

## DEPHY Carotte : Construire et évaluer des systèmes légumiers à dominante carotte permettant de réduire l'utilisation des pesticides d'au moins 50%

Vincent Faloya, Christine Beasse, N. Desmouceaux, F. Vial, Emilie Casteil,  
Cécile Augrain, Christian Genty

### ► To cite this version:

Vincent Faloya, Christine Beasse, N. Desmouceaux, F. Vial, Emilie Casteil, et al.. DEPHY Carotte : Construire et évaluer des systèmes légumiers à dominante carotte permettant de réduire l'utilisation des pesticides d'au moins 50%. Innovations Agronomiques, INRAE, 2019, 76, pp.291-310. hal-02619333

HAL Id: hal-02619333

<https://hal.inrae.fr/hal-02619333>

Submitted on 25 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## DEPHY Carotte : Construire et évaluer des systèmes légumiers à dominante carotte permettant de réduire l'utilisation des pesticides d'au moins 50%

Faloya V.<sup>1</sup>, Beasse C.<sup>2</sup>, Desmouceaux N.<sup>3</sup>, Vial F.<sup>3</sup>, Casteil E.<sup>4</sup>, Augrain C.<sup>4</sup>, Genty C.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> INRA – UMR IGEPP, Domaine de la motte, BP 35027, F-35650 Le Rheu Cedex

<sup>2</sup> INVENIO, rue de l'alliance, F-40160 Ychoux

<sup>3</sup> SILEBAN, 19, route de Cherbourg, F-50760 Gatteville-le-Phare

<sup>4</sup> Association Carottes de France, MIN de Brienne, 110 quai de Paludate, F-33800 Bordeaux

**Correspondance :** emilie.casteil@carottes-de-france.fr

### Résumé

L'évolution des attentes sociétales, depuis le début des années 2000, a conduit les politiques européennes et nationales à adopter un arsenal législatif visant à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires afin d'en limiter les impacts. Ces différents plans ont acté l'objectif d'une réduction de 50% de l'usage des pesticides.

C'est dans cet objectif l'AOP nationale Carottes de France a porté un projet visant à construire et évaluer des systèmes légumiers à dominante carotte permettant de réduire l'utilisation des pesticides d'au moins 50 %. Le projet s'appuie sur un réseau de huit systèmes de culture innovants, situés sur trois sites de production parmi les deux principales régions de production de carotte française pour le marché de frais (la Nouvelle Aquitaine et la Normandie). Ces systèmes de culture, co-construits avec la profession dès 2012, ont été mis en test de 2013 à 2018. Les partenaires sont l'AOPn Carottes de France, l'Inra, Invenio et le Sileban.

Les leviers et combinaisons de leviers étudiés ont, au moins partiellement, donné satisfaction sur le volet environnemental et sur la gestion des bioagresseurs. Toutefois, l'équilibre économique des systèmes de culture est actuellement difficilement atteint et certains leviers proposés ne permettent pas de répondre à la demande des marchés (créneaux de production, qualité visuelle de certains produits) et à l'organisation actuelle de la filière. Aujourd'hui, afin d'amorcer le transfert vers les producteurs, de nouveaux leviers et de nouvelles combinaisons de leviers doivent être testés, et les règles de décisions doivent être affinées. Ce travail fera l'objet d'un second projet DEPHY Expé : AlterCarot qui sera mené de 2019 à 2024.

**Mots-clés :** Carotte, Pesticides, Systèmes de culture innovants, Méthodes alternatives, DEPHY Expé, Reconception, Désherbage

**Abstract:** DEPHY-Carrot: Is it possible to reduce by 50% the pesticide level in cropping systems with carrot as the main crop?

The evolution of societal expectations, since the beginning of the 2000s, has led European and national policies to adopt a legislative arsenal aimed at reducing the use of plant protection products in order to limit their impacts. These different plans have set the goal of a 50% reduction in pesticide use. It is for this purpose that the producers of the two main French carrot production areas for the fresh market (New Aquitaine and Normandy) have built a project to construct and evaluate carrot-dominated vegetable systems that reduce the use of pesticides by at least 50%. The project relies on a network of eight innovative cropping systems, located on three production sites, and conducted from 2013 to 2018.

The levers and combinations of levers studied have, at least partially, given satisfaction on the environmental aspect and the management of pests. However, the economic balance of cropping systems is currently difficult to achieve and some levers proposed do not meet the demand of markets (production niches, visual quality of certain products) and the current organization of the sector. Today, in order to begin the transfer to producers, new levers and combinations of levers must be tested, and decision rules need to be refined. This work will be the subject of a second project DEPHY Expé: AlterCarot which will be conducted from 2019 to 2024.

**Keywords :** Carrot, Pesticides, Innovative cropping systems, Alternative methods, DEPHY Expé, Redesign, Weeding control

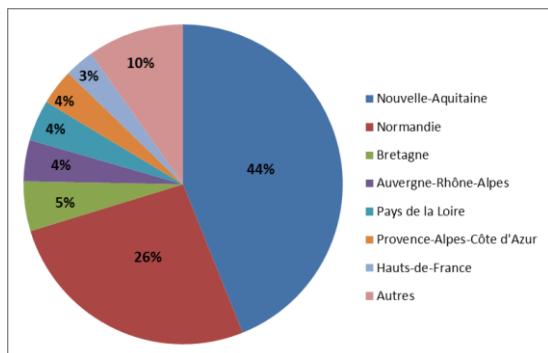
## Introduction

Le développement des produits phytosanitaires dans les années 1950 à 1980, puis la mise en marché régulière de nouvelles matières actives a permis de doter les agriculteurs de moyens d'intervention directs, rapides et très efficaces sur les différents bioagresseurs qui mettaient en péril les productions agricoles. Ceci a conduit à privilégier les pratiques permettant d'atteindre les objectifs de rendements élevés au détriment de celles limitant le risque phytosanitaire puisqu'il devenait possible de traiter efficacement les symptômes lorsqu'ils apparaissaient. L'ensemble des systèmes de culture pratiqués sont ainsi devenus rapidement dépendants de cette utilisation massive de pesticides<sup>1</sup>. Dès le début des années 2000, une prise de conscience des risques potentiels pour la santé, pour l'environnement mais également pour les systèmes alimentaires a entraîné une défiance des consommateurs et des citoyens que les risques soient avérés, ou seulement plausibles. Dès 2005, l'expertise scientifique « Pesticides, agriculture et environnement », conduite par l'Inra et le Cemagref, a montré que les impacts environnementaux étaient très difficiles à quantifier et que par conséquent, il était nécessaire de réduire les utilisations de pesticides afin d'en limiter les impacts (Aubertot et al., 2005). Pour ce faire, un arsenal législatif a été mis en place tant à l'échelle européenne (directive cadre sur l'eau, directive cadre sur les pesticides, norme communautaire de lutte intégrée, révision de la PAC...) qu'à l'échelle nationale (plan interministériel de limitation des risques liés aux pesticides PIRP, plan Ecophyto 1, Ecophyto 2, Ecophyto 2+...). Ces différents plans ont acté l'objectif d'une réduction massive de 50% de l'usage des pesticides.

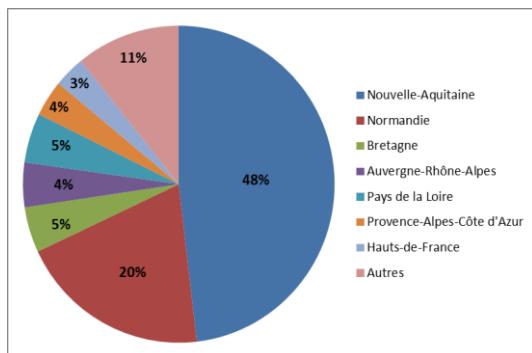
L'étude Ecophyto R&D conduite par l'INRA à la demande des Ministères en charge de l'agriculture et de l'environnement (Butault et al., 2010) a montré que l'imbrication de l'utilisation des pesticides dans un ensemble de modalités techniques constituant les itinéraires techniques et les systèmes de culture des différentes productions, entraîne une complexité des changements nécessaires pour atteindre ces objectifs. Une mise en œuvre de solutions agronomiques existantes (leviers), sans bouleversements majeurs des systèmes de culture, ne permettraient d'atteindre qu'une baisse de l'ordre d'un tiers de l'utilisation de pesticides. Pour aller au-delà, une modification importante des systèmes de culture est nécessaire par la combinaison de nombreux leviers à effets partiels. Si un certain nombre de leviers sont connus ou étudiés séparément, leurs combinaisons doivent encore être réalisées et étudiées afin de caractériser leur cohérence agronomique, leurs niveaux d'efficacité globale et leurs impacts sur les performances des systèmes de culture ainsi conçus.

Les producteurs de légumes de plein champ destinés au marché du frais sont placés devant la contradiction forte de la double exigence des citoyens et des consommateurs de réduction significative des quantités de produits phytosanitaires utilisés tout en maintenant une production et une distribution de produits frais sans aucun défaut visuel et se conservant longtemps. Ceci est particulièrement le cas des productions commercialisées lavées comme la carotte où le moindre symptôme de bioagresseur est immédiatement visible et peut entraîner un refus du produit.

L'Aquitaine et la Basse-Normandie sont les deux principales régions de production de la carotte pour le marché du frais (près de 70% de la surface et de la production nationales (Figures 1a et 1b)) et sont complémentaires dans les calendriers de production.



**Figure 1a :** Production (T) 2018 de carotte par Régions métropolitaines (Source: AGRESTE-DISAR-SAIKU)



**Figure 1b :** Surface (ha) 2018 de carotte par Régions métropolitaines (Source: AGRESTE-DISAR-SAIKU)

Historiquement, la culture de carotte est ancrée dans ces deux régions et a permis l'organisation de la production tant au niveau régional qu'au niveau national. Les producteurs de ces deux bassins de production ont contribué à créer l'Association d'Organisation de Producteurs nationale (AOPn) Carottes de France. Elle finance des programmes R&D et coordonne des travaux d'expérimentation afin d'acquérir et de partager des références. Chaque région a structuré une véritable filière de production allant de l'approvisionnement à la commercialisation. Dans cette organisation, la carotte est un des piliers de la gamme de productions régionales autour desquels est organisé l'ensemble des approvisionnements, des collectes et de la commercialisation de tous les légumes.

En plus de l'objectif de réduction de l'usage des produits phytosanitaires visant à répondre au plan Ecophyto, il existe aussi un enjeu socio-économique de maintien de certaines productions légumières, dont la carotte. En effet, l'interdiction de matières actives (désinfection du sol, insecticides ou herbicides) fragilise la production et crée des situations d'impasses techniques susceptibles de remettre en cause la pérennité des exploitations.

Il est donc primordial de développer des systèmes de culture performants, économiques en intrants et durables qui garantissent un fort potentiel de production aux acteurs de première mise en marché de cette filière.

## 1. Présentation de l'expérimentation

### 1.1 Objectifs et problématiques traitées

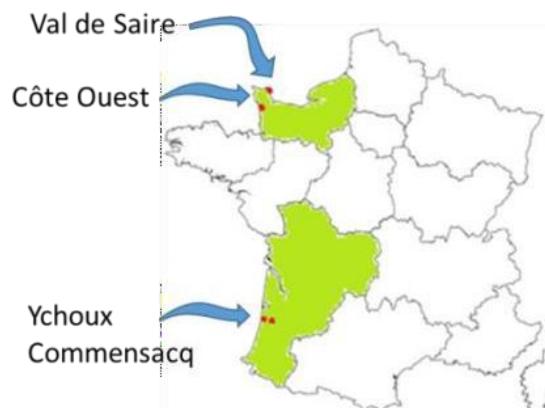
En réponse à ces enjeux environnementaux de réduction importante de l'utilisation des produits phytosanitaires et socio-économiques de maintien ou d'amélioration de la durabilité des productions, des marchés et des emplois de la filière légumière, quatre partenaires (AOPn Carottes de France, Inra, Invenio et Sileban) se sont mobilisés pour bâtir une expérimentation système afin de construire et d'évaluer des systèmes légumiers à dominante carotte permettant de réduire l'utilisation des pesticides d'au moins 50%. Les objectifs généraux du projet sont :

- D'évaluer la pertinence des leviers utilisés et de leurs combinaisons ;
- D'évaluer les performances multicritères des prototypes de systèmes de culture innovants ;
- De transférer les résultats vers la production en alimentant les réseaux existants avec des références validées localement afin d'accompagner le maintien ou le développement des filières.

Les bioagresseurs ciblés dans les systèmes de culture construits sont principalement les bioagresseurs telluriques incluant maladies, ravageurs et adventices. Les principales espèces ciblées seront citées ci-dessous dans la présentation des sites expérimentaux.

## 1.2 Les sites expérimentaux

Le projet s'appuie sur un réseau de quatre parcelles, deux situées en Normandie et deux en Aquitaine.



**Figure 2 : Localisation des sites expérimentaux**

Les parcelles d'Aquitaine sont situées chez des producteurs au sein du terroir des Landes de Gascogne, la plus importante zone de production nationale de carotte pour le marché du frais. Ce terroir est relativement homogène, tant pour les conditions pédoclimatiques que pour les caractéristiques des systèmes de culture. Les carottes y sont cultivées en rotation (une carotte tous les 5 ou 6 ans) avec du maïs grain et d'autres légumes sous contrat destinés à l'industrie (haricot vert ou maïs doux). Les carottes sont récoltées de mai (créneau primeur) à mars de l'année suivante. A partir de novembre, les carottes sont enfouies dans le sol par labour, afin d'assurer leur conservation. Les exploitations sont de très grande taille (autour de 600 ha) avec de très grandes parcelles (en moyenne 20 ha). La conduite des cultures, y compris celle de la carotte, est fortement mécanisée. Les producteurs possèdent généralement leur propre usine de conditionnement de carotte. L'enjeu environnemental principal de la région est lié à la nature filtrante du sol et à la fragilité de l'environnement du bassin de production. Les pesticides et les nitrates peuvent potentiellement migrer vers la zone humide des grands lacs (Lac de Parentis, notamment), vers la zone vulnérable de la Leyre et à terme vers le bassin d'Arcachon. Le climat est océanique avec une tendance sèche en été. Les cultures d'été, comme la carotte, doivent donc être irriguées. Les sols sont constitués de sables humifères acides, riches en matière organique (RU 25 mm, pH 6 et 2,5 à 3 % de MO). Ils se ressuent donc facilement, rendant le travail du sol possible toute l'année. En revanche, ces sols sont propices aux vents de sable pouvant faire des dégâts aux cultures implantées. Les deux sites aquitains sont très proches et avec des rotations similaires, permettant ainsi d'avoir des pseudos répétitions climatiques. Dans les deux cas, le producteur est très impliqué dans le projet DEPHY Carotte : il est partie prenante de la conception des systèmes innovants, sa conduite culturale classique représente le système « Témoin agriculteur » qu'il pilote, il assure une partie des opérations techniques sur les parcelles et participe à la prise de décisions de conduite de l'ensemble des systèmes testés. Le fait que la carotte entre en rotation avec d'autres cultures sous contrat implique également fortement d'autres partenaires industriels dans le projet. Le site de Commensacq est localisé sur une parcelle de 8 ha. Il est entré dans le dispositif en 2014. Le site d'Ychoux est localisé sur un îlot de 24 ha. Il est entré dans le dispositif fin 2015.

Les pressions de bioagresseurs sont moyennes à fortes sur les deux sites. Le risque de maladies telluriques (*Pythium*) est important et parfois mal contrôlé. Certains bioagresseurs comme le *Sclerotinia*, les nématodes *Pratylenchus* et les noctuelles *Héliothis* et *Agrotis* sont polyphages et peuvent attaquer

plusieurs cultures de la rotation (carotte et haricot ou carotte, haricot et maïs). Enfin, la carotte, culture basse avec une faible vigueur en début de cycle, est très sensible à la compétition des adventices. La rotation historique basée sur des cultures d'été a sélectionné des espèces estivales dont certaines ont développé des résistances aux herbicides (digitaires notamment). Des adventices à risque pour la santé humaine comme le datura ou les morelles doivent être maîtrisées dans les systèmes. Enfin, des adventices émergentes comme le souchet sont à surveiller et contenir.

Les parcelles de Normandie sont situées dans deux des trois bassins de production de la carotte du département de la Manche.

Une parcelle est située chez un producteur dans le bassin de la Côte Ouest du Cotentin, sur la commune de Créances. Entrée dans le dispositif en 2013, elle a une superficie de 3000m<sup>2</sup>. Le producteur est très impliqué dans le projet, il pilote et réalise toutes les interventions sur le système « Témoin agriculteur », il assure une partie des opérations techniques sur les systèmes innovants en rupture en lien avec les décisions de conduite prises. Il commercialise une partie de ses carottes en Label Rouge.

La rotation est typique de la zone avec une alternance de carotte et de poireau pour des exportations hivernales destinées au marché du frais. Les carottes sont ainsi conservées au champ entre le mois de novembre et leur arrachage (jusqu'à fin mars pour certaines parcelles). Les produits issus de la zone de production peuvent se distinguer par plusieurs signes officiels de qualité, Label Rouge « carotte des sables » et IGP. Les exploitations de ce secteur sont de taille moyenne (30 à 80 ha), les parcelles sont souvent de très petites tailles (1 à 2 ha). La production est très organisée, la majorité des apports se faisant à deux organisations de producteurs. L'enjeu environnemental principal de la région est lié à la nature filtrante du sol. Ainsi, situé en bordure littorale sur des sols drainants, le secteur est particulièrement sensible au risque de lessivage de nitrates et de pesticides pouvant entraîner des pollutions aquatiques. En revanche, la production légumière a un effet très structurant sur l'entretien du territoire et du paysage (talus, haies...). Les bordures herbacées et arborées en pourtour de parcelles sont nombreuses et sources de biodiversité. Un bon équilibre doit être maintenu entre la production de légumes, une zone littorale dédiée à la pêche et aux productions conchyliocoles et des réserves naturelles gérées par le conservatoire du littoral. Le climat est océanique tempéré avec des risques de gel et de grêle très limités. Les sols sont sableux avec une faible réserve utile, basiques et pauvres en matière organique (RU 6 à 7 mm, pH 8,5 à 9 et moins de 1% de MO). Ils se ressument facilement, rendant le travail du sol possible une grande partie de l'année. En revanche, ces sols sont facilement compactés, des remontées de nappes d'eau sont possibles en hiver et au printemps et propices aux vents de sable pouvant faire des dégâts aux cultures implantées. De façon générale dans le bassin et plus spécifiquement dans la parcelle, les conditions climatiques, les faibles délais de retour et la conservation au champ sont très favorables aux bioagresseurs telluriques de la carotte (nématoïde à kyste *Heterodera carotae*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Sclerotinia* ...) qui peuvent provoquer de fortes pertes de production. La mouche de la carotte est également régulièrement présente sur les parcelles. Pour le poireau, les risques de bioagresseurs sont surtout foliaires (rouille, mildiou, alternariose, thrips). Les problèmes de mineuse et de mouches sont plus ponctuels mais parfois mal contrôlés. Enfin, la spécialisation du système de culture sur deux productions a sélectionné une flore adaptée à base de morelle noire, séneçon, chénopode, amarante, et pâturin. Le souchet, espèce invasive en forte expansion dans le bassin est peu présent sur la parcelle mais très présent aux alentours (parcelles voisines et talus) et doit donc être surveillé attentivement.

Une deuxième parcelle est située sur la station expérimentale du SILEBAN, à Montfarville, dans le bassin de production du Val de Saire. Le site est localisé sur une parcelle de 1 ha. Il est entré dans le dispositif début 2014. Le fait d'implanter cette parcelle sur la station expérimentale permet une prise de risque maximale avec la mise en place de pratiques de gestion très en rupture avec l'existant.

Ce bassin réalise une part importante des apports en légumes régionaux dont la carotte destinée au marché du frais. Les récoltes s'étalent entre septembre et fin avril avec une forte proportion de légumes conservés au champ en hiver. Les systèmes de culture de la zone sont bâti autour de 4 cultures légumières principales (carotte, poireau, chou et salade) ainsi que de céréales à paille et des cultures fourragères (maïs) et font intervenir une multitude de cultures légumières secondaires (navet, pomme de terre, céleri, persil...). Les céréales sont ainsi présentes avec un délai de retour de 3 ou 4 ans. Comme pour la parcelle de Créances, les risques de pollution liés à la migration des pesticides et autres intrants dans le sol ainsi que les prélevements d'eau à des fins agricoles sont des enjeux environnementaux forts pour la zone dans laquelle on retrouve pêche, conchyliculture, mytiliculture, tourisme et écotourisme. Le climat est océanique tempéré doux avec des risques de gel quasi nuls. Les sols sont limono-sableux, basiques et plutôt pauvres en matière organique (RU 15 mm, pH 8,2 et environ 2 % de MO). Ils sont assez drainants mais très sensibles à la battance et à la compaction. Des stagnations d'eau sont possibles en hiver et au printemps sur sol compacté limitant ainsi la présence de certaines cultures à ces périodes. Pour la carotte, les bioagresseurs principaux sont d'origine tellurique (*Pythium*, *Phytophthora*, *Sclerotinia* ...) et peuvent provoquer de fortes pertes de production. Les bioagresseurs aériens (*Oidium*, alternariose, pucerons) sont plus aisément contrôlés, tandis qu'une présence importante de la mouche de la carotte *Psila rosea* est observée sur ce bassin. Pour le poireau, les risques de bioagresseurs sont surtout foliaires (rouille, mildiou, alternariose, thrips). Les problèmes de mineuses et de mouches sont plus ponctuels mais parfois mal contrôlés. Pour les choux, *Mycosphaerella*, sclerotinioses, bactérioses, noctuelles et pucerons peuvent poser des problèmes de contrôle. Enfin, la parcelle est contaminée par une flore difficile : morelle noire, séneçon, stellaire, pâturin annuel et matricaire.

### 1.3 Les systèmes de cultures expérimentés

Sur l'ensemble des parcelles du réseau, deux systèmes de culture innovants, appelés Ecophyto + et Ecophyto 50 sont expérimentés et mis en regard d'un système de culture de référence. Dans 3 des 4 situations, la référence correspond au système de culture pratiqué par le producteur dans la parcelle expérimentale ou à proximité immédiate de celle-ci. Dans la 4<sup>ème</sup> situation, le système de référence est un système de culture mis en place chez un producteur et qui témoigne de l'évolution de la filière dans un contexte professionnel. Dans tous les cas, les cultures présentes dans la succession culturale du système de référence sont les cultures présentes classiquement dans la région de production.

Les objectifs assignés à chaque système de culture et leur hiérarchie sont précisés dans le Tableau 1. Les mêmes objectifs sont retenus pour les systèmes Ecophyto 50 et Ecophyto + mais avec des valeurs cibles différentes. Par exemple, pour les deux systèmes, l'objectif prioritaire est la réduction de l'IFT mais avec une valeur cible de 50% pour Ecophyto 50 et de plus de 50% pour Ecophyto +.

**Tableau 1 :** Les objectifs et les actions mises en œuvre sur les systèmes de culture

Objectifs	SdC Ecophyto 50	SdC Ecophyto +
1) Diminuer les IFT	50%	> 50%
2) Maintenir la marge de référence à l'échelle du SdC	Oui	Oui
3) Avoir une parcelle récoltable, maintenir les rendements	Oui Tolérance : - 5%	Actions sur les itinéraires techniques et intercultures uniquement  Oui Tolérance : -5% pour les légumes, -20% pour les autres cultures  Actions sur les itinéraires techniques et les successions culturales

Le cadre de contraintes est le même pour les deux systèmes expérimentés. Il s'agit ainsi pour chaque système de ne pas inclure de cultures légumières de diversification pour un maintien des organisations actuelles, et de s'insérer dans les filières locales. Pour la Normandie, la contrainte est également de conserver au moins 60% de légumes dans les rotations, soit trois ans sur cinq.

Les stratégies mises en œuvre dans ces systèmes s'appuient sur la modification des successions culturales et l'intensification de la biodiversité fonctionnelle d'une part et sur des modifications techniques dans les pratiques culturales mises en œuvre d'autre part : désherbage mécanique, pose de filets, utilisation de produits de biocontrôle... Le système Ecophyto 50 repose essentiellement sur des stratégies d'efficience et de substitution alors que la stratégie de reconception est introduite dans le système Ecophyto +.

En Aquitaine, les systèmes de culture Ecophyto 50 et Ecophyto + ont été conçus lors d'ateliers de co-conception animés par un spécialiste de ce type d'atelier et ont associé des chefs de culture d'exploitations produisant de la carotte, des experts des différentes cultures provenant d'instituts techniques et de CETA, et des partenaires du projet. Ces ateliers ont permis de définir les schémas décisionnels des systèmes de culture, de choisir les principaux leviers à mettre en œuvre et de commencer à définir les principales règles de décisions pour la mise en œuvre des techniques culturales. Le travail d'écriture des règles de décision s'est poursuivi tout au long du projet par ajustement des règles au fil de l'eau en fonction des cultures mises en place et des résultats obtenus chaque année. Les rotations de ces systèmes sont présentées sur les Figures 3 et 4.

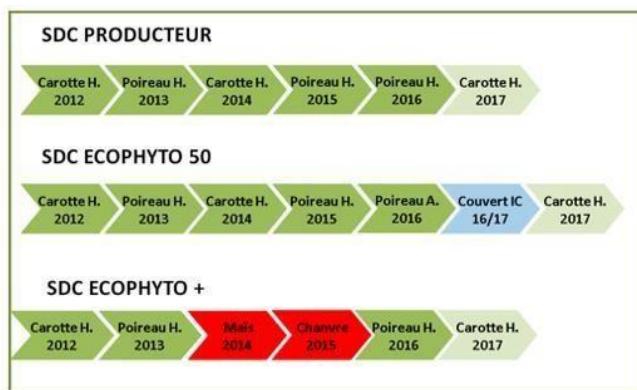
	2015	2016		2017		2018											
	S	O	N	D	J	F	M	A	S	O	N	D	J	F	M	A	J
<b>Agriculteur Ecophyto 50</b>	sol nu	maïs doux	désherbant	sol nu	carotte primeur	carotte saison	sol nu	maïs doux									
<b>Ecophyto +</b>	Orge	tagètes		carotte primeur	carotte saison	sol nu	maïs doux										

Figure 3 : Rotations mises en œuvre sur le site d'Ychoux

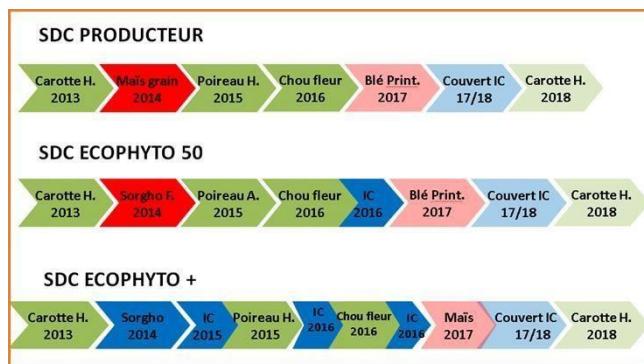
	1 : 2014	2 : 2015	3 : 2016	4 : 2017	5 : 2018												
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	J	S	A
<b>Agriculteur Ecophyto 50</b>	car saison	seigle avoine	maïs semence	Seigle avoine	H vert	H vert	seigle avoine	maïs grain	sol nu	maïs doux							
<b>Ecophyto +</b>	car saison	seigle avoine	maïs semence	orge récoltée	H vert	seigle avoine	maïs grain	seigle avoine	maïs doux								

Figure 4 : Rotations mises en œuvre sur le site de Commensacq

En Normandie, les systèmes de culture Ecophyto 50 et Ecophyto + ont été conçus par les partenaires du projet, les techniciens et conseillers des deux Organisations de Producteurs de la région, et les producteurs, qui ont défini les schémas décisionnels des systèmes de culture et choisi les principaux leviers à mettre en œuvre. Un travail spécifique d'écriture des règles de décisions pour la mise en œuvre des techniques culturales a ensuite été réalisé dans un atelier animé par un expert extérieur et regroupant les partenaires du projet ainsi que des ingénieurs et techniciens de la station régionale d'expérimentation et des OP. Le travail d'écriture des règles de décision s'est poursuivi tout au long du projet par ajustement des règles au fil de l'eau en fonction des cultures mises en place et des résultats obtenus chaque année. Les rotations de ces systèmes et les objectifs des leviers mis en œuvre sont présentées sur les Figures 5 et 6.



**Figure 5 :** Rotations mises en œuvre sur le site de Créances (bassin de la Côte Ouest du Cotentin).



**Figure 6 :** Rotations mises en œuvre sur le site de Montfarville (bassin du Val de Saire).

#### 1.4 Les leviers mis en œuvre

Les leviers mis en œuvre dans le cadre du projet DEPHY Carotte visent en priorité les adventices et les ravageurs du sol (nématodes et champignons telluriques), mais aussi les principaux ravageurs aériens. La lutte contre ces bioagresseurs combine plusieurs leviers ayant une action en priorité sur le stock d'inoculum afin que celui-ci ne s'exprime pas ou se vide, mais vise également, l'efficience, la substitution et la reconception des systèmes de culture.

##### 1.4.1 Stratégies de lutte contre les adventices

Les adventices les plus problématiques communes aux deux bassins de production sont les adventices estivales, le chénopode, le séneçon et le pâturin, ainsi que plusieurs espèces invasives ou à risque sanitaire telles que la morelle, le datura et le souchet. Ainsi, les moyens de lutte utilisés dans le projet sont adaptés à cette flore. Les stratégies de lutte mises en place dans les systèmes en rupture sont présentées dans le Tableau 2.

**Tableau 2 :** Leviers utilisés dans la lutte contre les adventices en systèmes légumiers

Leviers utilisés en combinaison	Postulat
Introduction de cultures céréalières	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'alternance de cultures d'été et d'hiver dans la rotation est défavorable aux adventices (Bonin et al., 2015).</li> </ul>
Couverture maximale du sol - cultures intermédiaires multiservices (CIMS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les CIMS limitent la levée et le développement des adventices par compétition et allélopathie (Justes et Richard, 2017)</li> </ul>
Travail du sol superficiel (faux semis, herse)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le travail du sol vide le stock grainier</li> </ul>
Luttes mécanique et manuelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le binage précoce permet de lutter efficacement contre les adventices en carotte (Beasse et Bellalou, 2018a),</li> <li>Le désherbage thermique en pré-levée montre une bonne efficacité</li> </ul>
Conduite hydrominérale	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'eau et les éléments minéraux peuvent être un facteur limitant pour les adventices</li> </ul>
Localisation des traitements	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diminution directe de l'IFT</li> </ul>

### **1.4.2 Stratégies de lutte contre les bioagresseurs du sol**

Les principaux bioagresseurs du sol sur les deux bassins de production sont les nématodes (*Pratylenchus* en Nouvelle Aquitaine et *Heterodera Carotae* en Normandie) et les champignons du sol (*Pythium* et *Phytophthora*). Les stratégies de lutte mises en place dans le cadre du projet sont présentées dans le Tableau 3.

**Tableau 3 : Leviers utilisés dans la lutte contre les bioagresseurs du sol en systèmes légumiers**

Leviers utilisés en combinaison	Postulat
Introduction de cultures céréalier	<ul style="list-style-type: none"> <li>La gamme d'hôte de <i>Pythium sulcatum</i>, agent du cavity spot (Breton et al., 2003), se limite à la famille des apiacées (Davison et McKay, 2003 ; UNILET, 2018).</li> <li>Les graminées ne sont pas hôtes du <i>Sclerotinia</i> (Arvalis, 2011).</li> </ul>
Couverture maximale du sol - cultures intermédiaires multiservices (CIMS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les CIMS et les amendements organiques peuvent permettre d'augmenter l'activité biologique des sols (Archambaud, 2012 ; Zuber et Villamil, 2016 ; Justes et Richard, 2017 ; Launais et al., 2014) et de défavoriser <i>Pythium sulcatum</i> et <i>Pythium violae</i> qui sont de mauvais compétiteurs, ainsi que de limiter la sporulation de <i>Phytophthora sp</i> (Meslin, 2012).</li> </ul>
Apports d'amendements organiques réguliers	<ul style="list-style-type: none"> <li>Outre la culture de tagète, pour réduire les populations de <i>Pratylenchus</i> (Sclaunich et al., 2000 ; Pudascaini et al., 2006), certaines variétés de sorgho ont un effet nématicide sur <i>Heterodera carotae</i> (Pitrel et Boutteaux, 2014).</li> </ul>
Délai de retour - rotation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Délai de retour pour les cultures hôtes : au moins 5 ans sans apiacées pour lutter contre les <i>Phytophthora</i> et <i>Pythium</i>.</li> </ul>
Impasse sur la désinfection de sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>La désinfection de sol, par son action sur les organismes du sol, empêche toute compétition avec les bioagresseurs.</li> </ul>
Date de récolte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limiter la conservation hivernale des carottes au champ.</li> </ul>
Choix variétal, dates d'implantation et densité de semis	<ul style="list-style-type: none"> <li>Il existe des variétés plus ou moins sensibles aux maladies telluriques.</li> <li>Les dates d'implantation et une densité réduite diminue l'incidence des attaques de champignons telluriques.</li> </ul>
Biocontrôle / Pratique alternative (liste biocontrôle)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation de Contans pour lutter contre <i>Sclerotinia</i> (Dabrin, 2017) après une culture contaminée et/ou avant une culture sensible.</li> <li>Le produit de biocontrôle Tri-Soil® est efficace pour réduire les infestations de <i>Pythium</i> (Béasse et Bellalou, 2018b) en culture de carotte.</li> </ul>
Matériel végétal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Il existe des variétés de carotte plus ou moins tolérantes aux maladies du sol (Carottes de France, Ctifl, Sileban et Invenio, 2018). Choix de variétés tolérantes/résistantes et adaptées aux systèmes pour toutes les cultures.</li> </ul>
Conduite hydrominérale	<ul style="list-style-type: none"> <li>Une surfertilisation azotée favorise les maladies fongiques (Suffert, 2006).</li> </ul>
Localisation des traitements	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diminution directe de l'IFT</li> </ul>

### **1.4.3 Stratégies de lutte contre les bioagresseurs aériens**

Les principaux bioagresseurs aériens sont, pour la Normandie, *Sclerotinia* sur la carotte, ainsi que la mouche de la carotte ; rouille, mildiou et thrips sur le poireau et pour l'Aquitaine, *Alternaria*, l'Oïdium, les noctuelles terricoles et du feuillage et la mouche de la carotte. Les stratégies de lutte mises en place dans le cadre du projet sont présentées dans le Tableau 4.

**Tableau 4 : Leviers utilisés dans la lutte contre bioagresseurs aériens en systèmes légumiers**

Leviers utilisés en combinaison	Postulat
Délai de retour rotation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Délai de retour entre deux poireaux fixé à 4 à 5 ans pour limiter la prolifération du mildiou (Meslin, 2012).</li> </ul>
Biocontrôle / Pratique alternative (liste biocontrôle)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Répulsif contre la mouche de la carotte et huile essentielle d'orange contre le Thrips.</li> </ul>
Matériel végétal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Il existe des variétés plus ou moins sensibles aux maladies aériennes pour la carotte (<i>Alternaria</i>, oïdium) (Carottes de France, Ctifl, Sileban et Invenio, 2018) ainsi qu'à la rouille et au mildiou en poireau (Meslin, 2012).</li> </ul>
Conduite hydrominérale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des bassinages réguliers en poireau en début de cycle permettent de limiter l'installation des populations de thrips dans les fûts.</li> <li>• L'ajustement de la fertilisation permet de limiter le développement des parties aériennes qui sont favorables à la prolifération des maladies aériennes.</li> </ul>
Protection physique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation de filets pour lutter contre la mouche de la carotte (Planète Légumes, 2016). L'effeuillage du poireau permet de lutter contre le Thrips.</li> </ul>
OAD	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les modèles DACOM en Carotte permettent d'appréhender le risque oïdium, <i>Alternaria</i> et <i>Sclerotinia</i> (Justes E. et Richard G. 2017), le modèle SWAT permet d'appréhender la mouche de la carotte. Le BSV présente des informations utiles au pilotage des différentes cultures (alertes, réseau piégeage, modèles). Enfin, l'utilisation de pièges connectés (thrips/poireau et mouche/carotte) permet de positionner les applications insecticides.</li> </ul>

### 1.5 Evaluation des systèmes et de l'expérimentation

L'évaluation des systèmes se fera sur la base de plusieurs indicateurs. Ne disposant pas d'outil en légumes pour faire une évaluation multicritère agrégée *ex post*, nous regarderons conjointement les diminutions d'IFT de chacun des systèmes, les niveaux de satisfaction en termes de contrôle des ravageurs, des maladies et des adventices. L'indicateur économique choisi est le niveau de marge brute dégagée par chaque système et l'indicateur social retenu est le temps de travail. Les résultats sont représentés sous forme de graphiques en radar.

## 2. Résultats

### 2.1 Efficacité et faisabilité des leviers et combinaisons de leviers

#### 2.1.1 Lutte contre les adventices

L'alternance de cultures d'été et d'hiver, de cultures légumières et céréalières, de cultures plantées ou semées, est un levier intéressant pour limiter le développement des adventices en créant une rupture dans les cycles des espèces présentes sur les parcelles.

Le travail du sol raisonné à l'échelle du système et le désherbage mécanique en culture sont des leviers intéressants à combiner et à actionner pour le contrôle des adventices en limitant l'utilisation des herbicides. La mise en œuvre de ces leviers est très dépendante des conditions météorologiques et du matériel disponible, ce qui peut représenter un frein pour leur transfert en production.

La prophylaxie (nettoyage du matériel pour éviter la contamination des parcelles saines) et le désherbage manuel nécessitent une main d'œuvre importante et ont un impact fort sur les résultats économiques des systèmes (voir § 2.2.3 Résultats économiques).

Enfin, l'efficience via la localisation des traitements, le choix des molécules, les conditions d'applications (sur le rang en complément du binage et/ou en inter-rang) est un levier qui permet d'abaisser efficacement lIFT.

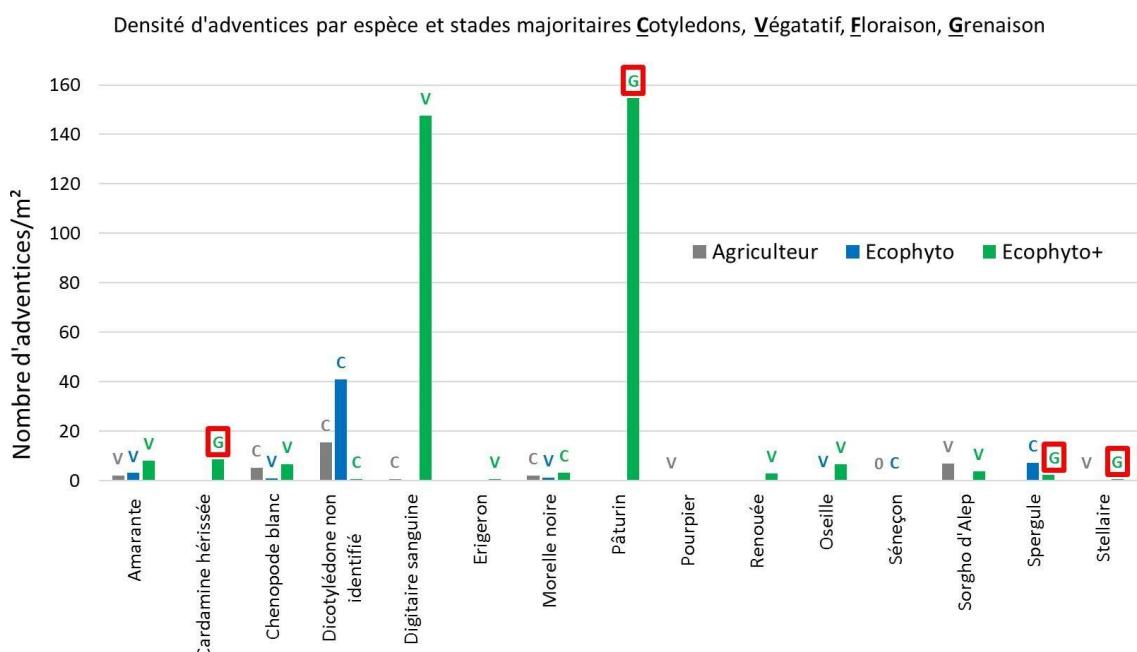
### **2.1.2 Focus sur le levier « Insertion d'une culture d'hiver »**

Les leviers actionnés pour la gestion des adventices ont permis un contrôle en culture globalement satisfaisant, avec des pertes de rendement limitées et des débordements occasionnels. Mais la question du salissement à long terme des parcelles doit être approfondie. En effet, en fin de culture, les parcelles menées dans le cadre des systèmes Ecophyto 50 et Ecophyto + présentaient généralement une plus grande densité d'adventices que la référence producteur. Ces adventices, lorsqu'elles ont atteint le stade grenaison, ont pu augmenter le stock grainier des parcelles expérimentales. Le risque est de rendre leur gestion de plus en plus complexe et délicate au fur et à mesure des campagnes culturales.

Ainsi, l'impact, sur le stock grainier, de l'introduction d'une culture d'orge dans la rotation a été étudié plus en détail en Aquitaine. D'après la bibliographie (Simié et al., 2016) l'introduction d'une culture d'hiver a pour conséquence la non-grenaison d'adventices d'été. En parallèle, la mortalité naturelle des graines devrait permettre de réduire le stock de semences de 75 % par an pour les digitaires et de 50 % par an pour les morelles, chénopodes et amarantes (Arvalis, 2011).

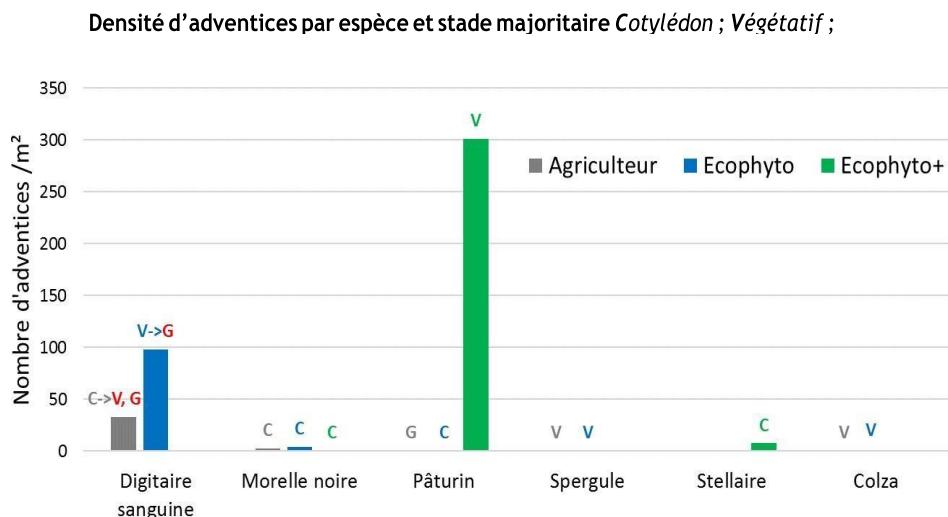
Des comptages de levées d'adventices ont été réalisés à la date de récolte de l'orge (24 juillet 2016) dans les deux systèmes Ecophyto + menés en Nouvelle Aquitaine afin de vérifier l'efficacité de l'introduction d'une culture d'orge sur le salissement des parcelles.

Le site de Commensacq était une parcelle présentant une faible densité d'adventices en début de projet. L'orge a été semée en 2015, à faible densité. A la date du comptage, le pâturin était fortement présent avec une densité d'environ 150 plantes au m<sup>2</sup> (Figure 7). Les plantes étaient au stade grenaison, participant donc à l'augmentation du stock semencier. La digitaire était également fortement représentée, avec une fréquence équivalente (environ 150 plantes au m<sup>2</sup>) mais au stade végétatif, vidant ainsi le stock grainier. Peu d'autres adventices d'été étaient présentes, principalement au stade végétatif, et toujours en densité très limitée (<20 plantes au m<sup>2</sup>).



**Figure 7 : Densité d'adventices sur le système Ecophyto + de Commensacq, à la date de récolte de l'orge**

Le site d'Ychoux était une parcelle initialement sale, avec une densité d'adventices importante. L'orge a été semée en 2015 également, mais à forte densité. A la date du comptage, le pâturin était très fortement présent avec une densité d'environ 300 plantes au m<sup>2</sup> (Figure 8). Les plantes étaient au stade végétatif, vidant ainsi le stock semencier. Les adventices d'été étaient très peu présentes et toujours au stade végétatif ou cotylédon. Le stock semencier n'a donc pas été renouvelé et a théoriquement même été partiellement vidé par mortalité naturelle.



**Figure 8 :** Densité d'adventices sur le système Ecophyto + d'Ychoux, à la date de récolte de l'orge

Les comptages réalisés dans le système producteur à la même date, montrent notamment que la digitaire était très présente dans ce système et au stade grenaison au moment de la récolte du maïs doux (juillet 2016).

L'efficacité du levier « Insertion d'une culture d'orge », semée à forte densité, semble avoir été démontré dans le cadre du projet DEPHY Carotte en Nouvelle Aquitaine. Mais ce travail doit être approfondi, par une analyse du potentiel grainier les années suivant l'introduction de l'orge.

### **2.1.3 Gestion des bioagresseurs du sol**

Concernant les nématodes, le principal levier d'action à l'échelle du système est l'allongement de la rotation et l'introduction de cultures à effet nématicide comme les tagètes en Nouvelle Aquitaine. La mise en place technique de ces cultures reste à améliorer. Mais leur limite est principalement l'impact économique sur le système de culture par l'introduction d'une culture non valorisée dans la rotation (voir § 2.2.3 Résultats économiques).

A l'échelle du système, un travail sur la fertilité du sol a été mené dans les deux régions. Ainsi, des apports en matière organique réguliers ont été réalisés, des couverts d'interculture ont été mis en place et restitués au sol. Parallèlement, en Aquitaine, l'impasse a été faite sur la désinfection de sol. L'impact de cette combinaison de leviers sur la fertilité biologique du sol n'a pas été visible à l'échelle du projet mené sur les sites aquitains.

De même, afin de limiter certaines maladies fongiques et bactériennes communes à plusieurs cultures, la gestion de la fertilisation et l'irrigation a été adaptée aux besoins des cultures. C'est un levier pouvant être antagoniste avec la gestion des adventices. Les règles de décision ont donc été adaptées afin de tenir compte des priorités données par le pilote.

L'utilisation de produits de biocontrôle dans le cadre d'une lutte contre les *Pythium* et le *Sclerotinia* ont montré leurs efficacités. D'autre part, la mise en place d'un créneau de récolte plus précoce est un bon

levier pour lutter contre le *Phytophthora*. Toutefois, cette technique peut avoir un impact économique fort sur le système de culture et sur la filière, en modifiant les périodes d'approvisionnement.

Par ailleurs, concernant les maladies et les ravageurs telluriques, il n'a pas toujours été possible de confirmer l'efficacité des leviers mis en place. Une meilleure connaissance épidémiologique de ces bioagresseurs semble nécessaire à l'optimisation des leviers et de leurs combinaisons et à l'optimisation des règles de décision.

#### **2.1.4 Gestion des bioagresseurs aériens**

L'utilisation d'un filet anti-insectes a été mise en œuvre sur un des systèmes en rupture. Cette technique est intéressante pour lutter contre le ravageur cible, la mouche de la carotte, mais pose des difficultés de gestion de la culture : gestion des adventices sous le filet, gestion des maladies fongiques avec un microclimat propice à leur expression sous le filet, matériel et main d'œuvre nécessaires à la pose et au retrait des filets... Des règles de décision pour l'utilisation de ce levier ont ainsi été travaillées mais nécessitent des adaptations pour un transfert possible vers la production.

L'usage de produits de biocontrôle ne s'avère pas toujours efficace et leur positionnement optimal reste à améliorer dans les itinéraires techniques pour une meilleure efficacité de ces produits.

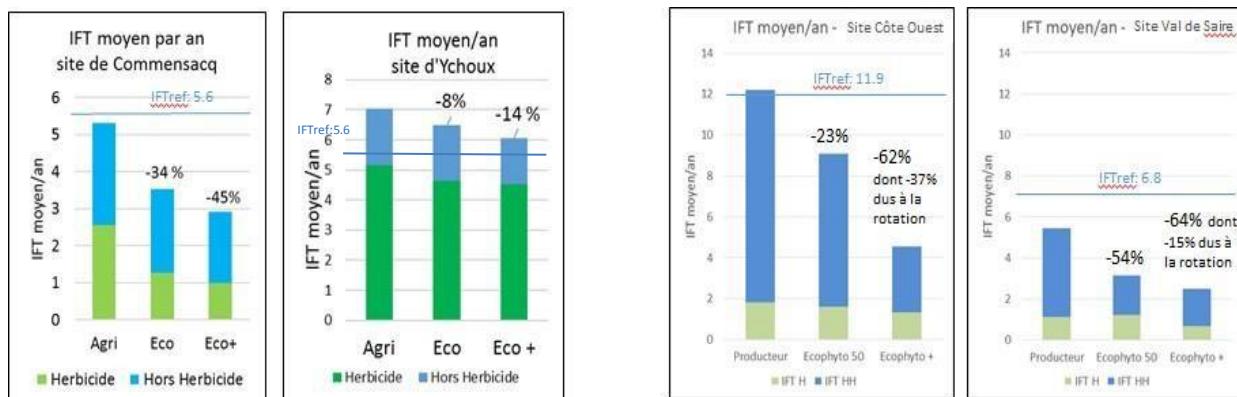
Les Outils d'Aide à la Décision (modèle de prévision des vols, pièges chromatiques en parcelle et Alertes Cultures Légumières à l'échelle du bassin (ACL)) sont des leviers qui ont été travaillés dans la gestion de la culture de carotte dans les systèmes en rupture, dans l'objectif de positionner au mieux les traitements phytosanitaires ou autres solutions alternatives. Les Règles de Décisions issues de ces travaux restent encore à affiner.

Pour les maladies et les ravageurs aériens, les techniques utilisées (action sur le stock d'inoculum, évitement, atténuation) ont permis une maîtrise satisfaisante. Mais l'exigence forte des marchés en termes de qualité visuelle peut être bloquante pour le transfert de certains leviers ou combinaisons de leviers.

## **2.2 Les performances en termes de durabilité**

#### **2.2.1 Résultats environnementaux**

Les performances environnementales sont évaluées à l'aide de l'Indice de Fréquence de Traitement (IFT). Les résultats sont illustrés pour les deux sites, pour chacune des deux régions du projet, en Figure 9. L'IFT de référence, spécifique à chaque bassin de production, est représenté pour chaque site.

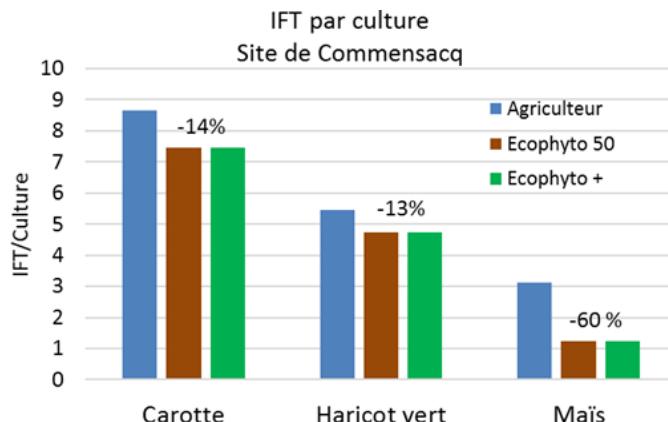


**Figure 9 :** Résultats des IFT Totaux moyens par an (hors biocontrôle) par rapport à l'IFT de référence pour chacun des sites.

L'IFT total (*hors biocontrôle*) est réduit de 8% à 54% pour les systèmes Ecophyto 50. L'objectif de 50% est atteint pour l'un des sites (Val de Saire), sur lequel la prise de risque a été forte, la parcelle étant située sur le site expérimental du SILEBAN. L'IFT total (*hors biocontrôle*) diminue de 14% et 64% pour les systèmes Ecophyto +. L'objectif de réduction de plus de 50% de l'IFT est atteint sur les sites de Créances et du Val de Saire. Le site de Commensacq est proche de l'objectif. La reconception des rotations, levier activé uniquement dans les systèmes Ecophyto +, avec notamment l'introduction de cultures céréalières, apparaît comme un levier essentiel à l'atteinte des objectifs de réduction de l'IFT avec une prise de risque plus modérée au regard de la gestion des bioagresseurs et de l'augmentation du stock grainier.

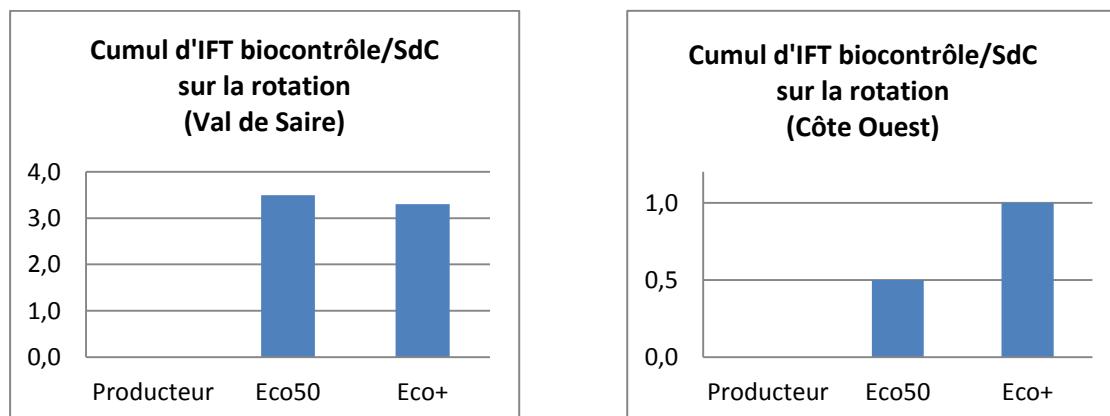
Le site d'Ychoux et du Val de Saire ont été, tous deux, pénalisés par un enherbement fort de la parcelle et par conséquent une gestion compliquée du désherbage et une prise de risque difficilement acceptée par le producteur. La diminution de l'IFT sur ces sites est donc plus limitée.

Globalement, à l'exception du site d'Ychoux, les performances environnementales des systèmes Ecophyto + sont jugées comme satisfaisantes ou acceptables. Toutefois, la diminution de l'IFT sur la carotte est jugée trop peu satisfaisante, comme l'illustre la Figure 10. La faible possibilité de diminution de l'IFT en carotte avec des pratiques éprouvées et robustes se confirme, particulièrement pour la gestion des problématiques telluriques.



**Figure 10 :** IFT (*hors biocontrôle*) moyen par campagne et par culture (Site Commensacq, Aquitaine).

Des produits de biocontrôle ont été utilisés sur les deux sites normands, en substitution de traitements chimiques (Figure 11). L'IFT biocontrôle, cumulé sur l'ensemble de la rotation, est autour de 3,5 sur les deux systèmes innovants du Val de Saire. Il est compris entre 0,5 et 1,0 pour les deux systèmes innovants de la Côte Ouest. Sur ces deux sites, aucun produit de biocontrôle n'avait été utilisé sur la référence producteur.



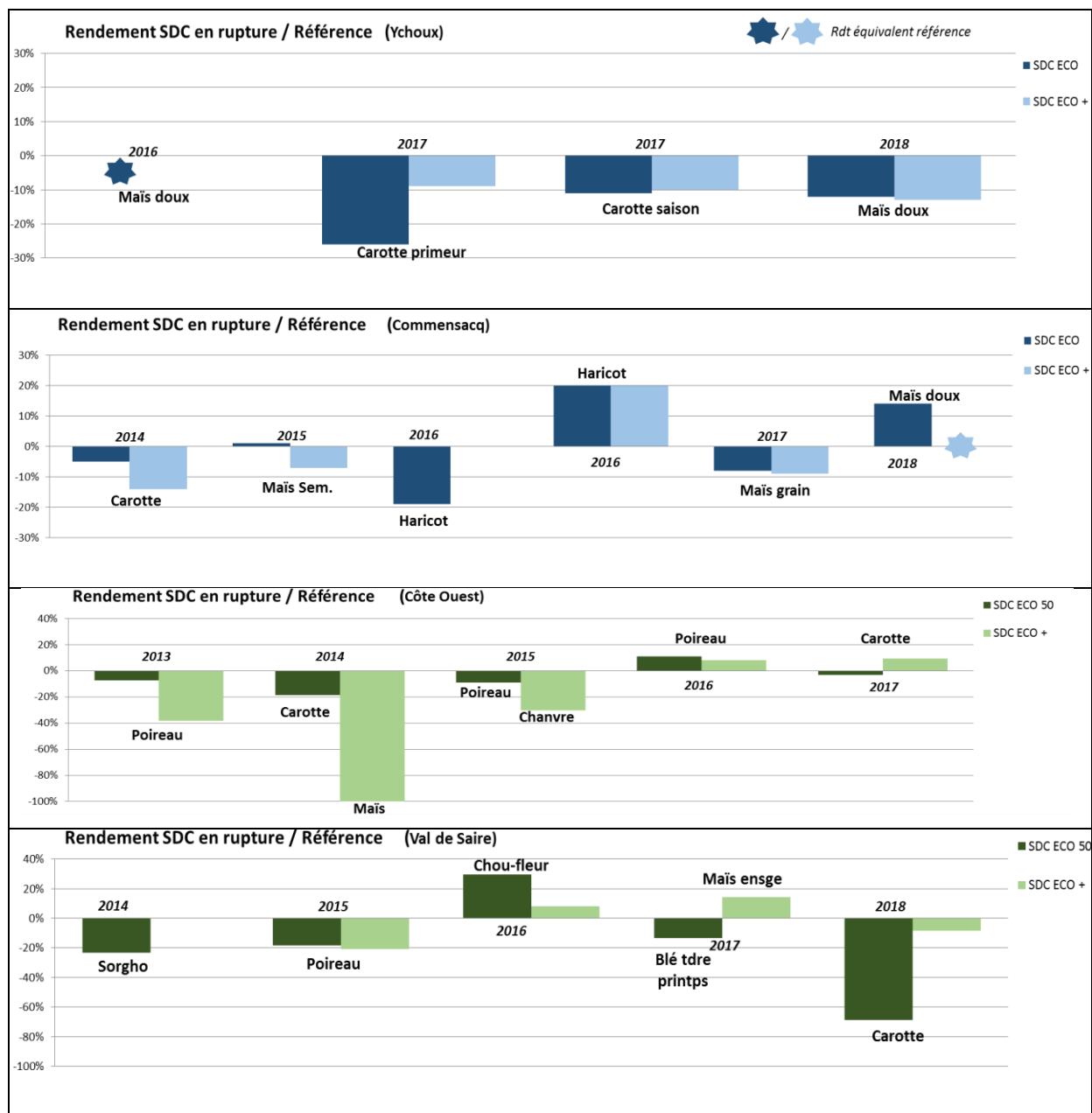
**Figure 11 :** IFT biocontrôle, cumulé sur la rotation, pour les sites normands. Aucun produit de biocontrôle n'a été appliqué sur les systèmes aquitains.

Ainsi, sur la durée des 5 années du projet, les produits de biocontrôle utilisés sont :

- pour la carotte, le *trichoderma atroviride* (trisoil) contre le cavity spot,
- pour le chou-fleur, le *bacillus thuringiensis* contre les noctuelles et les piérides,
- pour le poireau, l'huile essentielle d'orange contre le thrips.

## 2.2.2 Résultats agronomiques

Les performances agronomiques sont évaluées en comparant le rendement obtenu sur les systèmes de culture innovants (Ecophyto 50 et Ecophyto +) au rendement du système de culture de référence. Les résultats sont illustrés en Figure 12.



**Figure 12 :** Comparaison des rendements des systèmes innovants par rapport au rendement du système de référence pour chacun des quatre sites expérimentaux. (Pour la culture de chanvre (non présente dans le système de référence de la Côte Ouest), la référence de rendement est issue d'essais menés en 2014 sur le Côte Ouest normande par l'Association des Producteurs de Chanvre de Basse-Normandie. La référence pour la culture de sorgho (non présente dans le système de référence du Val de Saire) correspond à la valeur moyenne nationale des essais Arvalis entre 2012 et 2014).

Les systèmes de culture innovants ont globalement atteint les objectifs fixés dans le cadre du projet : maintien du rendement avec une tolérance de 5 % dans Ecophyto 50 ; et de 5 % sur légumes et 20% sur les autres cultures dans Ecophyto +.

Toutefois, certaines prises de risque se sont soldées par des pertes de rendement, parfois importantes, en raison de débordement par les adventices ou d'attaques de bioagresseurs non maîtrisées. Dans ce cadre, les Règles de Décision devront être réajustées et certains leviers devront être retravaillés.

### **2.2.3 Résultats économiques et sociaux**

L'indicateur économique choisi est la marge brute dégagée par chaque système et comparée à la référence du bassin de production. Les résultats sont présentés dans le Tableau 5.

**Tableau 5** : Comparaison des marges brutes des systèmes innovants par rapport à la marge brute de référence

#### Aquitaine

Marge brute moyenne SDC / référence	Commensacq	Ychoux
ECO50	+4%	+2%
ECO+	-4%	-12%

#### Normandie

Marge brute moyenne SDC / référence	Val De Saire	Côte Ouest
ECO50	-31%	-22%
ECO+	-1%	-46%

Globalement, les performances économiques sont peu satisfaisantes.

Pour Ecophyto 50, avec la même succession culturale que le système producteur, la marge brute est équivalente à celle du système producteur en Nouvelle Aquitaine, mais elle est très inférieure (de 22 à 31 %) en Normandie. Les pertes de rendement en légumes, même si elles ont été limitées, ont eu un fort impact sur la marge et le revenu du producteur. L'effet année est important pour les cultures légumières dû à une forte volatilité des cours des produits. Ceci a un impact direct sur le résultat financier de nos systèmes.

Pour Ecophyto +, la marge brute est équivalente à celle du système producteur pour deux des systèmes (Commensacq et Val de Saire), mais très inférieure pour les systèmes d'Ychoux et de la Côte Ouest. L'insertion de nouvelles cultures dans les rotations entraîne une baisse de la rentabilité des systèmes qui n'a pas pu être compensée.

L'indicateur social retenu est le temps de travail. Les résultats sont assez variables selon les deux bassins de production. En Normandie, sur le Val de Saire, l'augmentation du temps de travail (+50%) est principalement liée au temps consacré au désherbage manuel pendant l'été pour les cultures légumières, notamment en raison de prises de risque sur l'abaissement de l'IFT herbicide (impasses sur un ou plusieurs traitements chimiques et intensification du désherbage mécanique). Sur Crances, la baisse du temps de travail (-30 à -80 %) sur le système de culture s'explique par l'introduction de cultures céréalières dans les rotations, ce qui a entraîné un besoin moindre en main d'œuvre.

En Nouvelle Aquitaine, l'impact sur le temps de travail a été moindre car les interventions sont plus mécanisées. Toutefois, l'organisation des entreprises a été impactée par la gestion compliquée des périodes de pointe, notamment lors des opérations de désherbage mécanique. En effet, celles-ci sont très dépendantes des conditions météorologiques et la fenêtre d'intervention est parfois très étroite.

### **2.2.4 Evaluation des performances multicritères**

L'évaluation multicritère des systèmes de culture innovants du projet DEPHY Carottes est représentée sous forme de graphiques en radar (Figure 13).

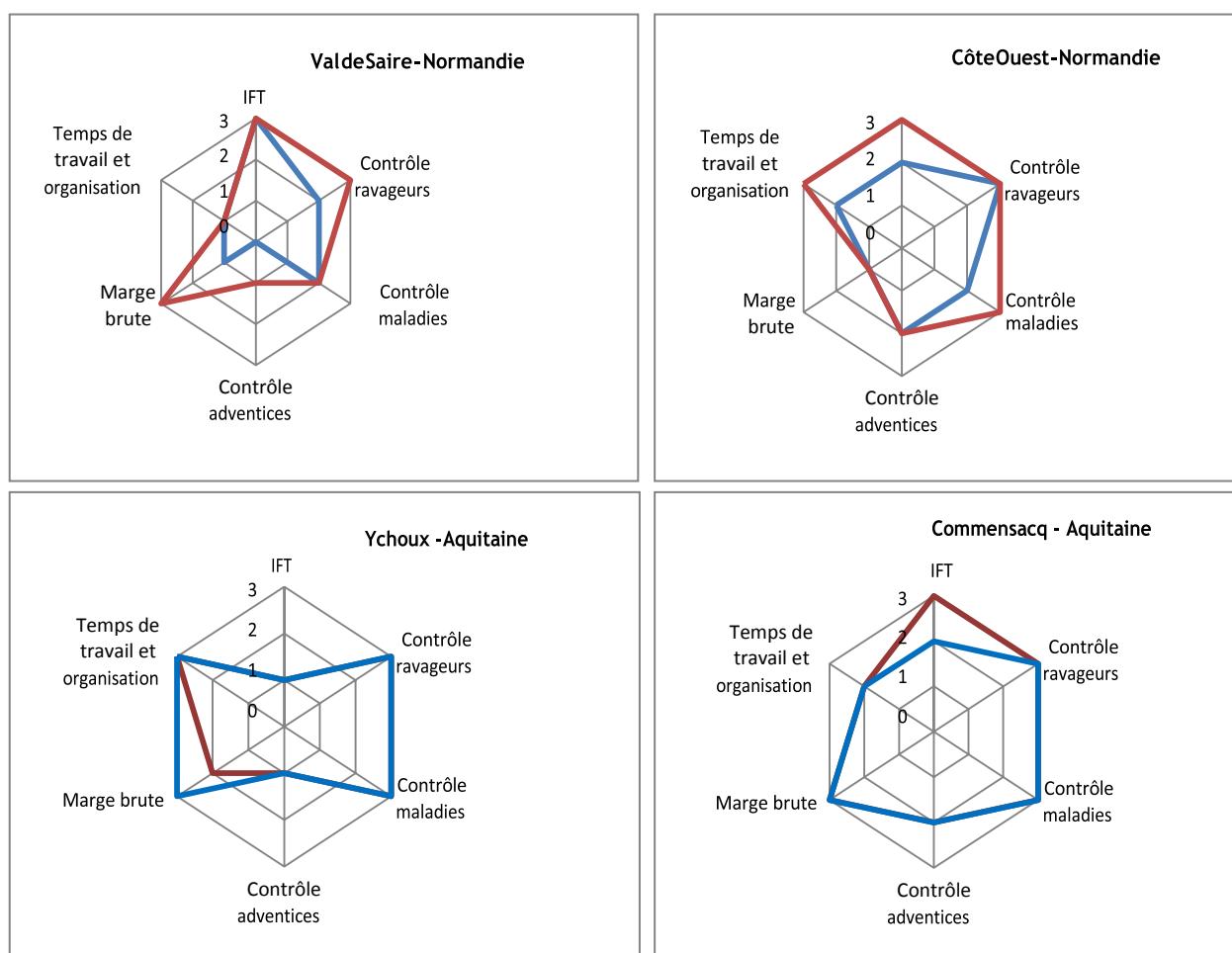
L'analyse de l'évaluation multicritère ci-dessus repose sur les résultats issus de trois sites de l'expérimentation ; à savoir, pour la Normandie, les sites du Val de Saire et de la Côte Ouest et pour l'Aquitaine, le site de Commensacq. En effet, l'évaluation multicritère du site d'Ychoux est pénalisée par

les changements de parcelle ayant eu lieu en cours de projet. L'expérimentation n'ayant pas pu être menée sur l'ensemble de la rotation, l'analyse de certains indicateurs est biaisée.

Sur les deux régions, les systèmes de culture (SdC) ECO+ (courbes rouges) présentent une meilleure performance que les SdC ECO50 pour l'ensemble des critères agro-environnementaux et socio-économiques.

Les performances environnementales (IFT) sont jugées satisfaisantes pour l'ensemble des SdC ECO+. Elles sont plus mitigées sur les SdC ECO50, mais restent acceptables. Le contrôle des ravageurs et des maladies est jugé comme satisfaisant ou acceptable sur tous les sites, alors que le contrôle des adventices a donné une satisfaction plus limitée, notamment sur le site du Val de Saire. Les risques pris sur les SdC concernant la gestion des adventices, autant sur les SdC ECO+ que sur le SdC ECO50, ont impacté, parfois de façon très significative, les cultures en place avec un risque non négligeable de salissement des parcelles à long terme.

Enfin, la performance socio-économique représentée par le temps de travail et la marge brute, est très variable pour chaque SdC. L'analyse de ces critères évalue les Sdc ECO+ et les SdC ECO50 comme peu satisfaisants à satisfaisants. Si le temps de travail et l'organisation sont directement impactés par la maîtrise du désherbage, la marge brute est plutôt impactée par la reconception de la rotation et l'introduction de cultures moins bien valorisées.



**Figure 13 :** Evaluation multicritère des systèmes de culture (ECO+ et ECO50) mis en œuvre sur les quatre sites (Normandie et Aquitaine). Légende : — ECO+ ; — ECO 50 ; 0 = Insatisfaisant ; 1 = Peu satisfaisant ; 2 = Acceptable ; 3 = Satisfaisant.

### 3. Discussion et perspectives

#### 3.1 Les règles de décisions transférées vers les producteurs

Un essai système a pour objectif de concevoir, mettre en œuvre et évaluer les performances d'un ou plusieurs systèmes de culture basés sur des objectifs différents de ceux des systèmes actuels. Ainsi dans ce projet, les systèmes Ecophyto 50 et Ecophyto + ont pu être mis en place durant 4 à 5 ans dans quatre situations différentes. Même si ces expérimentations système évaluent des conduites ou des stratégies globales comme chez un exploitant, les systèmes développés n'ont pas vocation à être transférés *in extenso* vers les producteurs. Ceci est d'autant plus vrai dans les situations où les performances économiques sont très contrastées avec des situations où le niveau de satisfaction est jugé « peu satisfaisant » dans ce domaine (Figure 13). Ce sont plutôt des « morceaux de systèmes » qui pourront être transférés : la façon de construire une stratégie de gestion, une ou plusieurs règles de décision, une combinaison de techniques.

Une attention particulière a été portée dans DEPHY Carotte sur la valorisation de règles de décision écrites et éprouvées dans le projet. Ainsi, des ateliers de formalisation des règles de décision ont été réalisés en milieu de projet. Ils avaient bien évidemment pour objectif de finir de concevoir les règles de décision indispensables au déroulement de l'expérimentation mais également de réfléchir à l'élaboration de règles plus génériques pouvant être transférés au groupe des 30 000, VIKLEG, mis en place en Normandie. Des règles de décision ayant donné satisfaction dans l'expérimentation ont ainsi été formalisées de façons plus explicites pour les producteurs (arbres de décision) puis testées dans le réseau. On peut par exemple citer la règle de décision de gestion du thrips en poireau qui a permis de baisser l'IFT insecticide de 43% dans une parcelle du réseau de producteur par rapport à la référence d'une parcelle gérée classiquement. L'expérimentation système puis le relais dans un groupe de producteurs engagés dans le dispositif des « 30 000 » a ainsi montré que certaines règles utilisées actuellement étaient relativement sécuritaires et pouvaient être améliorées, tout en restant en phase avec la demande du marché. Ce travail doit maintenant se poursuivre pour continuer à aménager les règles de décision pour les rendre plus appropriables par les producteurs.

#### 3.2 Les freins restant à lever

L'expérimentation a également permis de mettre en évidence des points de vigilance ou des domaines dans lesquels les performances restent peu satisfaisantes. Ainsi, comme le montre la figure 14 ci-dessus, si la maîtrise des ravageurs et des maladies est jugée satisfaisante, celle des adventices n'est pas optimale. Des échecs de désherbage se sont parfois produits et ont entraîné des débordements par les adventices. Des conséquences à long terme sont alors possibles impactant la parcelle pour de nombreuses années. Des travaux complémentaires sont à conduire dans ce domaine. En conséquence, les structures pilotes des systèmes du projet ont monté un nouveau projet spécifique sur le désherbage de la carotte afin de proposer aux producteurs des techniques de désherbage alternatives aux herbicides.

La réduction des IFT dans l'expérimentation a parfois été limitée par l'absence ou le trop faible nombre de leviers validés pour la gestion de certains bioagresseurs. En effet, la construction initiale des systèmes ne peut intégrer que des leviers éprouvés et efficaces. Il serait trop aléatoire de débuter une expérimentation système qui aurait pour objectif de tester de nouveaux leviers et non pas de tester des combinaisons de leviers connus. Un travail complémentaire de mise au point de modes de gestion alternatifs aux bioagresseurs a donc été nécessaire. Ces nouveaux leviers apparus en cours de projet (Biocontrôle notamment) pourront maintenant être insérés lors de la construction de nouveaux systèmes.

Enfin, même si des baisses d'IFT importantes ont parfois été obtenues dans ce projet, les systèmes développés se trouvent pénalisés sur les aspects économiques (faibles marges brutes) et sociaux

(temps de travail élevés). Il est donc important de communiquer sur l'ensemble de ces performances du ou des systèmes pour ne pas laisser penser que toutes les difficultés sont surmontées dans des systèmes à très faibles IFT incluant la carotte.

## Conclusion

La mise en place de nouveaux équilibres agroécologiques dans les systèmes de culture innovants exige des changements de fond. Outre les changements de pratiques, une reconception des systèmes de cultures est inévitable pour atteindre la baisse d'IFT ciblée. La gestion fine à la parcelle demande des outils, du temps d'observation et des règles de décisions encore trop peu robustes. Malgré la preuve d'efficience technique de certains leviers pour la réduction d'IFT, l'équilibre économique est actuellement difficilement atteint. Enfin, certains scénarios proposés ne permettent pas de répondre à la demande des marchés (créneaux de production, qualité visuelle de certains produits) et à l'organisation actuelle de la filière.

En fin de projet, la majorité des leviers et combinaisons de leviers des systèmes étudiés, même si ils ont, au moins partiellement, donné satisfaction, ne sont pas transférables. De nouveaux leviers et de nouvelles combinaisons de leviers doivent être testés et les règles de décisions affinées. Ce travail fera l'objet d'un second projet DEPHY Expé : AlterCarot qui sera mené de 2019 à 2024.

## Références bibliographiques

- Archambaud M., 2012. Station expérimentale de Kerguehennec Morbihan. 10 ans de recherche sur le travail du sol. Techniques
- Arvalis, 2011. Cultures intermédiaires impacts et conduite, 234 p
- Aubertot J.N., Barbier J.M., Carpentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Savini I., Voltz M. (Eds), 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, Synthèse du rapport, INRA et Cemagref (France), 64p.
- Beasse C., Bellalou S., 2018a. Compte rendu du projet Herbimecadacus
- Béasse C., Bellalou S. 2018b. Evaluation of biocontrol solutions against Pythium of carrot in the field. Acta Horticulturae
- Breton D., Béasse C., Montfort F., Villeneuve F., 2003. Focus on the recent evolution of soil- borne diseases of carrot in France. Proceedings of the 30<sup>th</sup> International Carrot Conference Sept 7-10-2003 USA
- Bonin L., Duoueix F., Gautellier-Vizioz L., Gouwie C., Lieven J., Métais P., Quilliot E., Rodriguez A., Royer C., Simmonneau D., Vacher C., 2015. Note commune Gestion des adventices dans la rotation ACTA, Arvalis institut du végétal, CETIOM, ITBs
- Butault J.P., Dedryver C.A., Gary C., Guichard L., Jacquet F., Meynard J.M., Nicot P., Pitrat M., Reau R., Sauphanor B., Savini I., Volay T., 2010. Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Synthèse du rapport d'étude, INRA Editeur (France), 90P.
- Dabrin, 2017, Unilet Infos n°156 - Juin 2017, p19-21
- Davison E.M., McKay A.G., 2003. Host range of *Pythium sulcatum* and the effects of rotation on Pythium disease of carrots. Australasian Plant Pathology, 32, 339-346
- Carottes de France, Ctifl, Sileban et Invenio, 2018. Échanges sur la possibilité de bâtir une base de données recensant les informations éparses sur les résistances des variétés de carotte
- Launais M., Bzdrenga L., Estorgues V., Faloya V., Jeannequin B., Lheureux S., Nivet L., Scherrer B., Sinoir N., Szilvasi S., Taussig C., Terrentroy A., Trottin-Caudal Y., Villeneuve F., 2014, Guide pratique

pour la conception de systèmes de culture légumiers économies en produits phytopharmaceutiques, Ministère chargé de l'agriculture, Onema, GIS PIClég, 178p.

Justes E., Richard G., 2017. Contexte, concepts et définitions des cultures intermédiaires multiservices. Innovations agronomiques 62, 1-15

Meslin E., 2012. Biologie et Ecologie des pathogènes des légumes. Programme Ecophytosys Légumes. 108 pp

Planète Légumes, 2016. <http://www.planete-legumes.fr/wp-content/uploads/2016/12/Guide-technique-filets-anti-insectes.pdf>

Pitrel, Boutteaux, 2014. Jardins du littoral n°131 / octobre 2014

Pudascaini M.P., Viaene M., Moens M., 2006. Effect of marigold (*Tagetes patula*) on population dynamics of *Pratylenchus penetrans* in a field. Nematology 8 (4) : 477-484

Sclaunich E., Euzen A., Poissonnier J., 2000. Bilan de 4 ans d'essais tagètes dans les Landes

Simié M., Spansojević I., Kovacevic D., Brankov M., Dragicevic V., 2016. Crop Rotation influence on annual and perennial weed control and maize productivity. Romanian Agricultural Research N°33.2016

Suffert F., 2006. Epidémiologie du cavity spot de la carotte - Perspectives d'application en protection intégrée. Thèse Agrocampus – ENSAR.

UNILET, 2018. Guide de protection des cultures

Zuber S.M., Villamil M.B., 2016. Meta-analysis approach to assess effect of tillage on microbial and enzyme activities. Soil biology and biochemistry. 97 176-187

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL ou DOI).