaires de la modalité « désherbage tout chimique » avec la modalité « désherbage mixte » (a), comparaison de la densité de matricaires de la modalité « désherbage tout chimique » avec le témoin (b), comparaison de la densité de matricaires de la modalité « désherbage mixte » avec le témoin (c)

W	28
p-value	**0.0312**
alpha	0.05

a

W	9.5
p-value	**0.002591**
alpha	0.05

b

W	30
p-value	0.1961
alpha	0.05

c

Résultats des tests de Wilcoxon unilatéraux qui comparent les densités totales d'adventices des 3 conduites de désherbages. Comparaison de la densité d'adventices de la modalité « désherbage tout chimique » avec la modalité « désherbage mixte » (a), comparaison de la modalité « désherbage tout chimique » avec le témoin (b), comparaison de de la modalité « désherbage mixte » avec le témoin (c)

W	77
p-value	**0.02101**
alpha	0.05

a

W	13
p-value	**0.008497**
alpha	0.05

b

W	30.5
p-value	0.2112
alpha	0.05

c

ANNEXE VI – Résultats des tests de Wilcoxon pour les données adventices de la parcelle « La ville Rouault » à Trévé

Résultats des tests de Wilcoxon unilatéraux qui comparent les densités totales d'adventices des 3 conduites de désherbages. Comparaison de la densité totale des adventices de la modalité « désherbage tout chimique » avec la densité totale des adventices du témoin (a), comparaison de la densité totale des adventices de la modalité « désherbage tout chimique » avec la modalité « désherbage mixte » (b), comparaison de la densité totale des adventices de la modalité « désherbage mixte » avec la densité totale des adventices du témoin (c)

W	79
p-value	**0.01155**
alpha	0.05

W	67
p-value	**0.03038**
alpha	0.05

W	37.5
p-value	0.2794
alpha	0.05

ANNEXE VII – Calculs de l'IFT herbicides pour l'essai épinards

Opérations		**Sans rattrapage**		**Avec rattrapage**		**Tout chimique**
Semis	30/03/14	Variété Matisse	30/03/14	Variété Matisse	30/03/14	Variété Matisse
Désherbage post semis-prélevée	02/04/14	Centium CS 0.2 l Varape 1 kg	02/04/14	Centium CS 0.2 l Varape 1 kg	02/04/14	Centium CS 0.2 l Varape 1 kg
Désherbage post levée 1	18/04/14	Non réalisé	18/04/14	Fasnet 0.9 l Heliosol 0.3 l	18/04/14	Fasnet 0.9 l Heliosol 0.3 l
Désherbage post levée 2	28/04/14	Passage de herse à 4 feuilles vraies	28/04/14	Passage de herse à 4 feuilles vraies	28/04/14	Aucun traitement
Désherbage post levée 3	15/05/14	Passage de herse à 6 feuilles vraies	15/05/14	Passage de herse à 6 feuilles vraies	14/05/14	Fasnet 1 l Heliosol 0.3 l
IFT		**2.3**		**2.6**		**3**

ANNEXE VIII – Calculs de l'IFT herbicides pour l'essai pois

1 - Parcelle « La ville Calair » - Loudéac (SCA Le Bihan Gloux)

Opérations		**Désherbage mixte**		**Désherbage tout chimique**
Désherbage post-semis pré-levée	19/04/14	Challenge 600 1.5 l Centium 0.2 l	19/04/14	Challenge 600 1.5 l Centium 0.2 l
Désherbage post-levée	17/05/14	Passage de herse au stade 8-10 cm du pois	23/05/14	Basagran 0.8 kg
IFT Herbicides		**1.6**		**2.2**

2 - Parcelle La ville Rouault – EARL DE Penhouedo

Opérations		**Désherbage mixte**		**Désherbage tout chimique**
Désherbage post-semis pré-levée	24/04/14	Challenge 600 1.4 l Centium 0.1 l	24/04/14	Challenge 600 1.4 l Centium 0.1 l
Désherbage post-levée	30/05/14	Passage de herse au stade 8-10 cm du pois	30/05/14	Basagran 0.8 kg
IFT Herbicides		**1.1**		**1.7**

ANNEXE IX – Propositions de notations à réaliser pour l'essai en pois

Identification et comptage des adventices	Pour chaque chaque notation, 10 zones de 0.25 m² sont notées. Sont notés pour chaque relevé et chaque espèce, le stade, le nom, le nombre d'individus et leur position (rang, inter-rang). **Objectif :** observer une réduction significative de la population d'adventices après passages de herse.
Notation de la date de floraison pour chaque modalité	**Objectif :** vérifier qu'un passage de herse ne retarde pas le cycle de culture
Notation des maladies en cours du cycle de culture	**Objectif :** déterminer si le passage de herse peut provoquer l'apparition de maladies.
Tendérométrie	Réaliser une tendérométrie tous les jours pour chaque modalité (1 à 2 semaine avant la récolte) **Objectif :** vérifier qu'un passage de herse ne provoque pas de différence de tendérométrie par rapport à une conduite de désherbage chimique
Mesure des composantes de rendement	Les comptages des composantes du rendement (nombre de grains / gousse, nombre de gousses / plante, poids des grains / gousse) seront réalisés pour chaque modalité sur 10 rangs, en prenant une longueur de 1 m de long, choisis aléatoirement sur la zone. **Objectif :** permettre d'expliquer les éventuelles différences de rendement entre les modalités.
Evaluation du rendement et de la qualité	Récolter toutes les modalités y compris le témoin à l'aide des machines de récolte de l'OP. Déterminer le taux de déchets en usine et sa composition. **Objectif :** vérifier qu'un passage de herse engendre une perte de rendement.

ANNEXE X – Evolution du coût d'utilisation de la herse étrille avec la surface

Surface	Coût herse de 6 m
10	78,90
20	47,00
30	36,37
40	31,05
50	27,86
60	25,73
70	24,21
80	23,08
90	22,19
100	21,48
110	20,90
120	20,42
130	20,01
140	19,66
150	19,35
160	19,09
170	18,85
180	18,64
190	18,46
200	18,29

Surface	Coût herse de 12 m
10	305,75
20	156,90
30	107,28
40	82,48
50	67,59
60	57,67
70	50,58
80	45,26
90	41,13
100	37,82
110	35,11
120	32,86
130	30,95
140	29,31
150	27,90
160	26,66
170	25,56
180	24,59
190	23,72
200	22,94

Diplôme : Diplôme d'ingénieur de l'ESA d'Angers
Spécialité : Production Végétale et Agroécologie
Spécialisation / option : Fruits Légumes Alimentation et Marchés
Enseignant référent : Annie SALAT

Auteur(s) : Marine PORCHET
Date de naissance : 07.04.1991

Nb pages : 41 **Annexe(s) :** 10

Année de soutenance : 2014

Organisme d'accueil : Service légumes industrie de TRISKALIA

Adresse : Rue de la corderie 22600 Loudéac

Maître de stage : Sylvain LE SAOUT

Titre français : Conception et évaluation d'itinéraires techniques AEI intégrant le désherbage mécanique en cultures légumières d'industrie.

Titre anglais : Conception and evaluation of agroecological strategies including mechanical weed control for processing vegetables.

Résumé : Triskalia intègre la chaire AEI qui rassemble écoles et entreprises (Agrocampus Ouest, le groupe ESA, Oniris, Agrial, Terrena et Triskalia) afin de favoriser les échanges entre la recherche et les entreprises. Mon stage s'inscrit dans le cadre de la chaire AEI en intégrant l'un des axes de recherche : le développement de pratiques alternatives de gestion des adventices. L'objectif de ce travail est d'évaluer les conséquences techniques mais aussi économiques de divers itinéraires techniques de pois ou d'épinards destinés à l'industrie (surgélation, conserve) intégrant un ou plusieurs passages d'outil de désherbage mécanique, ici la herse étrille. Pour cela, des essais ont été mis en place directement chez des producteurs. Mon travail a permis de constater qu'un passage de herse étrille en culture d'épinards pouvait être à l'origine d'une perte de qualité du produit. Cette dégradation de la qualité est due principalement à la présence de fragments de feuilles mortes d'épinards et de plastiques dans le lot d'épinards. Ceci est problématique car l'usine, aujourd'hui, ne dispose pas de moyens pour trier ces déchets. D'autre part, une perte de plants d'épinards a été observée après le passage de herse. Si cette technique devait se généraliser, une augmentation de la densité de semis serait nécessaire. De nouveaux essais en épinards d'automne sont en cours afin notamment de quantifier cette perte de plants. Concernant les essais en culture de petits pois, le passage de herse n'a pas permis de réduire de manière significative la population d'adventices. D'ailleurs, sur l'une des parcelles d'essais, la pression en matricaires a eu pour conséquence l'abandon de la moitié de la parcelle. Pour les deux parcelles d'essais, une baisse de rendement a été constatée en comparaison à une conduite de désherbage tout chimique. Toutefois une perte de revenu pour le producteur n'a pas toujours été constatée, la tendérométrie permettant dans certains cas de compenser la baisse la de rendement.

Abstract : In order to promote exchanges between research and companies, Triskalia has integrated AEI which gathers both schools and companies such as Agrocampus Ouest, ESA group, Oniris, Agrial, Terrena and Triskalia. My internship was part of the AEI group by integrating one of the research approaches, which was: development of alternatives practises of weeds management. The goal of this study was to assess both technical and economic consequences of various agroecological strategies for both peas and spinach, which are reserved for industry (freezing, can) by integrating one or more mechanical weed control's tool. Here was the tine harrow. For that, many trials have been carried on directly to growers'farms. My work has permitted to notice that product's quality could reduce with the harrow in spinach's culture. This quality degradation is mainly due to presence of fragments of dead leaves of spinach and plastics. Because of the fact that today, factory is not able to sort wastes, this is a real problem. Moreover, a loss of spinach seedlings was observed after the utilization of harrow. If this method would become more common, it would be necessary to increase the density of the seeding. New trials for autumn spinach are carried on in order to quantify this loss of spinach seedlings. Concerning trials for peas culture, the use of the harrow did not allow to reduce the weeds population. By the way, on one of the trial's plot, the pression in wild chamomile had for consequence, the abandonment of the half plot. For the two trials, a yield decreasing has been noticed in comparison with a chemical weed control. However, we couldn't notice an economical loss for the grower because, in some case, the pea tenderemoetry is able to offset the yield decrease.

Mots-clés : Agroécologie, adventices, désherbage mécanique, pois, épinards.
Key Words : Agroecology, weeds, mechanical weed control, peas, spinach.