



**INRA**



## *EcoPhytoSys légumes Basse-Normandie*

### **METHODE D'EVALUATION DU POTENTIEL BIO-AGRESSEUR D'UN SYSTEME DE CULTURE**

---

□ **CAS DES PATHOGENES**

30/10/2012



## Sommaire

1. introduction.....	3
2. matériels et méthodes.....	4
2.1. Choix des indicateurs à prendre en compte .....	4
2.2. Positionnement géographique des parcelles étudiées.....	6
Caractérisation des effets des propriétés physicochimiques et biologiques des sols sur les pathogènes.....	6
2.3. Caractérisation des effets de la succession .....	7
2.3.1. Etude de la sensibilité des pathogènes à la succession.....	7
2.3.2. Etude des délais de retours observés dans les systèmes de culture.....	8
2.4. Caractérisation des effets de la gestion des résidus .....	9
3. résultats.....	10
3.1. Caractérisation des effets des propriétés physicochimiques et biologiques des sols.....	10
3.2. Caractérisation des effets de la succession .....	13
3.2.1. Etude de la sensibilité des pathogènes à la succession.....	13
3.2.2. Etude des délais de retours observés dans les systèmes de culture.....	15
3.3. Caractérisation des effets de la gestion des résidus.....	26
3.4. Bilan.....	28
4. discussion conclusion.....	35
4.1. L'influence de la nature des sols sur les risques phytosanitaires .....	35
4.2. La gestion de la succession pour limiter les risques phytosanitaires.....	35
4.3. La gestion des résidus pour limiter les risques phytosanitaires.....	36
4.4. Confrontation des risques identifiés par les analyses et par les producteurs .....	36
5. CONCLUSION GENERALE .....	37

# 1. INTRODUCTION

Dans les systèmes de culture que nous étudions, le recours aux traitements phytosanitaires apparaît comme le moyen de sécuriser l'accès au marché en contrôlant les dégâts aux cultures. La réduction de la dépendance aux pesticides des systèmes de culture doit passer par un travail de reconception de ces derniers. Afin de guider et faciliter cette reconception, une méthode d'évaluation du potentiel bioagresseur d'une parcelle a été entreprise. Cette méthode repose sur le postulat que le contexte pédoclimatique ainsi que les éléments du système de culture (succession et pratiques culturales) sont des facteurs capables d'exercer une incidence sur l'expression des maladies. Il s'agit donc de caractériser l'influence de ces facteurs sur le développement des agents pathogènes responsables des maladies afin :

- i. d'évaluer le potentiel bioagresseur inféodé à un couple parcelle/système de culture,
- ii. d'identifier les pratiques culturales du système favorisant le plus le développement des pathogènes en cours de culture et le maintien des stocks d'inoculum,
- iii. de guider les propositions d'améliorations du système de culture les plus pertinentes au regard des caractéristiques biologiques des agents causaux.

Le premier point sert à caractériser un état des lieux sanitaire, le second permet d'identifier les principaux axes d'améliorations du système et le dernier permet de faciliter la conception de nouveaux systèmes de culture adaptés aux contraintes biotiques présentes. L'ensemble de ces points pourront permettre la mise au point de règles de décision dans le cadre d'autres projets.

La mise au point de cette méthode a nécessité en amont l'acquisition de connaissances sur les pathogènes présents dans la région de production (identifiés sur la base d'expertises locales). Ces connaissances ont été organisées sous la forme de différents paramètres en respectant les différentes étapes du cycle de développement des pathogènes et consignées dans un recueil d'Ecologie et de Biologie des Pathogènes des Légumes réalisé dans le cadre du programme EcoPhytoSys légumes. Par ailleurs, la caractérisation des parcelles étudiées a été entreprise grâce à la réalisation de diagnostics agronomiques et à la caractérisation des systèmes de culture dont les résultats sont dans le rapport diagnostic des systèmes de cultures légumiers de Basse-Normandie du programme EcoPhytoSys légumes

La première étape de travail consiste en la sélection des indicateurs à prendre en compte dans l'évaluation afin de refléter à la fois le contexte pédoclimatique, mais aussi le système de culture d'une parcelle. Puis, il est nécessaire de caractériser pour chacun de ces indicateurs les effets qu'il exerce sur les différents pathogènes de manière directe ou indirecte via une modification de la culture. La caractérisation concerne l'effet sur le développement du pathogène, elle est qualitative et se décline en 2 possibilités : amplification / neutre ou atténuation. Enfin, l'estimation d'une note globale pour l'ensemble des indicateurs sur l'ensemble des pathogènes permet de définir le potentiel bioagresseur d'une parcelle.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1. Choix des indicateurs à prendre en compte

Les facteurs pris en compte doivent permettre de considérer le contexte pédoclimatique et le système de culture de chacune des parcelles. Le contexte pédoclimatique est appréhendé par le biais de résultats d'analyses de sol réalisées sur chaque parcelle permettant de caractériser leurs propriétés physicochimiques et biologiques.

Les facteurs abiotiques humidité et température exercent un rôle prépondérant dans le cycle de développement des pathogènes, mais ces indicateurs sont écartés de l'analyse à cause d'un manque de données. Il est difficile d'acquérir les gammes de températures et d'humidité optimales en conditions réelles et pour chacune des parties du cycle. En effet, les conditions optimales peuvent varier en fonction de l'étape du cycle.

Parmi les différents éléments caractérisant un système de culture, sont pris en compte dans le cadre de cette étude, la succession des cultures et la gestion des résidus. Les travaux du sol ainsi que les autres pratiques telles que la fertilisation, l'irrigation et les amendements ont été écartées car les recherches bibliographiques ne nous ont pas permis de disposer de références suffisantes concernant leurs effets sur les pathogènes.

Il aurait également été pertinent de prendre en compte dans cette étude l'environnement proche de la parcelle (éléments de paysages et cultures avoisinantes), mais ceci n'a pas été possible du fait d'un manque d'informations disponibles dans la bibliographie.

Au bilan, seuls 3 indicateurs ont été conservés (Tableau 1).

Tableau 1 : Indicateurs pris en compte dans la méthode d'évaluation

Type d'informations captées	Indicateurs
Contexte pédoclimatique	Analyse de sol
Système de culture	Succession
	Gestion des résidus

Chacun des indicateurs retenu a fait l'objet d'un point bibliographique concernant leurs effets sur les pathogènes, les plantes et les interactions plante-pathogène (cf. le recueil de Biologie Ecologie des Pathogènes des Légumes et le rapport Diagnostics et Evaluation des Systèmes de Culture pratiqués / Etat initial du réseau de parcelles référant produits dans le cadre du programme EcoPhytoSys légumes). L'étude bibliographique a été orientée vers les pathogènes présents (22) dans les bassins de production étudiés (Tableau 2). Ces pathogènes avaient été identifiés lors de travaux précédents.

Tableau 2 : Liste des 22 pathogènes étudiés.

Culture concernée	Nom scientifique du pathogène	Nom de la maladie occasionnée
Carotte	<i>Phytophthora megasperma</i> / <i>P. sp</i>	Bague
	<i>Cercospora carotae</i>	Cercosporiose
	<i>Alternaria dauci</i>	Alternariose
	<i>Pythium violae</i> / <i>P. sulcatum</i>	Cavity
	<i>Rhizoctonia violaceae</i>	Rhizoctone violet
	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Sclerotiniose
	<i>Streptomyces scabies</i>	Gale
Poireau	<i>Phytophthora porri</i>	Mildiou
	<i>Puccinia porri</i> / <i>P. Allii</i>	Rouille
	<i>Pseudomonas syringae</i> pv <i>porri</i>	Bactériose
	<i>Pyrenochaeta terrestris</i>	Racines roses
	<i>Fusarium roseum</i> var <i>culmorum</i>	Dépérissement
Salade	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Sclerotiniose
	<i>Sclerotinia minor</i>	Sclerotiniose
	<i>Septoria lactucae</i>	Septoriose
	<i>Bremia lactucae</i>	Mildiou
	<i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovora</i>	Pourriture molle
	<i>Pseudomonas cichorii</i>	Pourriture de la tige
	<i>Xanthomonas campestris</i>	Tache bactérienne
Choux	<i>Plasmodiophora brassicae</i>	Hernie
	<i>Mycosphaerella brassicicola</i>	Tache noire
	<i>Phytophthora brassicae</i>	Dépérissement

## 2.2. Positionnement géographique des parcelles étudiées

Cette méthode a été réalisée sur les systèmes de culture de 12 parcelles appartenant à 3 bassins de production distincts : le Val de Saire, la Côte Ouest et le Mont Saint Michel (figure 1).

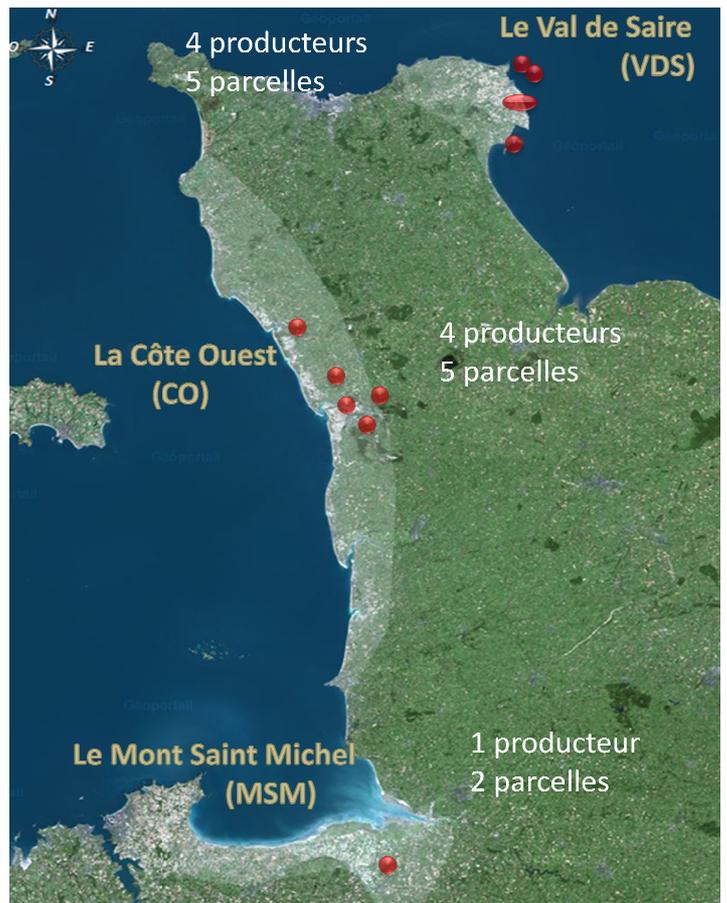


Figure 1 : Positionnement du réseau de parcelles servant de support à l'étude.

### **Caractérisation des effets des propriétés physicochimiques et biologiques des sols sur les pathogènes**

La caractérisation des effets des propriétés des sols concerne l'ensemble des pathogènes, aussi bien telluriques qu'aériens car ces derniers ont une phase de leur cycle dans le sol (conservation de l'inoculum).

L'analyse des sols comporte 5 critères de nature physique, 17 chimiques et 5 biologiques. Les valeurs obtenues pour ces indicateurs sont regroupées dans des tableaux (un par parcelle) et croisé avec chacun des 22 pathogènes. Si la valeur a été citée comme favorable ou compatible avec tout ou une partie du cycle de développement d'un pathogène, le nom dudit pathogène

est répertorié dans la colonne d'à côté. Au contraire, si la valeur prise par le critère est neutre ou sans effet sur un pathogène, son nom n'est pas inscrit.

Tableau 3 : Extrait d'un tableau regroupant les risques phytosanitaires associés aux résultats d'analyse de sol.

Ici, le critère analysé est relatif la qualité physique du sol, il s'agit de la rétention en eau qui a été évaluée à l'aide du calcul de la capacité au champ. La valeur prise dans la parcelle est très faible, ce qui a pour conséquence d'augmenter les risques que l'alimentation hydrique soit irrégulière, ce qui peut favoriser le développement des *Phytophthora*. Une deuxième conséquence possible est la survenue de périodes de sécheresse dans le sol, favorisant le développement de *Streptomyces scabies*, pathogène responsable de la gale sur carotte.

Qualité du sol	Caractérisations	Indicateurs utilisés	Interprétation	Conséquences <i>Pathogènes favorisés</i>
Physique	Rétention en eau	La capacité au champ (Hccp)	<input type="checkbox"/> Très faible (sable)	<input type="checkbox"/> Risque d'alimentation hydrique irrégulière : <i>Phytophthora</i> <input type="checkbox"/> Risque de sécheresse : <i>Streptomyces scabies</i>

Le bilan pour chacun des pathogènes et par parcelle est réalisé en additionnant le nombre de fois que chaque pathogène apparait en face des valeurs d'indicateur que prend la parcelle. En fonction du nombre de fois qu'apparait le nom du pathogène, un code couleur permet de faire des classes de risques. Si le nom du pathogène apparait 0 ou 1 fois, le risque est considéré comme faible et la case se colore en vert. Si le nom du pathogène apparait 2 ou 3 fois, le risque est considéré comme modéré et la case se colore en orange. Si le nom du pathogène apparait plus que 3 fois, alors le risque est élevé et la case se colore en rouge.

Cette démarche nous permet de mettre en évidence les pathogènes susceptibles d'être favorisés compte tenu des propriétés physicochimiques et biologiques parcelle par parcelle.

## 2.3. Caractérisation des effets de la succession

### 2.3.1. Etude de la sensibilité des pathogènes à la succession

La sensibilité des pathogènes à la succession est réalisée afin d'évaluer l'impact phytosanitaire de la succession. Plus la sensibilité est forte, plus le respect des délais de retour au sein de la succession aura un effet réducteur sur la population de pathogènes. Elle est évaluée à l'aide de 3 critères : la capacité de survie des pathogènes, leur degré de saprophytisme et leur degré de polyphagie (Lepoivre 2003). Chacun de ces 3 critères peut prendre la valeur « faible », « intermédiaire » ou « forte » et est renseigné à l'aide des connaissances répertoriées dans le « BEPaL », consultable au centre INRA Rennes.

L'attribution des valeurs concernant le critère capacité de survie (sous forme de sclérotas, oospores, ...) a été borné comme suit : temps de survie inférieur à 6 mois (pas maintien dans le cas d'une rotation d'un an sur 2), intermédiaire quand compris entre 6 mois et 5 ans (encore gérable à l'échelle de la rotation dans nos contexte) et longue quand supérieur à 5 ans (difficilement gérable dans le contexte car peu probable d'obtenir des rotations de plus de 5 ans). L'attribution d'une modalité concernant le degré de saprophytisme est réalisée à dire d'experts et par étude bibliographique. Les modalités du critère degré de polymorphisme ont été découpées comme suit : faible lorsque le pathogène est capable de parasiter jusqu'à 2 familles botaniques inclus et large lorsque le pathogène parasite plus de 2 familles botaniques.

L'indicateur final résulte de l'agrégation des 3 critères et peut prendre 4 notes : 0 (sans impact), 1 (peu d'impact), 2 (impact correct) et 3 (très fort impact), faisant référence à l'effet réducteur sur la population de pathogènes. Pour certains pathogènes, l'étude de la bibliographie (compte-rendu d'expérimentations, articles scientifiques...) et/ou les dires d'experts permettent de déterminer directement l'impact de la succession ; dans ce cas, la note finale est directement attribuée sans tenir compte des valeurs des critères.

### 2.3.2. Etude des délais de retours observés dans les systèmes de culture

Une étude préliminaire sur les délais de retour préconisés entre 2 cultures hôtes dans la littérature ainsi que sur le spectre d'hôte des pathogènes a été réalisée afin de pouvoir calculer les délais de retour entre 2 cultures hôtes de nos successions. Cette étude fait parti du « BEPaL », consultable au centre INRA Rennes. Pour certains pathogènes, plusieurs délais de retour différents ont été trouvés dans la littérature ; dans ce cas, le délai le plus long est choisi. Les délais de retour observés dans les successions sont calculés et exprimés en mois puis comparés aux délais préconisés dans la littérature, permettant ainsi de mettre en évidence les points faibles des successions et de proposer des améliorations. A l'aide d'un tableur, les pathogènes étudiés sont mis en colonne et les successions établies sur les 8 à 10 ans (fonction des données disponibles) sont portées sur la première ligne. Lorsqu'une culture est hôte d'un pathogène, la case se colore en noire. Le délai de retour observé correspond à la durée en nombre de mois entre 2 cultures hôtes (entre 2 cases noires). Il est calculé en additionnant le nombre de mois entre la fin de la récolte de la première culture et l'implantation de la suivante. Lorsqu'un délai de retour observé est supérieur ou égal au délai de retour préconisé, alors la situation ne présente pas de risque et la case se colore en vert. Tandis que si le délai de retour observé est inférieur au délai de retour préconisé, alors la situation présente un risque et la case se colore en rose. Les valeurs de l'indicateur de sensibilité des pathogènes à la succession a été rajoutée dans une colonne intitulée « Sensibilité » afin de guider les choix d'améliorations de la succession.

Tableau 4 : Extrait de l'étude des délais de retour observés ; cas d'une parcelle comportant des poireaux et choux.

Pour chacun des pathogènes (en ligne), les cultures hôtes sont représentées par une case noire et le délai de retour observé est inscrit en nombre de mois. L'espace entre 2 cases rouges se colore en vert si le délai de retour observé est supérieur ou égal au délai de retour préconisé ; en rouge dans le cas contraire. DR préc : délai de retour préconisé ; Chou romane : chou romanescos ; CFA : chou fleur d'automne ; CV : chou vert.

	Nom de parcelle	Sensibilité	DR préc	Succession					
				Chou romane	Chou romane	Blé d'hiver	Poireau	CFA + chou	Blé d'hiver
Poireau	Mildiou ( <i>P. porri</i> )	-	60	8	18,5		9,5	18,5	
	Rouille ( <i>Pu. porri</i> / <i>Pu. Allii</i> )	2	60	34,5				40,5	
	Bactériose ( <i>P. syringae pv porri</i> )	3	36	34,5				40,5	
	Racines roses ( <i>Py. terrestris</i> )	2	72	16,5		8		20	10,5
	Dépérissement ( <i>F. roseum var culmorum</i> )	1	48	16,5		8		20	10,5
Choux	Hernie ( <i>Pl. brassicae</i> )	3	72	8	32,5			18,5	
	Tache noire ( <i>M. brassicicola</i> )	3	24	8	32,5			18,5	
	Dépérissement ( <i>P. brassicae</i> )	2	60	8	32,5			18,5	

Cette étude de l'impact de la gestion de la succession permet de mettre en évidence les séquences de culture néfastes, et d'identifier vis-à-vis de quel(s) pathogène(s).

De plus, le report de la note de sensibilité de chaque pathogène sur les frises des successions permet de prioriser les améliorations à apporter à la succession, en favorisant le respect des délais de retour préconisés des pathogènes les plus sensibles à cette gestion.

#### **2.4. Caractérisation des effets de la gestion des résidus**

Le but est d'évaluer l'impact de la gestion des résidus sur le développement ou le maintien des pathogènes sur ces derniers après la récolte de la culture.

Il est nécessaire, afin d'évaluer les différentes modalités de gestion des résidus (enfouis, laissés en surface, retirés), de caractériser leur potentiel infectieux (c'est-à-dire leur capacité à multiplier le pathogène) vis-à-vis de chacun des pathogènes.

Bien qu'il soit aisé de trouver des conseils quant à la gestion des résidus, il est difficile de trouver des références bibliographiques permettant de les étayer. Il n'a donc pas été possible de caractériser précisément le potentiel infectieux des résidus pathogène par pathogène en fonction des différentes modalités de gestion des résidus. Toutefois, un point bibliographique a tout de même été réalisé et permet de rapporter des recommandations générales.

### 3. RESULTATS

#### 3.1. Caractérisation des effets des propriétés physicochimiques et biologiques des sols

Les résultats des parcelles présentant les mêmes caractéristiques sont regroupés ensemble.

##### **Val de Saire : P1/P3/P4/(P2)<sup>1</sup> et Mont saint Michel P9/P10**

La texture pauvre en argile et faible en matière organique de ces parcelles, ainsi que les résultats de mesure de stabilité structurale expliquent des problèmes de battance et de compaction.

Lors de la formation d'une croute de battance, le stress induit sur la culture (visible par la réduction de croissance) provoque une augmentation des risques d'attaques par des pathogènes de faiblesse, tels que les *Pythium* et *Rhizoctonia violaceae*. La croute est assimilable à une barrière imperméable entre le sol et l'atmosphère, ce qui accentue les rebondissements de la pluie sur la surface (effet « splash »). Ceci augmente les risques d'infection primaire de pathogènes s'attaquant aux parties aériennes qui atteignent les feuilles grâce à l'effet splash de la pluie comme c'est le cas pour *S. sclerotiorum*, *A. dauci*, *C. carotae*, *P. porri*, *Puccinia porri*, *Puccinia allii*, *Pseudomonas syringae* pv *porri*.

La compaction provoque une augmentation de l'humidité du sol et de la stagnation de l'eau. Ces conditions sont favorables au développement des champignons à forte affinité aquatique tels que les Pythiacées et les *Phytophthora*. Dans nos conditions, il s'agit plus particulièrement de *Pythium violae* et *Pythium sulcatum*, responsables du cavity spot sur carotte, *Phytophthora megasperma* et *Phytophthora* sp., responsables de la bague de la carotte, *Phytophthora porri*, le mildiou du poireau et *Phytophthora brassicae*, le dépérissement du chou. Par ailleurs, les excès d'eau dans le sol favorisent le maintien des pseudo-sclérotés de *R. violacea* et des formes de survie des *Phytophthora* spp.

Le pH des parcelles est légèrement basique, situé entre 7 et 8 (sauf P2 dont le pH est situé entre 6 et 7) et les teneurs en calcium sont très satisfaisantes. Ces types de sol sont suppressifs vis-à-vis des maladies dues à *S. scabies*, *Phytophthora brassicae*, *P. sulcatum* et *P. violae*, *S. minor*, *Plasmodiophora brassicae*.

Le sol de ces parcelles a une faible CEC, ce qui peut aboutir à une alimentation irrégulière du fait de la faible capacité à mettre en réserve les nutriments. La plante peut subir des périodes de carence plus ou moins longues qui peuvent les affaiblir et les prédisposer aux attaques de pathogènes, notamment ceux de faiblesse (*Pythium* et *Rhizoctonia violaceae*).

Les sols se caractérisent également par leur très faible teneur en matière organique. La matière organique du sol est importante pour l'installation d'une vie microbienne dense et diversifiée. Les sols pauvres en matières organiques tendent à être moins suppressifs vis-à-vis des maladies puisque les phénomènes de compétition et d'antagonismes entre microorganismes y sont rares.

##### **Val de Saire : P1/P3/P4/(P2)<sup>2</sup>**

---

<sup>1</sup> P2 présente quasiment les mêmes caractéristiques que les autres parcelles, bien qu'elle ait une meilleure stabilité, moins de risque de compaction et une teneur en phosphore normale et inférieure aux autres parcelles. Son pH est légèrement inférieur aux autres entre 6 et 7.

<sup>2</sup> P2 présente quasiment les mêmes caractéristiques que les autres parcelles, bien qu'elle ait une meilleure stabilité, moins de risque de compaction et une teneur en phosphore normale et inférieure aux autres parcelles. Son pH est légèrement inférieur aux autres entre 6 et 7.

Ces sols sont très bien fournis en magnésium, phosphore et potassium. Une forte teneur en magnésium participe à la diminution des symptômes de la hernie du chou (*Plasmodiophora brassicae*), en revanche elle est associée, dans certains sols, à une augmentation de la sévérité de la galle sur pomme de terre (*S. scabies*).

Une haute teneur en phosphore tend à diminuer les symptômes des maladies s'attaquant aux tissus jeunes en accélérant leur maturité. Mais dans certaines expérimentations, son apport augmente l'importance de la hernie du chou (*Plasmodiophora brassicae*) et du mildiou de la laitue (*Bremia lactucae*). Cependant, bien que le sol soit fourni en phosphore, il est possible qu'il ne soit pas disponible pour autant en étant indisponible.

La haute teneur en potassium est favorable pour les plantes car cet élément permet de contrôler de nombreuses maladies, bien qu'il semble favoriser la hernie du chou (*Plasmodiophora brassicae*) et le *Botrytis cinerea* sur choux.

### **Mont saint Michel P9/P10**

Ces sols sont très bien fournis en potassium. La haute teneur en potassium est favorable pour les plantes car cet élément permet de contrôler de nombreuses maladies, bien qu'il semble favoriser la hernie du chou (*Plasmodiophora brassicae*) et le *Botrytis cinerea* sur choux.

### **Côte ouest P5/P6/P7/P8**

La texture sableuse de ces parcelles favorise l'expression du rhizoctone violet (*R. violaceae*), le maintien des *Sclerotinia* (*S. minor* et *S. sclerotiorum*) et la fréquence des maladies dues aux *Fusarium* (par exemple, *Fusarium oxysporum*). Globalement, la plupart des maladies fongiques sont activées dans les sols sableux légers, au détriment des bactéries.

De plus ces parcelles ont une faible capacité de rétention de l'eau, ce qui peut conduire à de fortes fluctuations du statut hydrique du sol (sec, engorgé) et à une alimentation hydrique irrégulière de la plante. Les périodes de sécheresse sont propices au développement de *S. scabies*, agent responsable de la galle sur carotte et pomme de terre, qui est une bactérie strictement aérobie, mais aussi au *Fusarium roseum*, agent responsable des racines roses du poireau.

Les pH sont supérieurs à 8 et les teneurs en calcium (CaCO<sub>3</sub>) sont très satisfaisantes. Ces types de sol sont suppressifs vis-à-vis des maladies dues à *S. scabies*, *Phytophthora brassicae*, *P. sulcatum* et *P. violae*, *S. minor*, *Plasmodiophora brassicae*.

Le sol de ces parcelles a une faible CEC, ce qui peut aboutir à une alimentation irrégulière du fait de la faible capacité à mettre en réserve les nutriments. La plante va donc subir des périodes de carence plus ou moins longues qui peuvent les affaiblir et les prédisposer aux attaques de pathogènes, notamment ceux de faiblesse (*Pythium* et *Rhizoctonia violaceae*).

Les sols se caractérisent également par leur très faible teneur en matière organique. La matière organique du sol est importante pour l'installation d'une vie microbienne dense et diversifiée. Les sols pauvres en matières organiques tendent à être moins suppressifs vis-à-vis des maladies puisque les phénomènes de compétition et d'antagonismes entre microorganismes y sont rares.

Ces sols sont très bien fournis en magnésium. Une forte teneur en magnésium participe à la diminution des symptômes de la hernie du chou (*Plasmodiophora brassicae*), en revanche elle est associée, dans certains sols, à une augmentation de la sévérité de la galle sur pomme de terre (*S. scabies*).

La teneur en phosphore de ces parcelles est faible. Or, cet élément permet la maturation des tissus jeunes. Ainsi il faut prêter particulièrement attention aux maladies attaquant les tissus jeunes.

Ces résultats sont synthétisés dans le tableau 5 afin de mettre en évidence les risques associés à chaque parcelle.

Tableau 5 : Bilan des risques phytosanitaires en fonction des caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols. Un code couleur permet de visualiser le risque associé à chaque pathogène et pour chacune des parcelles (vert : pas ou peu de risque ; orange : risque modéré ; rouge : risque fort). Les chiffres à l'intérieur des cases correspondent au nombre de valeurs analysées étant favorables aux pathogènes.

Culture concernée	Bassin de production	Val de Saire				Côte-ouest				Mont saint Michel	
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Carotte	<i>Phytophthora</i>	7	4	6	5	2	2	2	4	2	3
	<i>C. carotae</i>	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
	<i>A. dauci</i>	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
	<i>Pythium</i>	5	3	5	4	1	1	1	3	2	2
	<i>R. violae</i>	3	1	3	2	2	2	2	2	1	0
	<i>S. sclerotiorum</i>	1	0	0	0	2	2	2	0	1	1
	<i>S. scabies</i>	4	1	2	2	3	3	3	1	2	2
Poireaux	<i>P. porri</i>	7	4	6	5	2	2	2	4	2	3
	<i>Pu. porri / Pu. allii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>P. syringae pv porri</i>	2	2	0	0	2	2	2	0	1	2
	<i>Py. terrestris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>F. roseum var culmorum</i>	2	2	1	1	2	2	2	0	2	1
Salade	<i>S. sclerotiorum</i>	1	0	0	0	2	2	2	0	1	1
	<i>S. minor</i>	1	0	0	0	2	2	2	0	1	1
	<i>S. lactucae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>B. lactucae</i>	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	<i>E. carotovora subsp. Carotovora</i>	2	2	0	0	2	2	2	0	1	2
	<i>P. cichorii</i>	2	2	0	0	2	2	2	0	1	2
	<i>X. campestris</i>	2	2	0	0	2	2	2	0	1	2
Chou	<i>Plasmo. brassicae</i>	4	1	2	2	3	3	3	1	1	1
	<i>M. brassicicola</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>P. brassicae</i>	7	4	6	5	2	2	2	4	2	3

Concernant le bassin du Val de Saire, la nature des sols des parcelles est particulièrement favorable au développement des *Phytophthora*, *Pythium* et *Plasmodiophora* ; pathogènes responsables de plusieurs maladies : cavity spot et maladie de la bague sur carottes, mildiou sur poireaux, dépérissement et hernie sur choux. On note des différences entre parcelles,

notamment vis-à-vis des bactéries (*P. syringae*, *E. carotovora* subsp. *carotovora* et *X. campestris*).

Les sols du bassin de la Côte-Ouest présentent des caractéristiques potentiellement favorables vis-à-vis de nombreux pathogènes, inféodés d'ailleurs à toutes les cultures d'intérêts de l'étude, mais avec une intensité globalement inférieure (dominante orange du code couleur) que les pathogènes favorisés dans le Val de Saire). Les parcelles P5, P6 et P7 présentent les mêmes caractéristiques et favorisent de nombreux pathogènes (5 des 7 de la carotte, 3 des 5 du poireau, 7 des 10 de la salade et 2 des 3 du chou). La parcelle P8 a un profil légèrement différent des autres du bassin et favorise un moins grand nombre de pathogènes, mais de manière plus intense, notamment les *Phytophthora*, responsables de la maladie de la bague sur carotte, le mildiou du poireau et le dépérissement du chou.

Les caractéristiques des sols des parcelles du Mont-Saint-Michel favorisent peu de pathogènes, bien que les bactéries inféodées à la salade le sont.

Les parcelles du Mont-Saint-Michel ont des profils différents et sont donc susceptibles de favoriser le développement de maladies différentes. La P9 ne favorise aucun pathogène de la salade, tandis que la P10 en favorise 4. Concernant les pathogènes inféodés aux autres cultures, on remarque une similarité entre les 2 parcelles (*Phytophthora*, *Pythium*, *S. scabies*).

## 3.2. Caractérisation des effets de la succession

### 3.2.1. Etude de la sensibilité des pathogènes à la succession

L'étude de la sensibilité des pathogènes à la succession permet de différencier les pathogènes en fonction de leur réceptivité à un aménagement de la succession en vue de respecter les délais de retour préconisés dans la littérature. En effet les pathogènes en fonction de leurs caractéristiques biologiques, écologiques et épidémiologiques répondent différemment à la gestion de la succession. Par exemple, un pathogène très polyphage, à bonne capacité saprophytique est persistant à l'échelle de la parcelle malgré le respect des délais de retour (Blancard 2003).

Les pathogènes sont dits non réceptifs dans 2 cas de figures : soit que le respect du délai de retour n'apporte pas de solution satisfaisante en terme de réduction de maladie sur la culture concernée soit qu'il n'est pas réalisable de respecter les délais de retour préconisés dans les types de succession des bassins de production étudiés. Dans notre étude, seul le premier cas est retrouvé car les délais de retour préconisés n'excèdent pas 60 mois, soit 5 années, ce qui est envisageable dans les systèmes considérés.

La réceptivité d'un pathogène est moyenne lorsque le respect du délai de retour donne des résultats variables ou un peu décevant ; et bonne lorsque il permet de contrôler le développement d'une maladie.

Tableau 6 : Evaluation de l'impact phytosanitaire de la gestion de la succession sur les 22 pathogènes présents dans les bassins de production étudiés. Signification des notes : 0 : pas d'effet ; 1 : peu d'effet ; 2 : bon effet ; 3 très bon effet ; - : pas de données.

Culture	Pathogènes associés	Durée de survie	Capacité saprophytique	Spectre d'hôte	Impact de la succession
Carotte	<i>Phytophthora</i>	inter	faible	fort	0
	<i>C. carotae</i>	courte	faible	faible	3

Culture	Pathogènes associés	Durée de survie	Capacité saprophytique	Spectre d'hôte	Impact de la succession
	<i>A. dauci</i>	courte	faible	faible	3
	<i>Pythium</i>	longue	inter	inter	0
	<i>R. violaceae</i>	longue	fort	fort	0
	<i>S. sclerotiorum</i>	longue	inter	fort	0
	<i>S. scabies</i>	longue	fort	fort	0
Poireau	<i>P. porri</i>	longue	faible	-	-
	<i>Pu. porri / Pu. Allii</i>	inter	0	faible	2
	<i>P. syringae pv porri</i>	courte	faible	faible	3
	<i>Py. terrestris</i>	longue	inter	fort	2
	<i>F. roseum var culmorum</i>	longue	fort	fort	1
Salade	<i>S. sclerotiorum</i>	longue	inter	fort	1
	<i>S. minor</i>	longue	inter	fort	1
	<i>S. lactucae</i>	-	-	faible	-
	<i>B. lactucae</i>	longue	faible	faible	-
	<i>E. carotovora subsp. carotovora</i>	-	inter	fort	-
	<i>P. cichorii</i>	longue	fort	fort	2
	<i>X. campestris</i>	courte	-	-	2
Choux	<i>Plasmo. brassicae</i>	longue	0	faible	3
	<i>M. brassicicola</i>	courte	-	faible	3
	<i>P. brassicae</i>	longue	faible	faible	2

Cela montre que seuls 11 pathogènes sur les 22 étudiés sont réceptifs aux modifications de la succession (5 très réceptifs (note de « 3 ») et 6 réceptifs (note de « 2 »)). En revanche la sensibilité des pathogènes à la succession est nul sur 6 pathogènes et non déterminé sur 5 pour cause de manque d'informations.

Tableau 7 : Pourcentage de pathogènes par culture réceptifs à la gestion de la succession en tant que moyen de contrôle.

	Carotte	Poireau	Salade	Chou
Pas d'effet (0)	5	0	0	0
Peu d'effet (1)	0	1	2	0
Bon effet (2)	0	2	2	1
Très bon effet (3)	2	1	0	2
Effet non connu (?)	0	1	3	0
<b>Proportion de pathogènes réceptifs (2+3)/(0+1+2+3)</b>	<b>29 %</b>	<b>75 %</b>	<b>50 %</b>	<b>100 %</b>

Par culture, l'impact phytosanitaire de la succession a globalement peu d'effet sur les pathogènes inféodés à la carotte (29 %) et à la salade (43 %). Par contre, la gestion de la succession semble particulièrement efficace vis-à-vis des pathogènes du chou (100 %) et du poireau (75 %).

### **3.2.2. Etude des délais de retours observés dans les systèmes de culture**

Pour chaque parcelle, l'étude a été réalisée sur les pathogènes des cultures d'intérêts présentes dans la succession, c'est-à-dire carottes, choux, poireaux, salades.

Les résultats sont présentés parcelle par parcelle sous forme de tableaux. Pour chaque parcelle, les pathogènes pris en compte correspondent aux cultures présentes dans la succession parmi les 4 cultures d'intérêt. Les 2 premières colonnes contiennent les noms des pathogènes et la culture à laquelle ils sont inféodés, la colonne suivante rappelle leur réceptivité à la gestion de la succession et la 4ème indique le délai de retour préconisé dans la littérature en mois. La suite du tableau représente la succession de la parcelle (nom des cultures) en mettant en évidence celles qui sont hôtes du pathogène considéré (case colorée en noire), les délais de retour observés entre 2 cultures hôtes (exprimés en mois). Lorsque le délai de retour observé est supérieur à celui qui est préconisé, la zone est colorée en vert, tandis que dans le cas inverse, la zone est colorée en rouge. Lorsqu'une zone n'est pas encadrée par 2 cultures hôtes (soit que la précédente culture hôte est antérieure à la succession prise en compte ici ou qu'elle n'a pas encore été implantée), elle reste blanche dans le cas où le temps constaté entre la culture hôte et le bornage de l'étude est inférieur au délai de retour préconisé ou elle se colore en vert si d'ores et déjà le temps constaté est supérieur au délai de retour préconisé.

## Parcelle 1

Culture concernée	Pathogènes	Sensibilité	DR préc o	Succession														
				Poireau		Pomme de		Blé d'hiver		brocoli		choux romane		brocoli		blé d'hiver		choux romane
Poireau	Mildiou ( <i>P. porri</i> )	-	60				27			1		3		3,5			2,5	
	Rouille ( <i>Pu. porri</i> / <i>Pu. Allii</i> )	2	60															
	Bactériose ( <i>P. syringae pv porri</i> )	3	36															
	Racines roses ( <i>Py. Terrestris</i> )	2	72			9					26						11,5	
	Dépérissement ( <i>F. roseum var culmorum</i> )	1	48			9					26						11,5	
Choux	Hernie ( <i>Plasmo. Brassicae</i> )	3	72	10			19,5			1		3		14			2,5	
	Tache noire ( <i>M. brassicicola</i> )	3	24			34				1		3		14			2,5	
	Dépérissement ( <i>P. brassicae</i> )	2	60	10			19,5			1		3		14			2,5	

La succession de la parcelle 1 présente des délais de retour globalement trop courts vis-à-vis des pathogènes associés aux cultures de chou et de poireaux. Le temps de retour entre 2 culture poireau, bien qu'inconnu à ce jour est d'ores et déjà suffisamment long pour respecter les délais de retour vis-à-vis de la rouille et de la bactériose. Par contre, la présence de cultures de blé d'hiver, capable d'héberger les pathogènes responsables des racines roses et du dépérissement ne permet pas d'avoir des délais de retour suffisamment longs.

Concernant le chou, les temps de retour des cultures sont bien trop courts, ce qui engendre des risques vis-à-vis de l'ensemble des pathogènes de cette culture.

Il serait intéressant de diversifier et d'allonger la succession notamment vis-à-vis de la maladie des racines roses du poireau en remplaçant le blé par une culture non hôte et d'augmenter les délais de retour entre les choux afin de bénéficier du fort impact phytosanitaire de la gestion de la succession sur les pathogènes de cette culture.

## Parcelle 2

Culture concernée	Pathogènes	Sensibilité	DR préc	Succession											
				Choux romane		CFA		Blé d'hiver		Poireau		CFA + chou		Blé d'hiver	
Poireau	Mildiou ( <i>P. porri</i> )	-	60		8			18			9,5			18,5	
	Rouille ( <i>Pu. porri</i> / <i>Pu. Allii</i> )	2	60	34,5						34					
	Bactériose ( <i>P. syringae pv porri</i> )	3	36	34,5						34					
	Racines roses ( <i>Py. Terrestris</i> )	2	72	16,5				8		13,5			10,5		
	Dépérissement ( <i>F. roseum var culmorum</i> )	1	48	16,5				8		13,5			10,5		
Choux	Hernie ( <i>Plasmo. Brassicae</i> )	3	72		8		32				18,5				
	Tache noire ( <i>M. brassicicola</i> )	3	24		8		32				18,5				
	Dépérissement ( <i>P. brassicae</i> )	2	60		8		32				18,5				

Cette succession présente un risque par rapport aux pathogènes du poireau et du chou. Concernant les pathogènes du poireau, il serait intéressant de remplacer le blé, capable d'héberger les agents responsables des racines roses et du dépérissement, par une autre culture non hôte. Concernant les pathogènes du chou, les autres espèces présentes dans la succession ne posent pas de problème, mais il serait nécessaire d'allonger les délais de retour en introduisant de nouvelles cultures. Il serait aussi important d'allonger les séquences entre culture de chou et de poireau afin d'augmenter les délais entre 2 cultures hôtes du *Phytophthora porri*.

Parcelle 3

Culture concernée	Pathogènes	Sensibilité	DR préc o	Succession													
				Blé prtps	Pomme de terre	CFA	Blé prtps	Poireau	Carotte	Mais grain	CFA	Poireau	Blé prtps	Avoine + Seigle	Chou fleur		
Carotte	Bague ( <i>P. megasperma</i> / <i>P. sp</i> )	0	60	13	0	30,5				20		21,5					
	Cercosporiose ( <i>C. carotae</i> )	3	36	51,5													
	Alternariose ( <i>A. dauci</i> )	3	12	51,5													
	Cavity ( <i>P. violae</i> / <i>P. sulcatum</i> )	0	36		18		21,5		39				15				
	Rhizo. violet ( <i>R. violaceae</i> )	0	60	13	0	30,5			20		29,5						
	Sclerotiniose ( <i>S. sclerotiorum</i> )	0	60	13	0	30,5			20		29,5						
	Gale ( <i>S. scabies</i> )	0	48	13	0	35,5			60								
Poireau	Mildiou ( <i>P. porri</i> )	-	60	16		18,5		33		6		19					
	Rouille ( <i>Pu. porri</i> / <i>Pu. Allii</i> )	2	60	39,5					43,5			25					
	Bactériose ( <i>P. syringae pv porri</i> )	3	36	39,5					43,5			25					
	Racines roses ( <i>Py. Terrestris</i> )	2	72		18		9,5	18,5		17,5	4		14				
	Dépérissement ( <i>F. roseum var culmorum</i> )	1	48		18		9,5	18,5		17,5	4		8				
Choux	Hernie ( <i>Plasmo. Brassicae</i> )	3	72	16		56					29,5						
	Tache noire ( <i>M. brassicicola</i> )	3	24	16		56					29,5						
	Dépérissement ( <i>P. brassicae</i> )	2	60	16		56					29,5						

Bien que cette succession soit variée et qu'elle permette de respecter les délais de retour de 2 à 3 pathogènes de la carotte, la présence de pomme de terre, de blé et de chou empêche d'obtenir les délais de retour adéquats pour le cavity, le rhizoctone violet, la sclérotiniose et la gale. Les délais de retour concernant les pathogènes du poireau sont globalement trop courts, notamment du fait de la présence du blé (hôte des agents responsables des racines roses et du dépérissement). Mais la succession semble être optimale vis-à-vis des pathogènes du chou (aucun autre hôte présent et délais de retour longs).

### Parcelle 4

Culture concernée	Pathogènes	Sensibilité	DR préc o	Succession															
				Blé	Pomme de terre	Chou fleur	Carotte	Pomme de terre	Brocoli	Blé	Poireau	Brocoli	Chou fleur	Pomme de terre	Blé	Choux	Blé	Avoine + seigle	Pomme de terre
Choux	Hernie ( <i>Plasmo. Brassicae</i> )	3	72	16			19,5			19,5		6,5		21			20,5		
	Tache noire ( <i>M. brassicicola</i> )	3	24	16			19,5			19,5		6,5		21			20,5		
	Dépérissement ( <i>P. brassicae</i> )	2	60	16			19,5			19,5		6,5		21			20,5		

L'analyse concernant les pathogènes du poireau n'a pas été réalisée car cette culture n'apparaît qu'une fois dans la succession. La succession vis-à-vis des pathogènes du chou ne respecte pas les délais de retour. Mais aucune autre culture n'est hôte. Il serait judicieux d'allonger les séquences entre 2 cultures de chou, notamment lorsque 2 cultures se retrouvent à la suite.

### Parcelle 5

Culture concernée	Pathogènes	Sensibilité	DR préc o	Succession												
				Carotte	Maïs	Carotte	Carotte	Maïs	Ray-grass	Carotte	Carotte	Poireau	Carotte	Maïs	Carotte	
Carotte	Bague ( <i>P. megasperma / P. sp</i> )	0	60		14,5		2,5		14,5		2,5		14,5		10	
	Cercosporiose ( <i>C. carotae</i> )	3	36		14,5		2,5		14,5		2,5		14,5		10	
	Alternariose ( <i>A. dauci</i> )	3	12		14,5		2,5		14,5		2,5		14,5		10	
	Cavity ( <i>P. violae / P. sulcatum</i> )	0	36		14,5		2,5	7,5		2,5		2,5	14,5		10	
	Rhizo. violet ( <i>R. violaceae</i> )	0	60		14,5		2,5		14,5		2,5		14,5		10	
	Sclerotiniose ( <i>S. sclerotiorum</i> )	0	60		14,5		2,5		14,5		2,5		14,5		10	
	Gale ( <i>S. scabies</i> )	0	48		14,5		2,5		14,5		2,5		14,5		10	
Poireau	Mildiou ( <i>P. porri</i> )	-	60					85							22	
	Rouille ( <i>Pu. porri / Pu. Allii</i> )	2	60					85							22	
	Bactériose ( <i>P. syringae pv porri</i> )	3	36					85							22	
	Racines roses ( <i>Py. Terrestris</i> )	2	72	10,5			29				32			13		12
	Dépérissement ( <i>F. roseum var culmorum</i> )	1	48	10,5			29				32			13		12



Le temps de retour entre 2 carottes est trop courts pour respecter les délais de retour vis-à-vis des pathogènes qui lui sont associées. La place du poireau dans la succession a permis de respecter en amont les délais de retour préconisés pour le mildiou, la rouille et la bactériose, mais pas vis-à-vis des racines roses et du dépérissement à cause de la présence de maïs.

### Parcelle 7

Culture concernée	Pathogènes	Sensibilité	DR préc	Succession															
				Poireau	Phacélie	Carotte	Poireau	Carotte	Carotte	Poireau	Carotte	Carotte	Moutarde	Poireau	Carotte				
Carotte	Bague ( <i>P. megasperma</i> )	0	60		23			14,5		2,5		13				0		12,5	
	Cercosporiose ( <i>C. daucifolia</i> )	3	36		23			14,5		2,5		13						14,5	
	Alternariose ( <i>A. daucifolia</i> )	3	12		23			14,5		2,5		13						14,5	
	Cavity ( <i>P. violae</i> / <i>P. violae</i> )	0	36		23			14,5		2,5		13						14,5	
	Rhizo. violet ( <i>R. violae</i> )	0	60		23			14,5		2,5		13						14,5	
	Sclerotiniose ( <i>S. daucifolia</i> )	0	60		8		2,5	14,5		2,5		13				0		12,5	
	Gale ( <i>S. scabiei</i> )	0	48		23			14,5		2,5		13						12	
Poireau	Mildiou ( <i>P. porri</i> )	-	60				29			30,5					27,5				12
	Rouille ( <i>Pu. porri</i> / <i>Pu. porri</i> )	2	60				29			30,5					27,5				12
	Bactériose ( <i>B. porri</i> )	3	36				29			30,5					27,5				12
	Racines roses ( <i>D. rosae</i> )	2	72				29			30,5					27,5				12
	Dépérissement ( <i>D. porri</i> )	1	48				29			30,5					27,5				12

L'ensemble de la succession présente des délais de retour trop courts, à la fois vis-à-vis des pathogènes de la carotte, mais aussi ceux du poireau. Il serait nécessaire d'allonger les temps de retour entre cultures similaires en introduisant des cultures nouvelles.

## Parcelle 8

Culture concernée	Pathogènes	Sensibilité	DR préc	Succession															
				Laitue	Poireau	Blé d'hiver	Laitue	Laitue	Poireau	Maïs	Poireau	Blé d'hiver	Céleri	Laitue	Avoine	Maïs			
Poireau	Mildiou ( <i>P. porri</i> )	-	60	4		20,5				8						48,5			
	Rouille ( <i>Pu. porri / Pu. Allii</i> )	2	60	4		20,5				8						48,5			
	Bactériose ou graisse ( <i>P. syringae pv porri</i> )	3	36	4		20,5				8						48,5			
	Racines roses ( <i>Py. Terrestris</i> )	2	72	4		0	12			5,5	0		0			33,5			
	Dépérissement ( <i>F. roseum var culmorum</i> )	1	48	4		0	12			5,5	0		0			26	1,5		
Salade	Sclerotiniose ( <i>S. sclerotiorum</i> )	1	60			12		5			32,5				7	14			
	Sclerotiniose ( <i>S. minor</i> )	1	60			12		5			44,5					14			
	Septoriose ( <i>S. lactucae</i> )	-	48			12		5			44,5					14			
	Mildiou ( <i>B. lactucae</i> )	-	36			12		5			44,5					14			
	Pourriture molle ( <i>E. carotovora subsp. Carotovora</i> )	-	36			12		5			32,5					14			
	Pourriture de la tige ( <i>P. cichorii</i> )	2	36			12		5			32,5					14			
	Tache bactérienne ( <i>X. campestris</i> )	2	36			12		5			44,5					14			

Les délais de retour associés aux pathogènes du poireau ne sont globalement pas respectés dans cette succession. La présence du blé et de maïs qui sont des cultures hôtes des racines roses et du dépérissement diminue ces délais de retour et n'est donc pas optimale. Les délais de retour entre salades sont également trop courts sauf au cours d'une séquence et vis-à-vis des agents responsables du mildiou et des taches bactériennes. Sans la culture de céleri, les délais auraient également été corrects vis-à-vis des agents responsables de la pourriture molle et de la pourriture de la tige.

## Parcelle 9

Culture concernée	Pathogènes	Sensibilité	DR préc o	Succession													
				Céleri rave		Maïs		Poireau		Céleri		Pomme de terre		Blé		Poireau	
Poireau	Mildiou ( <i>P. porri</i> )	-	60	25				38,5							24,5		
	Rouille ( <i>Pu. porri</i> / <i>Pu. Allii</i> )	2	60	25				38,5							24,5		
	Bactériose ou graisse ( <i>P. syringae</i> pv <i>porri</i> )	3	36	25				38,5							24,5		
	Racines roses ( <i>Py. Terrestris</i> )	2	72	12		6		18,5					1,5		16		
	Dépérissement ( <i>F. roseum</i> var <i>culmorum</i> )	1	48	12		6		18,5					1,5		16		

Les délais de retour vis-à-vis des pathogènes associés au poireau sont trop courts du fait du temps de retour entre 2 cultures de poireaux pour le mildiou, la rouille et la bactériose; et du fait de la présence de maïs et de blé qui sont hôtes des agents responsables des racines roses et du dépérissement. Il serait nécessaire d'allonger la succession et de la diversifier.

Parcelle 10

Culture concernée	Pathogènes	Sensibilité	DR préc	Succession																
				Carotte	Pomme de terre	Blé d'hiver	Poireau	Céleri	Maïs	Blé d'hiver	Pomme de terre	Poireau	Maïs	Navet	Blé d'hiver	Salade	Céleri			
Carotte	Bague ( <i>P. megasperma</i> / <i>P. sp</i> )	0	60	5,5		54							66							
	Cercosporiose ( <i>C. carotae</i> )	3	36		137,5															
	Alternariose ( <i>A. dauci</i> )	3	12		137,5															
	Cavity ( <i>P. violae</i> / <i>P. sulcatum</i> )	0	36	11,5		10		7			49,5				8,5					
	Rhizo. violet ( <i>R. violaceae</i> )	0	60	5,5		54		7			29,5				31,5					
	Sclerotiniose ( <i>S. sclerotiorum</i> )	0	60	5,5		20		24			29,5			12		6				
	Gale ( <i>S. scabies</i> )	0	48	5,5		54					29,5				31,5					
Poireau	Mildiou ( <i>P. porri</i> )	-	60	25,5				50,5					48,5							
	Rouille ( <i>Pu. porri</i> / <i>Pu. Allii</i> )	2	60	25,5				50,5					48,5							
	Bactériose ou graisse ( <i>P. syringae</i> pv <i>porri</i> )	3	36	25,5				50,5					48,5							
	Racines roses ( <i>Py. Terrestris</i> )	2	72	15,5		13		0		21,5			10,5		19,5					
	Dépérissement ( <i>F. roseum</i> var <i>culmorum</i> )	1	48	15,5		13		0		21,5			10,5		19,5					
Salade	Sclerotiniose ( <i>S. sclerotiorum</i> )	1	60	5,5		20		24		29,5			12		6					
	Sclerotiniose ( <i>S. minor</i> )	1	60					122								17				
	Septoriose ( <i>S. lactucae</i> )	-	48					122								17				
	Mildiou ( <i>B. lactucae</i> )	-	36					122								17				
	Pourriture molle ( <i>E. carotovora</i> subsp. <i>Carotovora</i> )	-	36	9,5		20		24		29,5			12		6					
	Pourriture de la tige ( <i>P. cichorii</i> )	2	36		35,5					76,5					6					
	Tache bactérienne ( <i>X. campestris</i> )	2	36						122							17				

La succession est diversifiée et les temps de retour entre 2 cultures identiques sont globalement longs. Malgré cela, certains délais de retour ne sont pas respectés, notamment vis-à-vis des agents responsables de la sclérotiniose (carotte et salade), mais ce pathogène a un spectre d'hôte très étendu, il est donc difficile de mettre au point une succession respectant les délais de retour préconisé de 5 ans (60 mois). Les délais de retour préconisés pour les racines roses et le dépérissement du poireau ne sont pas non plus respectés, du fait de la présence dans la rotation de maïs et de blé. Par ailleurs, la pomme de terre et le navet peuvent héberger le rhizoctone violet, la sclérotiniose et la galle qui sont associés à la carotte, ce qui rend les délais de retour de ces pathogènes trop courts.



Vis-à-vis des pathogènes de la carotte, on remarque que les successions observées sur l'ensemble des parcelles sont susceptibles d'aggraver la situation phytosanitaire. Les délais de retour ne sont respectés que pour 2 pathogènes (sur 7), mais pour les pathogènes les plus réceptifs, ce qui constitue une bonne optimisation.

Les successions des parcelles ont globalement un impact négatif sur la situation phytosanitaire des pathogènes du poireau. Les délais de retour ne sont respectés que dans un cas (P1) et vis-à-vis de seulement 2 pathogènes. Il serait intéressant de travailler ces successions afin de respecter les délais de retour des pathogènes qui sont réceptifs à la gestion de la succession, ce qui concerne au moins 3 des pathogènes ici présents.

### 3.3. Caractérisation des effets de la gestion des résidus

La manière de gérer les résidus au sein du système de culture a une influence sur le développement des maladies car ils peuvent servir de réservoir pour les inocula de pathogènes (support physique et ou source nutritionnelle). En effet, les tissus colonisés du vivant de la plante jouent un rôle essentiel pour la survie des pathogènes : ils assurent une passerelle entre 2 hôtes successifs (Davet 1996). La gestion optimale des résidus de culture infectés a pour but d'éviter le maintien des propagules en l'absence de cultures hôtes.

**L'enfouissement** des résidus à l'aide d'un labour peut réduire la densité d'inoculum dans le sol, priver le pathogène de son hôte et créer des conditions qui favorisent la croissance d'autres microorganismes au dépens du pathogène (Bailey and Lazarovits 2003). L'incorporation des débris végétaux lors du labour ne tue pas nécessairement le pathogène, mais rend l'inoculum inopérant. Par exemple, il vaut mieux enfouir des résidus de salade infectés de *S. sclerotiorum* plutôt que de les laisser en surface. En effet, seuls les sclérotés contenus dans les premiers cm de sol sont capables de germer et de produire des apothécies qui libéreront les ascospores responsables des infections primaires (Lepoivre 2003). Une autre possibilité est d'enlever mécaniquement les résidus. Cette option est particulièrement judicieuse lorsque l'inoculum est concentré dans les parties aériennes de la plante (Lepoivre 2003). En effet, pour *Bremia lactucae* et *Sclerotinia* sp. qui produisent respectivement oospores et sclérotés dans les feuilles et les tiges, les résidus sont hautement infectieux et devraient donc être retirés de la parcelle (Palti 1981).

Par contre, il faut éviter d'incorporer des résidus susceptibles d'héberger des pathogènes à propagule mobiles (*Pythium* sp., *Phytophthora* sp.). En effet, ces derniers pourront alors aisément atteindre les racines de la culture (Palti 1981).

Enfin, si l'enfouissement des résidus est pratiqué couramment, il convient de prendre garde au nombre de labour réalisés entre la fin d'une culture hôte et l'implantation de la suivante car ce travail du sol est susceptible de remonter en surface des résidus infectés.

Une autre option est **d'enfouir dans les couches superficielles** de sol les résidus. Ce traitement aboutit à une augmentation de la matière organique dans le sol mais aussi du nombre de pathogènes. Il est donc important de favoriser conjointement l'activation des saprophytes du sol afin de contenir les populations pathogènes par le biais notamment de la gestion de l'humidité, de la rotation, des amendements (Palti 1981).

Une autre modalité consiste au **brûlage** des résidus. Bien qu'on prête lui souvent des vertus sanitaires, cette action a une utilité limitée pour le contrôle des maladies des plantes car les températures du sol obtenues sont rarement assez intense et uniforme, que ce soit en surface

ou dans la couche superficielle pour tuer les structures de survie qui y résident (Bailey and Lazarovits 2003). De plus, cette pratique est soumise à réglementation.

Le fait de **laisser les résidus en surface** plutôt que de les enfouir constitue dans certains cas une bonne chose. En effet, certains pathogènes sporulent plus longtemps lorsqu'ils sont contenus sur des résidus en surface plutôt que sur des résidus enfouis (Krupinsky, Bailey et al. 2002). Cependant, la survie d'autres pathogènes est meilleure sur les résidus enfouis que ceux laissés à la surface (Buchwaldt, Morrall et al. 1996).

Il est difficile de trouver un consensus dans la littérature, concernant les effets des différentes modalités de gestion des résidus ; celles-ci étant dépendantes du contexte pédoclimatique et du(es) pathogène(s) considéré(s).

Les préconisations propres aux pathogènes de l'étude sont regroupées dans le tableau suivant (tableau 9).

Tableau 9 : Préconisations de gestion des résidus par pathogène.

Culture concernée	Nom scientifique du pathogène	Nom de la maladie occasionnée	Préconisations vis-à-vis des résidus de culture	Référence biblio
Carotte	<i>Phytophthora megasperma</i> / <i>P. sp</i>	Bague	éviter leur enfouissement	(Palti 1981) / (Villeneuve 1992)
	<i>Cercospora carotae</i>	Cercosporiose	les enfouir	(Farrar, Pryor et al. 2004)
	<i>Alternaria dauci</i>	Alternariose	les enfouir	(Farrar, Pryor et al. 2004)
	<i>Pythium violae</i> / <i>P. sulcatum</i>	Cavity	éviter leur enfouissement	(Palti 1981)
	<i>Rhizoctonia violaceae</i>	Rhizoctone violet	les retirer	(Richard 1994)
	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Sclerotiniose	les enfouir profondément	(Kora, McDonald et al. 2003)
	<i>Streptomyces scabies</i>	Gale	-	-
Poireau	<i>Phytophthora porri</i>	Mildiou	les retirer ou les composter avant de les remettre dans la parcelle / éviter leur enfouissement	(Palti 1981)
	<i>Puccinia porri</i> / <i>P. Allii</i>	Rouille	les retirer	(Sileban and normandie)
	<i>Pseudomonas syringae</i> pv <i>porri</i>	Bactériose	les retirer ou les épandre sur une parcelle qui vient d'être cultivée en poireau	(Overbeek, Nijhuis et al. 2010)
	<i>Pyrenochaeta terrestris</i>	Racines roses	les retirer	(OEPP/EPPO 1994)

Culture concernée	Nom scientifique du pathogène	Nom de la maladie occasionnée	Préconisations vis-à-vis des résidus de culture	Référence biblio
	<i>Fusarium roseum</i> var <i>culmorum</i>	Dépérissement	-	-
Salade	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Sclerotiniose	les retirer ou les enfouir	(Lepoivre 2003)/ (Palti 1981)
	<i>Sclerotinia minor</i>	Sclerotiniose	les retirer	(Palti 1981)
	<i>Septoria lactucae</i>	Septoriose	les retirer	(Blancard 2003)
	<i>Bremia lactucae</i>	Mildiou	les retirer et s'il en reste les enfouir profondément	(Palti 1981)/ (Blancard 2003)
	<i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovora</i>	Pourriture molle	les retirer	(Blancard 2003)
	<i>Pseudomonas cichorii</i>	Pourriture de la tige	les retirer	(Blancard 2003)
	<i>Xanthomonas campestris</i>	Tache bactérienne	les retirer	(Blancard 2003)
Choux	<i>Plasmiodiophora brassicae</i>	Hernie	les enfouir profondément	(Walker 2005)
	<i>Mycosphaerella brassicicola</i>	Tache noire	les retirer	(OEPP/EPPO 1994)
	<i>Phytophthora brassicae</i>	Dépérissement	éviter leur enfouissement	(Palti 1981)

On remarque que les préconisations les plus citées sont de retirer les résidus (concerne 16 pathogènes sur les 22 pour lesquels on dispose de préconisation) et de les enfouir (5/24). Par contre, il est explicitement déconseillé d'enfouir les résidus sous peine d'aggraver les maladies causées par les pathogènes suivants : *Phytophthora megasperma*, *Rhizoctonia violaceae*, *Erwinia carotovora* et *Xanthomonas campestris*. Pour aucun des pathogènes de l'étude il n'a été préconisé de laisser les résidus en surface dans la parcelle.

Nous pouvons conclure que la meilleure façon de gérer les résidus vis-à-vis des pathogènes retrouvés dans nos bassins de production est de les retirer, quelque soit la culture considérée (parmi les 4 d'intérêt).

### 3.4. Bilan

Il s'agit maintenant de comparer pour chaque parcelle les pathogènes susceptibles d'être favorisés d'après l'analyse de sol et de la succession avec les dires des producteurs. La question posée aux producteurs était : « Quelles maladies posent problème malgré la stratégie fongique mise en place? ». Ne sont donc cités ici que les pathogènes qui s'expriment en cours de culture malgré les pratiques culturales : irrigation, fertilisation, travail du sol et protection chimique.

Tableaux 10 à 21 : Comparaison entre les risques émanant des analyses de sol et de succession et les dires des producteurs.

P1	Pathogènes	Sol	Succe sion	Dires Prod
Carotte	<i>Phytophthora</i>		-	-
	<i>C. carotae</i>		-	-
	<i>A. dauci</i>		-	-
	<i>Pythium</i>		-	-
	<i>R. violae</i>		-	-
	<i>S. sclerotiorum</i>		-	-
	<i>S. scabies</i>		-	-
Poireaux	<i>P. porri</i>			
	<i>Pu. porri / Pu. allii</i>			
	<i>P. syringae pv porri</i>			
	<i>Py. terrestris</i>			
	<i>F. roseum var culmorum</i>			
Salade	<i>S. sclerotiorum</i>		-	-
	<i>S. minor</i>		-	-
	<i>S. lactucae</i>		-	-
	<i>B. lactucae</i>		-	-
	<i>E. carotovora subsp. Carotovora</i>		-	-
	<i>P. cichorii</i>		-	-
	<i>X. campestris</i>		-	-
Chou	<i>Plasmo. brassicae</i>			
	<i>M. brassicicola</i>			
	<i>P. brassicae</i>			

P2	Pathogènes	Sol	Succe sion	Dires Prod
Carotte	<i>Phytophthora</i>		-	-
	<i>C. carotae</i>		-	-
	<i>A. dauci</i>		-	-
	<i>Pythium</i>		-	-
	<i>R. violae</i>		-	-
	<i>S. sclerotiorum</i>		-	-
	<i>S. scabies</i>		-	-
Poireaux	<i>P. porri</i>			
	<i>Pu. porri / Pu. allii</i>			
	<i>P. syringae pv porri</i>			
	<i>Py. terrestris</i>			
	<i>F. roseum var culmorum</i>			
Salade	<i>S. sclerotiorum</i>		-	-
	<i>S. minor</i>		-	-
	<i>S. lactucae</i>		-	-
	<i>B. lactucae</i>		-	-
	<i>E. carotovora subsp. Carotovora</i>		-	-
	<i>P. cichorii</i>		-	-
	<i>X. campestris</i>		-	-
Chou	<i>Plasmo. brassicae</i>			
	<i>M. brassicicola</i>			
	<i>P. brassicae</i>			

P3	Pathogènes	Sol	Succe sion	Dires Prod
----	------------	-----	---------------	---------------

P4	Pathogènes	Sol	Succe sion	Dires Prod
----	------------	-----	---------------	---------------

P3	Pathogènes	Sol	Succe ssion	Dires Prod
Carotte	<i>Phytophthora</i>			
	<i>C. carotae</i>			
	<i>A. dauci</i>			
	<i>Pythium</i>			
	<i>R. violae</i>			
	<i>S. sclerotiorum</i>			
	<i>S. scabies</i>			
Poireaux	<i>P. porri</i>			
	<i>Pu. porri / Pu. allii</i>			
	<i>P. syringae pv porri</i>			
	<i>Py. terrestris</i>			
	<i>F. roseum var culmorum</i>			
Salade	<i>S. sclerotiorum</i>		-	-
	<i>S. minor</i>		-	-
	<i>S. lactucae</i>		-	-
	<i>B. lactucae</i>		-	-
	<i>E. carotovora subsp. Carotovora</i>		-	-
	<i>P. cichorii</i>		-	-
	<i>X. campestris</i>		-	-
Chou	<i>Plasmo. brassicae</i>			
	<i>M. brassicicola</i>			
	<i>P. brassicae</i>			

P4	Pathogènes	Sol	Succe ssion	Dires Prod
Carotte	<i>Phytophthora</i>		-	-
	<i>C. carotae</i>		-	-
	<i>A. dauci</i>		-	-
	<i>Pythium</i>		-	-
	<i>R. violae</i>		-	-
	<i>S. sclerotiorum</i>		-	-
	<i>S. scabies</i>		-	-
Poireaux	<i>P. porri</i>		-	-
	<i>Pu. porri / Pu. allii</i>		-	-
	<i>P. syringae pv porri</i>		-	-
	<i>Py. terrestris</i>		-	-
	<i>F. roseum var culmorum</i>		-	-
Salade	<i>S. sclerotiorum</i>		-	-
	<i>S. minor</i>		-	-
	<i>S. lactucae</i>		-	-
	<i>B. lactucae</i>		-	-
	<i>E. carotovora subsp. Carotovora</i>		-	-
	<i>P. cichorii</i>		-	-
	<i>X. campestris</i>		-	-
Chou	<i>Plasmo. brassicae</i>			
	<i>M. brassicicola</i>			
	<i>P. brassicae</i>			

P5	Pathogènes	Sol	Succe ssion	Dires Prod
Carotte	<i>Phytophthora</i>			

P6	Pathogènes	Sol	Succe ssion	Dires Prod
Carotte	<i>Phytophthora</i>			

P5	Pathogènes	Sol	Succe ssion	Dires Prod
	<i>C. carotae</i>			
	<i>A. dauci</i>			
	<i>Pythium</i>			
	<i>R. violae</i>			
	<i>S. sclerotiorum</i>			
	<i>S. scabies</i>			
Poireaux	<i>P. porri</i>			
	<i>Pu. porri / Pu. allii</i>			
	<i>P. syringae pv porri</i>			
	<i>Py. terrestris</i>			
	<i>F. roseum var culmorum</i>			
Salade	<i>S. sclerotiorum</i>		-	-
	<i>S. minor</i>		-	-
	<i>S. lactucae</i>		-	-
	<i>B. lactucae</i>		-	-
	<i>E. carotovora subsp. Carotovora</i>		-	-
	<i>P. cichorii</i>		-	-
	<i>X. campestris</i>		-	-
Chou	<i>Plasmo. brassicae</i>		-	-
	<i>M. brassicicola</i>		-	-
	<i>P. brassicae</i>		-	-

P6	Pathogènes	Sol	Succe ssion	Dires Prod
	<i>C. carotae</i>			
	<i>A. dauci</i>			
	<i>Pythium</i>			
	<i>R. violae</i>			
	<i>S. sclerotiorum</i>			
	<i>S. scabies</i>			
Poireaux	<i>P. porri</i>			
	<i>Pu. porri / Pu. allii</i>			
	<i>P. syringae pv porri</i>			
	<i>Py. terrestris</i>			
	<i>F. roseum var culmorum</i>			
Salade	<i>S. sclerotiorum</i>		-	-
	<i>S. minor</i>		-	-
	<i>S. lactucae</i>		-	-
	<i>B. lactucae</i>		-	-
	<i>E. carotovora subsp. Carotovora</i>		-	-
	<i>P. cichorii</i>		-	-
	<i>X. campestris</i>		-	-
Chou	<i>Plasmo. brassicae</i>		-	-
	<i>M. brassicicola</i>		-	-
	<i>P. brassicae</i>		-	-

P7	Pathogènes	Sol	Succe ssion	Dires Prod
Carotte	<i>Phytophthora</i>			
	<i>C. carotae</i>			
	<i>A. dauci</i>			

P8	Pathogènes	Sol	Succe ssion	Dires Prod
Carotte	<i>Phytophthora</i>		-	-
	<i>C. carotae</i>		-	-
	<i>A. dauci</i>		-	-

P7	Pathogènes	Sol	Succe sion	Dires Prod
	<i>Pythium</i>			
	<i>R. violae</i>			
	<i>S. sclerotiorum</i>			
	<i>S. scabies</i>			
Poireaux	<i>P. porri</i>			
	<i>Pu. porri / Pu. allii</i>			
	<i>P. syringae pv porri</i>			
	<i>Py. terrestris</i>			
	<i>F. roseum var culmorum</i>			
Salade	<i>S. sclerotiorum</i>		-	-
	<i>S. minor</i>		-	-
	<i>S. lactucae</i>		-	-
	<i>B. lactucae</i>		-	-
	<i>E. carotovora subsp. Carotovora</i>		-	-
	<i>P. cichorii</i>		-	-
	<i>X. campestris</i>		-	-
Chou	<i>Plasmo. brassicae</i>		-	-
	<i>M. brassicicola</i>		-	-
	<i>P. brassicae</i>		-	-

P8	Pathogènes	Sol	Succe sion	Dires Prod
	<i>Pythium</i>		-	-
	<i>R. violae</i>		-	-
	<i>S. sclerotiorum</i>		-	-
	<i>S. scabies</i>		-	-
Poireaux	<i>P. porri</i>			
	<i>Pu. porri / Pu. allii</i>			
	<i>P. syringae pv porri</i>			
	<i>Py. terrestris</i>			
	<i>F. roseum var culmorum</i>			
Salade	<i>S. sclerotiorum</i>			
	<i>S. minor</i>			
	<i>S. lactucae</i>			
	<i>B. lactucae</i>			
	<i>E. carotovora subsp. Carotovora</i>			
	<i>P. cichorii</i>			
	<i>X. campestris</i>			
Chou	<i>Plasmo. brassicae</i>		-	-
	<i>M. brassicicola</i>		-	-
	<i>P. brassicae</i>		-	-

P9	Pathogènes	Sol	Succe sion	Dires Prod
Carotte	<i>Phytophthora</i>		-	-
	<i>C. carotae</i>		-	-
	<i>A. dauci</i>		-	-
	<i>Pythium</i>		-	-
	<i>R. violae</i>		-	-

P10	Pathogènes	Sol	Succe sion	Dires Prod
Carotte	<i>Phytophthora</i>			
	<i>C. carotae</i>			
	<i>A. dauci</i>			
	<i>Pythium</i>			
	<i>R. violae</i>			

P9	Pathogènes	Sol	Succe ssion	Dires Prod
	<i>S. sclerotiorum</i>		-	-
	<i>S. scabies</i>		-	-
Poireaux	<i>P. porri</i>			
	<i>Pu. porri / Pu. allii</i>			
	<i>P. syringae pv porri</i>			
	<i>Py. terrestris</i>			
	<i>F. roseum var culmorum</i>			
Salade	<i>S. sclerotiorum</i>		-	-
	<i>S. minor</i>		-	-
	<i>S. lactucae</i>		-	-
	<i>B. lactucae</i>		-	-
	<i>E. carotovora subsp. Carotovora</i>		-	-
	<i>P. cichorii</i>		-	-
	<i>X. campestris</i>		-	-
Chou	<i>Plasmo. brassicae</i>		-	-
	<i>M. brassicicola</i>		-	-
	<i>P. brassicae</i>		-	-

P10	Pathogènes	Sol	Succe ssion	Dires Prod
	<i>S. sclerotiorum</i>			
	<i>S. scabies</i>			
Poireaux	<i>P. porri</i>			
	<i>Pu. porri / Pu. allii</i>			
	<i>P. syringae pv porri</i>			
	<i>Py. terrestris</i>			
	<i>F. roseum var culmorum</i>			
Salade	<i>S. sclerotiorum</i>			
	<i>S. minor</i>			
	<i>S. lactucae</i>			
	<i>B. lactucae</i>			
	<i>E. carotovora subsp. Carotovora</i>			
	<i>P. cichorii</i>			
	<i>X. campestris</i>			
Chou	<i>Plasmo. brassicae</i>		-	-
	<i>M. brassicicola</i>		-	-
	<i>P. brassicae</i>		-	-

P11	Pathogènes	Sol	Succe ssion	Dires Prod
Carotte	<i>Phytophthora</i>			
	<i>C. carotae</i>			
	<i>A. dauci</i>			
	<i>Pythium</i>			
	<i>R. violae</i>			
	<i>S. sclerotiorum</i>			

P12	Pathogènes	Sol	Succe ssion	Dires Prod
Carotte	<i>Phytophthora</i>		-	-
	<i>C. carotae</i>		-	-
	<i>A. dauci</i>		-	-
	<i>Pythium</i>		-	-
	<i>R. violae</i>		-	-
	<i>S. sclerotiorum</i>		-	-

P11	Pathogènes	Sol	Succe ssion	Dires Prod
	<i>S. scabies</i>			
Poireaux	<i>P. porri</i>			
	<i>Pu. porri / Pu. allii</i>			
	<i>P. syringae pv porri</i>			
	<i>Py. terrestris</i>			
	<i>F. roseum var culmorum</i>			
Salade	<i>S. sclerotiorum</i>		-	-
	<i>S. minor</i>		-	-
	<i>S. lactucae</i>		-	-
	<i>B. lactucae</i>		-	-
	<i>E. carotovora subsp. Carotovora</i>		-	-
	<i>P. cichorii</i>		-	-
	<i>X. campestris</i>		-	-
Chou	<i>Plasmo. brassicae</i>		-	-
	<i>M. brassicicola</i>		-	-
	<i>P. brassicae</i>		-	-

P12	Pathogènes	Sol	Succe ssion	Dires Prod
	<i>S. scabies</i>		-	-
Poireaux	<i>P. porri</i>		-	-
	<i>Pu. porri / Pu. allii</i>		-	-
	<i>P. syringae pv porri</i>		-	-
	<i>Py. terrestris</i>		-	-
	<i>F. roseum var culmorum</i>		-	-
Salade	<i>S. sclerotiorum</i>			
	<i>S. minor</i>			
	<i>S. lactucae</i>			
	<i>B. lactucae</i>			
	<i>E. carotovora subsp. Carotovora</i>			
	<i>P. cichorii</i>			
	<i>X. campestris</i>			
Chou	<i>Plasmo. brassicae</i>			
	<i>M. brassicicola</i>			
	<i>P. brassicae</i>			

NB. Les analyses de sol n'ont pas été réalisées sur les parcelles 11 et 12.

Seuls 2 producteurs évoquent des soucis fongiques malgré leur stratégie de protection contre les maladies. Les pathogènes qu'ils citent sont également ceux retrouvés comme problématiques dans l'analyse.

## 4. DISCUSSION CONCLUSION

### 4.1. L'influence de la nature des sols sur les risques phytosanitaires

Globalement, ce sont les caractéristiques physiques plutôt que chimiques des sols de ces parcelles qui peuvent être problématiques vis-à-vis des pathogènes (sauf cas particulier type pH et *Plasmodiophora brassicae*, agent responsable de la hernie du chou). Les facteurs physiques étant prédominant sur le déterminisme des risques phytosanitaires, cependant parmi ceux-ci nous ne pouvons jouer que sur la structure du sol, c'est donc cet aspect qu'il apparaît crucial de chercher à améliorer.

Les résultats de cette étude permettent de lister les pathogènes susceptibles d'être favorisés par les propriétés physicochimiques et biologiques des sols. Mais ceci est à nuancer du fait que la quantité d'informations disponibles sur 22 pathogènes considérés ici est inégale. Et l'hétérogénéité du degré de connaissances disponibles pour chacun d'entre eux entraîne certainement un biais dans l'analyse. En effet, plus on dispose de connaissances sur un pathogène et plus il est aisé de déterminer l'effet de propriétés sur son développement et de voir son nom apparaître.

Par ailleurs, il aurait été intéressant de caractériser la sensibilité des pathogènes vis-à-vis de chacune des composantes de l'analyse de sol. Ceci aurait permis de moduler les risques en fonction de l'importance relative qu'exerce chacune des composantes du sol (physique chimique et biologique) sur le développement du pathogène. Mais un manque de connaissances biologiques notamment rend impossible cette démarche.

Cette partie d'étude a permis d'identifier les pathogènes susceptibles d'être favorisés au regard des caractéristiques physicochimiques et biologiques des parcelles et de mettre en avant les pratiques culturales défavorables : à savoir toutes celles qui sont susceptibles de dégrader la structure du sol, telles que le non apport de matières organiques, le travail du sol excessif et les passages d'engins lourds en mauvaises conditions...

### 4.2. La gestion de la succession pour limiter les risques phytosanitaires

Les successions peuvent permettre de limiter l'expression de certaines maladies en appauvrissant le stock d'inoculum, par épuisement via l'augmentation du délai de retour entre 2 cultures hôtes ou par augmentation de la mortalité via l'introduction de cultures dites assainissantes. Il aurait été intéressant de définir si l'introduction de cultures assainissantes permettrait de réduire le délai de retour entre 2 cultures hôtes et le cas échéant de combien de temps. Malheureusement, il n'a pas été possible d'avoir ce type d'information, nous préconisons donc de respecter le délai de retour malgré l'introduction d'une telle culture.

L'étude réalisée permet d'identifier pour chaque parcelle les enchaînements culturaux de la succession les plus problématiques et de cibler vis-à-vis de(s) quel(s) pathogène(s) ils le sont. Elle permet également d'identifier des cultures particulièrement néfastes d'un point de vue phytosanitaire ou de choisir d'introduire des cultures intermédiaires assainissantes. Ceci peut s'avérer utile dans le cadre de la conception de systèmes de culture innovants ayant pour objectif de diminuer l'emploi des produits phytosanitaires. De plus la représentation sous forme de tableau offre une vision globale de la succession, utile dans le travail de modification / amélioration afin d'éviter d'éventuels effets indésirables non anticipés. Par exemple, l'introduction d'une graminée pour limiter le stock de *S. sclerotiorum* ne devra pas être réalisée dans une parcelle ayant un historique de dépérissement du poireau puisque les

pathogènes qui en sont responsables (*Fusarium roseum* var. *culmorum* et *F. avenaceum*) peuvent être hébergés par ces dernières (Villeneuve, Janvier et al. 2009).

### **4.3. La gestion des résidus pour limiter les risques phytosanitaires**

De l'analyse de la gestion des résidus, il ressort que la modalité présentant le moins de risque du point de vue phytopathologique est de retirer les résidus. Mais d'un point de vue agronomique, il est nécessaire de tempérer car l'incorporation des résidus dans le sol de la parcelle présente de nombreux bénéfices. En effet, ils représentent une source de matière organique qui améliore la structure du sol, augmente sa capacité de rétention en eau et sa richesse nutritive et limite les phénomènes d'érosion. Dans notre contexte de déficit structural, on peut considérer que les effets bénéfiques de l'incorporation des résidus sont prépondérants dans le cas où ces derniers sont faiblement infestés.

Par ailleurs, il n'a pas été possible d'aller plus loin dans l'analyse à cause d'un manque de connaissances disponibles dans la bibliographie sur la biologie et l'épidémiologie des pathogènes. Mais pour améliorer l'évaluation de l'impact de la gestion des résidus sur le développement ou maintien des pathogènes, il aurait été souhaitable de réaliser, de la même manière que pour l'étude de la succession, une étude de la sensibilité des pathogènes à la gestion des résidus. Pour ce faire, il aurait fallu caractériser le degré de dépendance des pathogènes aux résidus pour leur maintien en l'absence de la culture hôte. En effet, les pathogènes peuvent se maintenir de diverses façon en absence de la culture hôte, notamment par le biais d'hôtes intermédiaires (adventices en bord de parcelle), en saprophyte grâce à la matière organique contenue dans le sol ou en survie dans le sol. Il est donc nécessaire d'évaluer la contribution des résidus dans le maintien des pathogènes afin de déterminer leur sensibilité à ce levier. Par exemple, le maintien en absence de la culture étudiée d'un pathogène très polyphage et saprophyte sera très peu dépendant de la présence de résidus pour se maintenir ; sa sensibilité à la gestion des résidus sera donc faible.

### **4.4. Confrontation des risques identifiés par les analyses et par les producteurs**

La confrontation n'a pu se baser que sur les dires des 2 producteurs ayant identifiés des problèmes fongiques non gérables par les pratiques culturales. De plus, ils ne citent qu'un pathogène chacun, tandis que l'analyse en sort au minimum 5 par parcelle. La question qui a été posée n'étaient peut être pas la plus pertinente, il aurait été préférable de les questionner sur l'ensemble des pathogènes présents. Ceci est impossible du fait que leur stratégies de protection sont essentiellement basées sur du préventif. Ainsi, les fongicides positionnés en préventif ne permettent pas l'apparition de symptômes sur la culture et donc d'identifier les pathogènes susceptibles de s'y développer en absence de produits phytosanitaires. Il n'est donc pas possible de vérifier la validité de cette méthode en tant qu'outil de prédiction de profil de pathogènes d'une parcelle. Pour ce faire, il faudrait disposer de parcelles ne recevant aucun traitement afin de voir quel(s) pathogène(s) sont capables de s'y développer et de réaliser des suivis sur plusieurs années afin de s'affranchir des aléas climatiques.

De plus, il est d'ailleurs nécessaire de moduler ces résultats avec les conditions climatiques ; en effet les différences entre les pathogènes ressortant comme à risque d'après l'étude et les dires des producteurs peuvent également s'expliquer par les conditions environnementales.

## 5. CONCLUSION GENERALE

La méthode d'évaluation du potentiel bioagresseurs d'un système de culture repose sur l'identification successive du niveau d'affinité de chaque bioagresseur potentiel avec les caractéristiques des indicateurs du couple parcelle / Système de Culture. Cette compatibilité est obtenue par l'analyse fine au niveau des étapes et phases de développement des pathogènes issues des connaissances bibliographiques biologiques et écologiques acquises pour chaque pathogène. Nous avons retenu trois indicateurs : les analyses physicochimiques de nos parcelles de référence pour prendre en compte l'influence du contexte pédoclimatique, ainsi que les successions culturales (délais de retour entre cultures hôtes) et la gestion des résidus de culture pour les influences du système de culture. Les connaissances bibliographiques biologiques et écologiques étant trop hétérogènes et/ou restreintes pour prendre en considération d'autres indicateurs importants (températures et humidité ou application de pesticides par exemple). Les résultats d'affinité par bioagresseurs sont ensuite agrégés au niveau de la parcelle et finalement confrontés aux descriptions des exploitants sur les pathogènes problématiques de sa parcelle. L'utilisation de cette méthode a permis de définir pour chacune des parcelles un groupe de pathogènes susceptibles de s'exprimer. Les informations issues des dires des producteurs à propos de leurs problèmes sanitaires, malgré le déploiement d'une lutte chimique, étaient trop restreintes pour permettre une première validation de la méthode, sans pour autant la remettre en cause.

Ce travail a mis une nouvelle fois en évidence l'importance, d'un point de vue sanitaire, d'améliorer la qualité des sols des parcelles, notamment les aspects physiques, qui sont les plus limitants à l'heure actuelle. La gestion de la succession et le respect des délais de retour n'ont pas le même poids en fonction des pathogènes et seule une partie d'entre eux s'y avère sensible. Le manque de données précises concernant l'impact de la gestion des résidus de culture oblige au principe de précaution à savoir de conseiller de les retirer. Toutes ces informations permettent d'orienter au cas par cas la reconception des systèmes de culture. Les tableaux de résultats des successions constituent un support de réflexion dans le cadre de la co-conception.

Il serait intéressant de continuer de développer cette méthode en intégrant de nouveaux indicateurs afin de mieux prendre en compte le contexte pédoclimatique et les éléments du système, mais cela nécessite en amont d'acquérir de la connaissance par le biais d'expérimentation notamment qui fait défaut à l'heure actuelle.

- Bailey, K. L. and G. Lazarovits (2003). "Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments." Soil & Tillage Research **72**(2): 169-180.
- Blancard, D. (2003). Maladies des salades. Identifier, connaître et maîtriser. Paris.
- Buchwaldt, L., R. A. A. Morrall, et al. (1996). "Windborne dispersal of *Colletotrichum truncatum* and survival in infested lentil debris." Phytopathology **86**(11): 1193-1198.
- Davet, P. (1996). Vie microbienne du sol et production végétale.
- Farrar, J. J., B. A. Pryor, et al. (2004). "Alternaria diseases of carrot." Plant Disease **88**(8): 776-784.
- Kora, C., M. R. McDonald, et al. (2003). "Sclerotinia rot of carrot - An example of phenological adaptation and bicyclic development by *Sclerotinia sclerotiorum*." Plant Disease **87**(5): 456-470.
- Krupinsky, J. M., K. L. Bailey, et al. (2002). "Managing plant disease risk in diversified cropping systems." Agronomy Journal **94**(2): 198-209.
- Lepoivre, P. (2003). Phytopathologie, De Boeck.
- OEPP/EPPO (1994). Cultures d'*Allium*. Directives sur la bonne pratique phytosanitaire : principes de bonne pratique phytosanitaire. Bulletin OEPP: 233-240.
- OEPP/EPPO (1994). Légumes du genre *Brassica*. Directives sur la bonne pratique phytosanitaire : principes de bonne pratique phytosanitaire. Bulletin OEPP: 233-240.
- Overbeek, L. S. v., E. H. M. Nijhuis, et al. (2010). "The role of crop waste and soil in *Pseudomonas syringae* pathovar *porri* infection of leek (*Allium porrum*)." Applied Soil Ecology **46**(3): 457-463.
- Palti, J. (1981). Cultural practices and infectious crop diseases, Springer-Verlag.
- Richard, C. (1994). "Maladies et ravageurs des cultures légumières au Canada : un traité pratique illustré." Société d'entomologie du Canada **22**: 57-590.
- Sileban and B. normandie "La rouille du poireau".
- Villeneuve, F. (1992). La carotte, guide pratique.
- Villeneuve, F., C. Janvier, et al. (2009). Dernières avancées sur le dépérissement du poireau et altérations du plateau. Poireau : actualité technique et économique. Carquefou, CTIFL.
- Walker, G. (2005). Profil de la culture du chou et du brocoli au Canada. P. d. r. d. r. l. a. p. C. p. l. l. a. A. e. A. Canada.