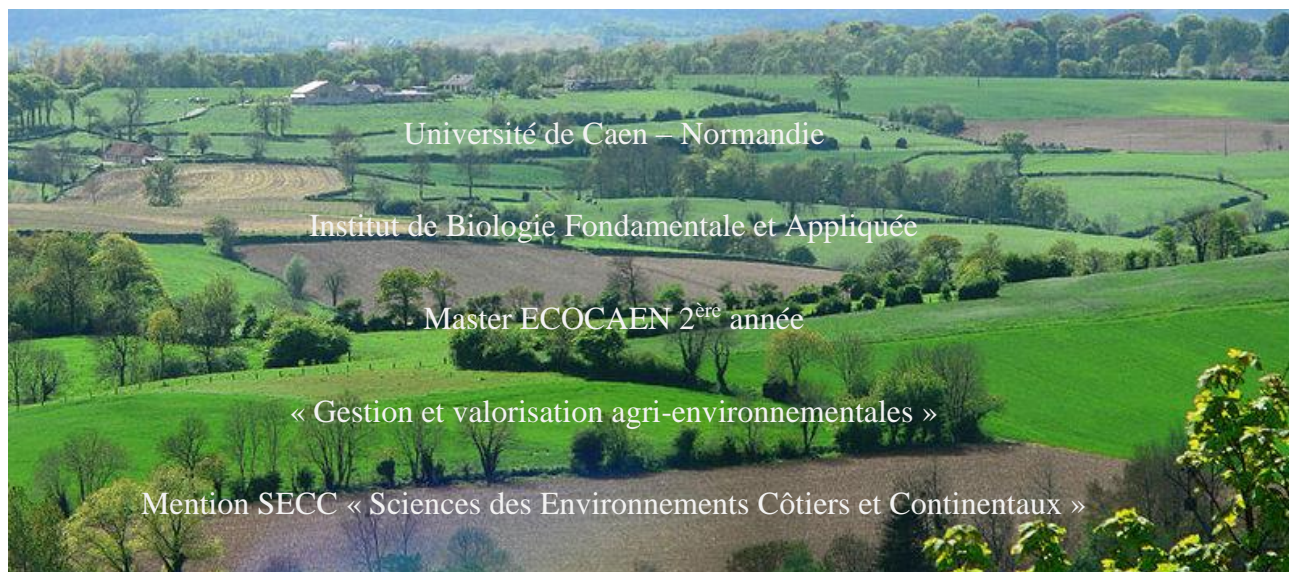


**Santé des arbres des haies bocagères et incidences sur  
l'état du bocage**  
**Causes, solutions, méthodes de surveillance :**  
**Les pathologies fongiques**

**GOEDERT Quentin**



**Sujet bibliographique proposé par Manche-Nature**

**Référent Professionnel : Yves Grall, Président de Manche-Nature**

**Enseignant Référent : Professeur Marie-Pascale Prud'homme**



## Remerciements :

J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire bibliographique.

Je remercie tout d'abord Yves Grall, président de l'association d'étude et de protection de la nature « Manche Nature » et initiateur du sujet bibliographique.

Je remercie également Marie Pascale Prudhomme, ma référente universitaire, pour toute l'aide et tous les conseils qu'elle m'a apporté.

Un grand merci à Alain Rongier de l'association Manche Nature pour toutes les informations fournies qui m'ont permis d'orienter au mieux mon sujet.

De même, je remercie Hélène Ghyselinck du Parc Naturel Régional Normandie-Maine pour le transfert de mes questions à Françoise Le Ber.

Je remercie Françoise Le Ber en charge du centre de documentation au Parc Naturel Régional Normandie-Maine pour l'aide qu'elle m'a apporté.

Je remercie également Cédric Delcloy de l'AFFO, Association Faune et Flore de l'Orne, pour son temps passé à me partager ses connaissances et son savoir.



## Sommaire :

<u>Introduction</u> .....	1
<u>1) La graphiose de l'orme</u> .....	3
<u>1.1) Causes et essences concernées</u> .....	3
<u>1.1.1) Essences concernées par la graphiose</u> .....	3
<u>1.1.2) Origines de graphiose de l'orme</u> .....	4
<u>1.1.3) Cycle de vie et propagation de la graphiose</u> .....	4
<u>1.2) Impacts sur le bocage</u> .....	5
<u>1.3) Solutions et méthodes de surveillance</u> .....	5
<u>1.3.1) Méthodes de surveillance</u> .....	5
<u>1.3.2) Recommandations de gestion</u> .....	5
<u>2) <i>Phytophthora alni</i></u> .....	7
<u>2.1) Causes et essences concernées</u> .....	7
<u>2.1.1) Essences bocagères infectées par <i>Phytophthora alni</i></u> .....	7
<u>2.1.2) Origine de <i>Phytophthora alni</i></u> .....	7
<u>2.1.3) Propagation de <i>Phytophthora alni</i></u> .....	7
<u>2.1.4) Facteurs de risque</u> .....	8
<u>2.2) Impacts sur le bocage</u> .....	9
<u>2.3) Solutions et méthodes de surveillance</u> .....	9
<u>2.3.1) Diagnostic d'évaluation du degré de dépérissement d'un aulne</u> .....	9
<u>2.3.2) Recommandations de gestion</u> .....	10
<u>3) La Chalarose du frêne</u> .....	11
<u>3.1) Causes et essences concernées</u> .....	11
<u>3.1.1) Essences concernées par la chalarose</u> .....	11
<u>3.1.2) Origine de la chalarose</u> .....	12



<u>3.1.3) Propagation de la maladie et cycle de vie</u> .....	12
<u>3.2) Impacts sur le bocage</u> .....	13
<u>3.3) Solutions et méthodes de surveillance</u> .....	14
<u>3.3.1) Méthodes de surveillance</u> .....	14
<u>3.3.2) Recommandations de gestion</u> .....	15
<u>Conclusion</u> .....	15





## Glossaire :

CIVAM : Centres d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural

ONF : Office national des forêts

DSF : Département de la Santé des Forêts

FREDON : Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles

CNPF : Centre National de la propriété forestière



## Liste des figures :

Figure 1 : Photographie présentant une haie bocagère à Coudeville dans la Manche.

Figure 2 : Schéma illustrant le rôle brise-vent d'une haie bocagère.

Figure 3 : Schéma illustrant le rôle de régulation des ruissellements superficiels.

Figure 4 : Photographie présentant une haie multistrate composée d'une strate herbacée, d'une strate arbustive et d'une strate arborée.

Figure 5 : Schéma illustrant l'intérêt des diverses strates de végétation d'une haie bocagère, ainsi que la variété d'espèces prairiales bénéficiant de la présence de ces haies.

Tableau I : Figure présentant quelques exemples d'essences typiques des haies bocagères, ainsi que des pathologies pouvant affecter leur état de santé.

Figure 6 : Photographie de conidies (spores asexuées) d'*Ophiostoma novo-ulmi*.

Figure 7 : Schéma présentant le cycle de développement de la graphiose de l'orme induite par *Ophiostoma novo-ulmi*.

Figure 8 : Photographie d'une espèce de scolyte pouvant être responsable de la transmission de la graphiose de l'orme : Le grand scolyte, *Scolytus scolytus*.

Figure 9 : Photographie d'une espèce de scolyte pouvant être responsable de la transmission de la graphiose de l'orme : Le petit scolyte de l'orme, *Scolytus multistriatus*.

Figure 10 : Photographie de galeries creusées dans un orme par un scolyte.

Figure 11 : Photographie d'un scolyte pratiquant une morsure d'alimentation à l'aisselle d'un rameau d'orme.

Figure 12 : Photographie d'une morsure de scolyte à l'origine d'une infection par la graphiose.

Figure 13 : Photographie du flétrissement des feuilles d'un orme suite à une infection par d'*Ophiostoma novo-ulmi*.

Figure 14 : Photographie de troncs d'aulnes rivulaires nécrosés suite à une infection par *Phytophthora alni*.

Figure 15 : Photographie de sporanges produits par le mycélium de *Phytophthora alni* lors d'un contact avec l'eau.



Figure 16 : Diagramme présentant l'évolution de la production de sporanges en fonction de la température de l'eau.

Figure 17 : Photographies de taches noires observables à la base des troncs suite à une infection par *Phytophthora alni*.

Figure 18 : Photographies de taches de rouille observables à la base des troncs suite à une infection par *Phytophthora alni*.

Figure 19 : Taches de rouille observables à la base des troncs suite à une infection par *Phytophthora alni*.

Figure 20 : Photographie d'un cordon d'aulnes présentant différents niveaux d'infection par *Phytophthora alni*.

Tableau II : Tableau permettant de déterminer le niveau de dépérissement d'un aulne affecté par *Phytophthora alni*.

Figure 21 : Photographie d'*Hymenoscyphus pseudoalbidus*, responsable de la chalarose du frêne.

Figure 22 : Carte présentant la progression de la chalarose en France entre juillet 2014 et août 2015.

Figure 23 : Cycle hypothétique de la chalarose induite par *Hymenoscyphus pseudoalbidus*.

Figure 24 : Photographies de nécroses corticales de frênes après infection par *Hymenoscyphus pseudoalbidus*.

Figure 25 : Photographie d'un tronc de frêne infecté par un armillaire ayant profité des nécroses provoquées par la chalarose.

Figure 26 : Photographies de galeries d'Hylésine du frêne, *Hylesinus fraxini*, ayant infecté un frêne via les nécroses provoquées par la chalarose.

Figure 27 : Photographies présentant la dégradation progressive des houppiers de frênes après infection par la chalarose du frêne.

Figure 28 : Photographies de frênes présentant une défoliation du houppier suite à une infection par *Hymenoscyphus pseudoalbidus* à Donville les bains, dans le département de la Manche.

Tableau III : Tableau définissant les orientations sylvicoles à mener en fonction de la structure des peuplements, de leur composition et de la proportion d'arbres présentant des signes d'infection par la chalarose.



Figure 1 : Photographie présentant une haie bocagère à Coudeville dans la Manche (Photographie prise par Mr. Grall en 2016).

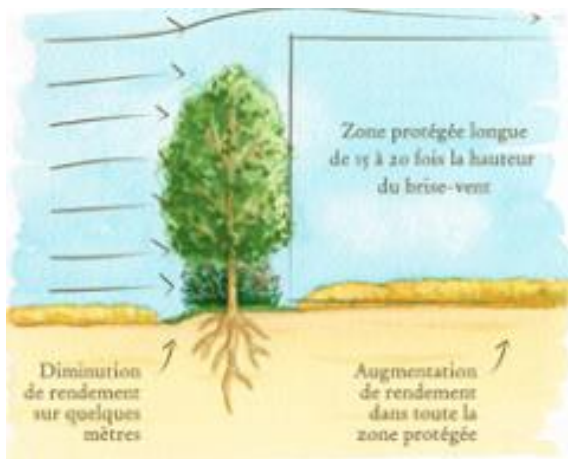


Figure 2 : Schéma illustrant le rôle brise-vent d'une haie bocagère.

La présence d'une haie bocagère entraîne une diminution de rendement sur quelques mètres du côté exposé au vent, mais celle-ci augmente le rendement dans une zone protégée de 15 à 20 fois la hauteur du brise-vent (Conseil Général Calvados, 2010).

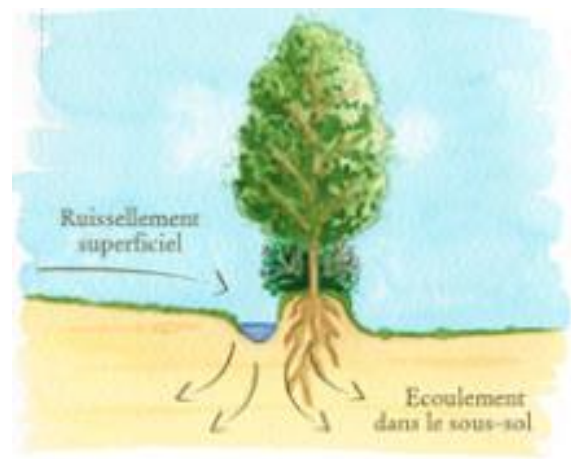


Figure 3 : Schéma illustrant le rôle de régulation des ruissellements superficiels.

La haie associée au talus et au fossé permet d'interrompre les écoulements des eaux de surface. L'intensité des crues ainsi que le transfert des polluants aux cours d'eau sont limités. En effet, les nitrates et autres polluants sont absorbés par les racines des essences de la haie. (Conseil Général Calvados, 2010).

## Introduction

Les régions du Grand Ouest, et notamment la région Normande, sont connues pour leurs paysages bocagers. Un paysage bocager est un paysage où les champs et les prés sont enclos par des levées de terre portant des haies bocagères ou des arbres isolés marquant les limites de parcelles ([www.futura-sciences.com](http://www.futura-sciences.com)). La haie bocagère est donc une composante importante des paysages bocagers. La haie bocagère est un ensemble d'arbres formant une ligne de végétation dense et multistrate (Fig. 1). Ses dimensions varient en fonction de sa gestion et des essences qui la composent (Prom'Haies, 2013).

La haie bocagère a plusieurs fonctions très importantes. Tout d'abord, elle forme des clôtures naturelles physiques permettant de parquer le bétail. Elle a aussi une fonction de production car elle permet de fournir du bois de chauffage. (CIVAM, 2001). Ensuite, la haie bocagère présente de multiples intérêts agronomiques. En effet, elle forme une barrière végétale ayant un rôle de brise vent protégeant le bétail et les cultures adjacentes (Fig.2). Elle constitue également une couverture végétale protégeant les sols de l'érosion éolienne et hydrologique causée par les pluies violentes. Cette couverture végétale permet aussi de limiter la pollution et les pertes de matière organique par les ruissellements des eaux de surface (Fig.3) (Conseil Général Calvados, 2010). Enfin, la haie bocagère permet la régulation du climat au niveau local, en tamponnant les extrêmes de températures (Prom'Haies, 2013).

Les intérêts de la haie bocagère ne sont pas seulement agronomiques mais également biologiques. Elle forme des corridors écologiques linéaires reliant les métapopulations entre elles, favorisant ainsi les flux génétiques entre les différents individus d'une même métapopulation. De plus, elle constitue un écotone où la diversité et la richesse spécifique floristique et faunistique du milieu sont supérieures à celles des deux écosystèmes adjacents à la haie ([www.onf.fr](http://www.onf.fr)). La haie bocagère abrite une flore très diversifiée. Elle détient un contexte forestier densément maillé favorisant le développement d'un grand nombre de champignons. La haie bocagère contient un certain nombre d'essences caractéristiques comme le frêne, *Fraxinus excelsior*, l'aubépine, *Crataegus sp.* ou le charme, *Carpinus sp.* Une grande partie de ces essences sont des essences fruitières comme le noisetier, *Corylus avellana*, le noyer commun, *Juglans regia*, ou encore le poirier sauvage, *Pyrus pyraster*. Bien que peu attrayants pour les agriculteurs d'aujourd'hui, ces fruits constituent des ressources alimentaires de choix pour de nombreuses espèces animales (Prom'Haies, 2013).



Figure 4 : Photographie présentant une haie multistratifiée composée d'une strate herbacée, d'une strate arbustive et d'une strate arborée (Photographie personnelle prise à Châlons-en-Champagne en 2015)

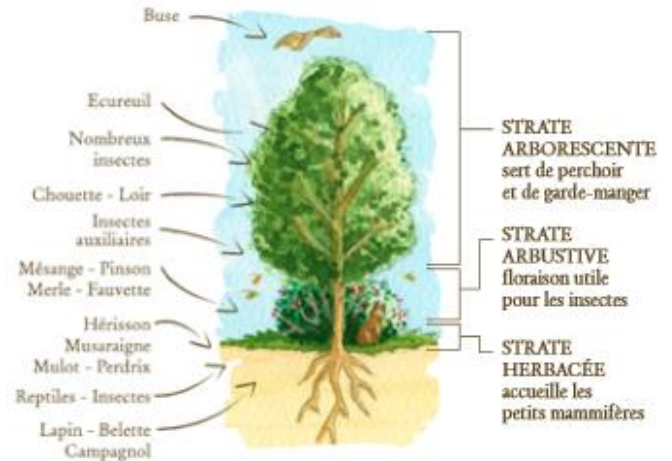


Figure 5 : Schéma illustrant l'intérêt des diverses strates de végétation d'une haie bocagère, ainsi que la variété d'espèces prairiales bénéficiant de la présence de ces haies (Conseil Général Calvados, 2010).

		Agents d'infection possibles :		
Nom Vernaculaire	Nom Scientifique	Insectes	Champignons	Bactéries
Aulnes	<i>Alnus sp.</i>	Chrysomèle de l'aulne	<i>Phytophthora alni</i>	
Peupliers	<i>Populus sp.</i>	Sémasie, chrysomèles, Argriles, Grande saperde, Grande sésie, Charançon de la patience, Petite saperde, Petite sésie, Puceron lanigère du peuplier	Rouille du peuplier, Cytospora du peuplier, Dothichiza du peuplier	Chancre bactérien du peuplier
Erables champêtres	<i>Acer campestre</i>		Verticillose de l'érable, Suie de l'érable	
Châtaigniers communs	<i>Castanea sativa</i>	Cynipes du châtaignier, <i>Spulerina simploniella</i>	Chancre du châtaignier, <i>Coryneum spp.</i> , Encre du châtaignier, Collybie à pied en fuseau	
Frênes élevés	<i>Fraxinus excelsior</i>	Charançons phyllophages, Cicadelle verte, Frelon, Scolytes cambioiphages (hylésine crénelé et hylésine du frêne)	Chalarose	Chancre bactérien du frêne

Tableau I : Figure présentant quelques exemples d'essences typiques des haies bocagères (Mr. Grall, communication personnelle), ainsi que des pathologies pouvant affecter leur état de santé (Nageleisen, 1993). Les pathologies biotiques pouvant affecter ces essences peuvent être induites par des agents d'infections diverses comme des insectes, des champignons ou encore des bactéries.



De plus, la haie forme un écosystème propice au développement d'un grand nombre d'espèces faunistiques. En effet, la haie bocagère est un milieu riche caractérisé par la présence conjointe d'une faune forestière liée aux haies et d'une faune caractéristique des milieux de plaine. Ainsi, la haie bocagère est une structure riche en disponibilités alimentaires variées. Elle constitue aussi une zone refuge, riche en abris permettant la reproduction et la nidification de nombreux oiseaux, et notamment de nombreux rapaces. Ainsi, la haie sert de refuge à des auxiliaires de culture limitant la pullulation de certains ravageurs. De plus, la haie est composée de végétaux herbacés, arbustifs et arborés (Fig 4). Ces végétaux forment des strates de végétation différentes dans la haie, et notamment dans la zone de lisière, ce qui est très favorable au développement de la faune prairiale (Fig. 5). Bien qu'il n'existe pas de vertébrés endémiques du bocage, la haie bocagère forme des habitats de choix pour l'entomofaune. Cette entomofaune fournit des ressources alimentaires à de nombreux petits mammifères insectivores comme la musaraigne (Conseil Général Calvados, 2010). Pour les espèces de reptiles inféodées à un couvert végétal dense, le talus constitue un milieu favorable. La richesse faunistique d'un bocage dépend d'un grand nombre de facteurs, comme la structure de sa végétation, sa composition floristique, ses méthodes d'entretien, ses connections avec d'autres haies, la nature des cultures avoisinantes, la cohérence du maillage des haies et les strates présentes dans ces haies (Prom'Haies, 2013).

Le rôle des haies bocagères dans le paysage rural est donc primordial. Malheureusement, une régression des habitats bocagers est observée depuis une cinquantaine d'années (Conseil Général Calvados, 2010). Cette régression peut être expliquée par une grande variété de facteurs différents, d'origine anthropique ou naturelle. Ainsi, dans le cas des facteurs d'origine anthropique, les activités humaines sont directement ou indirectement responsables de la disparition des haies bocagères. L'arrachage des haies lors d'aménagements foncier, ou encore l'utilisation d'herbicides à proximité de celles-ci sont quelques-uns des exemples d'activités anthropiques ayant provoquées une régression du bocage (Prom'Haies, 2013). Cependant, la régression du bocage ne peut pas être uniquement expliquée par les activités anthropiques. En effet, d'autres facteurs naturels influencent l'état de santé du bocage et donc leur préservation dans le paysage rural. Ces facteurs naturels peuvent être abiotiques, comme les changements de température, des changements d'humidité ou un appauvrissement du sol provoquant des carences ou bien ceux-ci peuvent être biotiques comme les pathologies (Tableau I) (Nageleisen, 1993).



Dans ce contexte global et devant l'état de santé inquiétant de certaines haies bocagères du département de la Manche, Monsieur Grall, Président de l'association d'étude et de protection de la nature Manche-Nature a proposé ce sujet bibliographique traitant de la santé des haies bocagères et des incidences sur l'état du bocage. Fondée en 1988, Manche-Nature contribue en effet à la connaissance naturaliste et à la défense juridique de l'environnement dans le département de la Manche. La santé des arbres des haies bocagères est un sujet très vaste. Ce mémoire bibliographique sera donc centré sur quelques pathologies d'origine fongiques ayant un impact très important sur le bocage. Par conséquent, elles modifieront fortement la structure bocagère dans les prochaines années. A ce titre, l'étude et la gestion de ces pathologies représentent une problématique majeure à traiter dans le cadre de la préservation des haies bocagères dans le département de la Manche (M. Rongier, communication personnelle).

L'objectif de ce mémoire bibliographique est donc de traiter des principales pathologies d'origine fongique influençant l'état de santé des haies bocagères du département de la Manche, d'en comprendre les causes, d'en appréhender l'impact sur les haies et de fournir des solutions pratiques et des méthodes de surveillance permettant de limiter l'impact de ces pathologies sur les essences bocagères. Pour ce faire, le mémoire traitera dans un premier temps de la graphiose de l'orme. En effet, cette pathologie a eu un impact majeur sur le paysage bocager depuis les années 70. Son impact sur le bocage est donc connu (Pinon & Feugey, 1994). La description de la graphiose sera par la suite mise en parallèle avec deux autres pathologies problématiques progressant nouvellement dans la Manche : la pathologie responsable du dépérissement de l'aulne et la chalarose du frêne.

## 1) La graphiose de l'orme

### 1.1) Causes et essences concernées

#### 1.1.1) Essences concernées par la graphiose

La graphiose est une maladie endémique se propageant par le biais d'un ascomycète microscopique : *Ophiostoma novo-ulmi*. Cette pathologie a spécifiquement affecté l'orme de manière épidémique et a provoqué son dépérissement en France et en Europe (Pinon & Feugey, 1994). Les tests d'inoculation artificielle démontrent que tous les ormes sont susceptibles d'être affectés. Ainsi, les ormes champêtres, *Ulmus campestris*, les ormes lisses, *Ulmus laevis*, ou les ormes de montagnes sont concernés par cette pathologie. Cependant, les ormes champêtres semblent les moins résistants en conditions naturelles car ce sont les ormes considérés



Figure 6 : Photographie de conidies (spores asexuées) d'*Ophiostoma novo-ulmi* (apsnet.org).

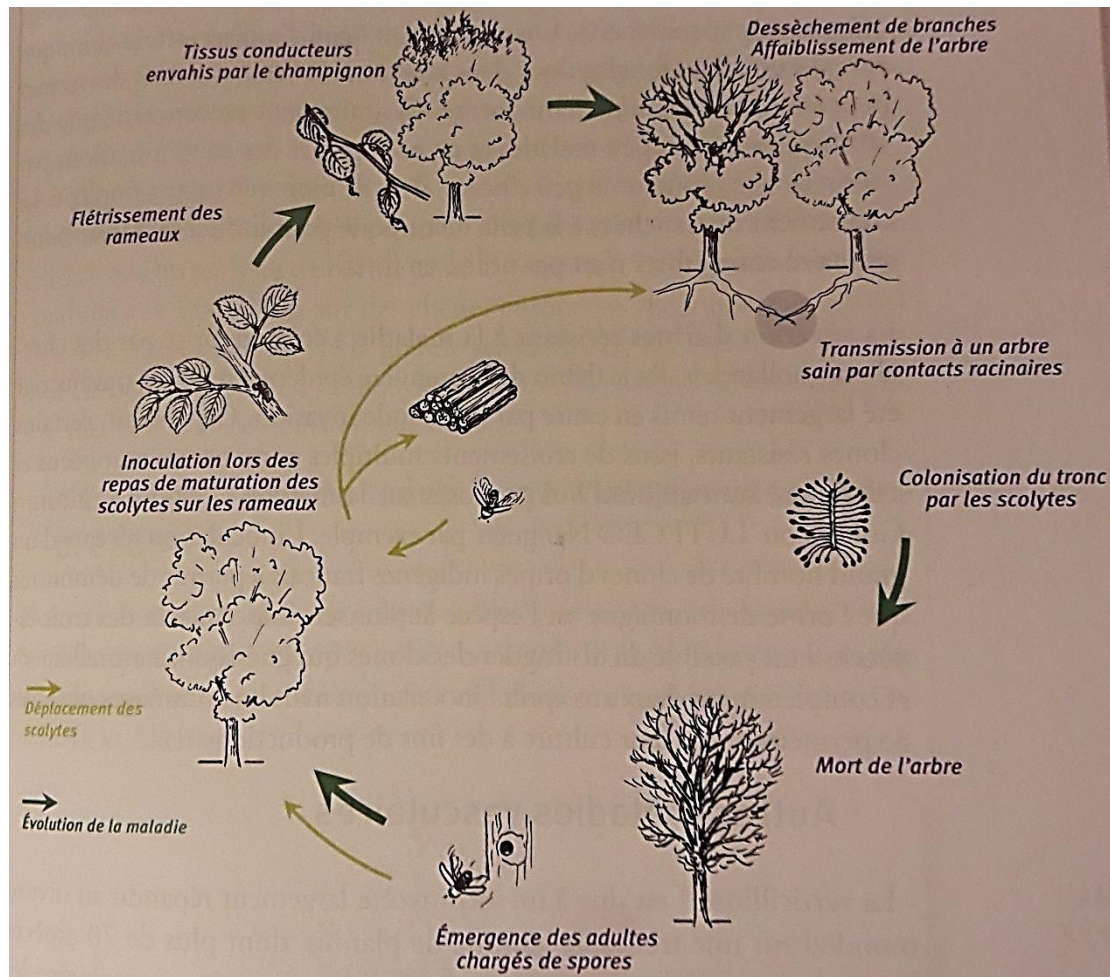


Figure 7 : Schéma présentant le cycle de développement de la graphiose de l'orme induite par *Ophiostoma novo-ulmi*. Ce schéma illustre la phase parasitaire (en jaune), et la phase saprophyte (en vert) ainsi que les différentes étapes de développement de la pathologie (Nageleisen *et al.*, 2010).

comme les plus appétant pour les scolytes responsables de la dissémination d'*Ophiostoma novo-ulmi* (Nageleisen *et al.*, 2010).

### 1.1.2) Origines de graphiose de l'orme

Deux épidémies successives de graphiose ont touché l'Europe. La première débuta en 1916 et affecta un grand nombre d'ormes adultes. Cette épidémie fut induite par un ascomycète possédant une forme sexuée : *Ophiostomosa Ulmi* et une forme asexuée : *Graphium ulmi*. Cependant de nombreux individus parvinrent à subsister à la suite de cette épidémie, notamment des ormes d'origine asiatique. L'Asie est donc considérée comme le berceau de la pathologie. *Ophiostomosa Ulmi* a ensuite été introduit en 1930 et en 1945 en Amérique du Nord lors de l'importation de bois Européen (Nageleisen *et al.*, 2010).

La seconde épidémie de graphiose s'est manifestée dans les années 1970. Cette seconde épidémie était due à un agent pathogène morphologiquement et génétiquement différent de *Ophiostoma ulmi*, à savoir *Ophiostomosa novo-ulmi* (Fig. 6). *Ophiostomosa novo-ulmi* est cependant capable de s'hybrider avec *Ophiostomosa ulmi* Elle s'est manifestée en Angleterre puis en région Parisienne suite à l'introduction de grumes d'orme d'Amérique du Nord. La pathologie s'est ensuite répandue dans toute la France durant les années qui ont suivi pour toucher l'intégralité du territoire Français dans les années 80 (Pinon *et al.*, 1994).

### 1.1.3) Cycle de vie et propagation de la graphiose

Le Cycle de la pathologie (Fig. 7) se déroule en deux phases : une phase parasitaire et une phase saprophyte. Plusieurs scolytes comme le grand scolyte, *Scolytus scolytus* (Fig. 8) ou le petit scolyte de l'orme, *Scolytus multistriatus* (Fig. 9) sont vecteurs de la maladie durant la phase parasitaire (Nageleisen *et al.*, 2010). La transmission du parasite a lieu lorsque les scolytes se reproduisent dans l'écorce d'un orme infecté (Fig. 10) et que les coléoptères y déposent leur ponte. Les larves de scolytes se développent et lorsque les jeunes adultes émergent, ceux-ci sont recouverts de spores d'*Ophiostoma novo-ulmi*. Les scolytes transmettent alors les spores à d'autres ormes sains lorsqu'ils s'alimentent via les morsures de nutrition à l'aisselle de rameaux (Fig. 11) (Fig. 12) ([www.apsnet.org](http://www.apsnet.org)). Le champignon est alors directement introduit dans le xylème durant les mois de mai-juin où les conditions climatiques sont optimales pour le développement d'*Ophiostoma novo-ulmi*. C'est la phase saprophyte ([Ephytia.inra.fr](http://Ephytia.inra.fr)).





Figure 8 : Photographie d'une espèce de scolyte pouvant être responsable de la transmission de la graphiose de l'orme : Le grand scolyte, *Scolytus scolytus* (www.kaefer-der-welt.de).



Figure 9 : Photographie d'une espèce de scolyte pouvant être responsable de la transmission de la graphiose de l'orme : Le petit scolyte de l'orme, *Scolytus multistriatus*. (www.flickr.com)



Figure 10 : Photographie de galeries creusées dans un orme par un scolyte (www.apsnet.com).

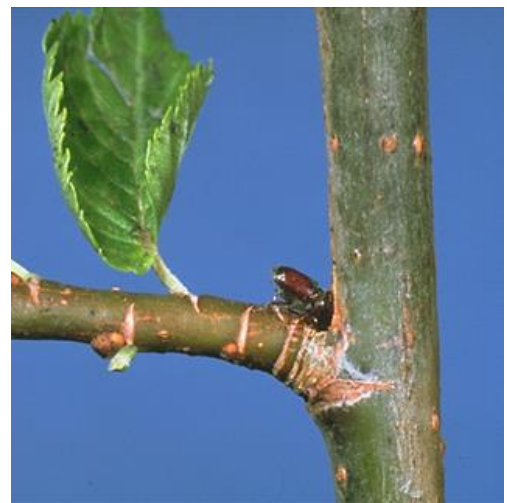


Figure 11 : Photographie d'un scolyte pratiquant une morsure d'alimentation à l'aisselle d'un rameau d'orme (www.apsnet.com).



Figure 12 : Photographie d'une morsure de scolyte à l'origine d'une infection par la graphiose (Nageleisen *et al.*, 2010).

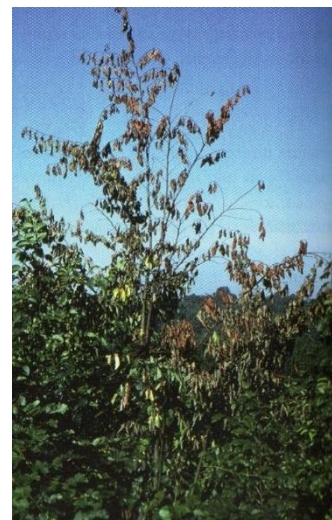


Figure 13 : Photographie du flétrissement des feuilles d'un orme suite à une infection par *Ophiostoma novo-ulmi* (Nageleisen *et al.*, 2010).

Le premier mode de transmission est donc la transmission par morsures alimentaires de scolytes. Il existe un second mode de transmission de la pathologie par contact racinaire entre deux individus infectés. En effet, après germination des spores, le mycélium envahit tous les vaisseaux des branches et du tronc. Il progresse plus rapidement vers la cime que vers le collet. Lorsqu'il atteint les racines, les contacts racinaires avec des ormes voisins peuvent permettre la transmission de la maladie de proche en proche (Ephytia.inra.fr).

### 1.2) Impacts sur le bocage

Une infection par la graphiose de l'orme entraîne différents symptômes observables chez les individus atteints. En effet, lorsque le mycélium envahit le système vasculaire de l'arbre, il provoque l'arrêt de l'alimentation en eau des parties supérieures tout en perturbant la propagation de la sève brute. Ainsi, un flétrissement soudain des feuilles est observable au printemps et en été (Fig. 13). Un dessèchement des branches voir de l'arbre entier est également observable. Ce dessèchement est aussi observable dans les vaisseaux du bois où apparaît une coloration délimitée par les cernes. Des ponctuations noirâtres apparaissent au niveau de la zone de progression du champignon. A terme, la graphiose provoque la mort des individus atteints en moins de deux ans (Ephytia.inra.fr).

### 1.3) Solutions et méthodes de surveillance

#### 1.3.1) Méthodes de surveillance

La surveillance de la graphiose est basée sur l'observation des symptômes présents sur les ormes. La présence de flétrissements, de dessèchement de branches, de galeries sous l'écorce ou de traces brunes en section dans l'aubier témoignent de la présence de graphiose. Diverses structures s'occupent de la surveillance de la pathologie, et notamment le Département de la santé des forêts (DSF), structure dépendant du Ministère de l'Agriculture, de l'agroalimentaire et de la Forêt chargé de la surveillance du territoire en matière de problèmes entomologiques, pathologiques et d'origine abiotique affectant le bois. La DSF se charge également d'informer, de communiquer et de fournir des conseils de gestion au monde forestier (Nageleisen *et al.*, 2010).

#### 1.3.2) Recommandations de gestion

Les deux épidémies de graphiose dues à *Ophiostoma ulmi* et à *Ophiostoma novo-ulmi* font parties des pathologies fongiques les plus étudiées. Ces études et ces publications sont parues dans le but de comprendre et ainsi de limiter la propagation de la pathologie.





Malgré toutes ces études, aucune méthode de contrôle n'a pu être mise en place contre le pathogène. Plusieurs méthodes existent pour limiter le développement des populations de scolytes responsables de la transmission de la graphiose (Nageleisen *et al.*, 2010).

Les premières précautions sont d'ordre préventif. Elles consistent à conserver des peuplements d'ormes sains et vigoureux. Ainsi, les scolytes qui sont des parasites de faiblesses sont défavorisés. La reproduction et la multiplication des scolytes sur les produits de coupe devront aussi être limitées. Pour ce faire, les produits de coupe devront être enlevés dans un court délais avant la colonisation du bois par les insectes. La mise sous aspersion d'eau est également un moyen de conservation efficace pour le bois (Nageleisen *et al.*, 2010). La mécanisation de l'exploitation du bois limite également le développement des scolytes en comprimant l'écorce, la rendant ainsi partiellement inutilisable par les insectes. Les autres précautions sont d'ordre curatif et ont un impact plus néfaste sur l'écologie du milieu. Elles consistent donc à abattre les ormes atteints porteurs de scolytes. Cet abattage diminue cependant le nombre d'ormes sur pied. A défaut, le bois coupé devra être écorcé, l'exposant ainsi à des champignons agents d'échauffure ou bleuissement pouvant diminuer sa valeur financière. Enfin, le bois pourra être protégé par pulvérisation d'insecticide, des pyréthriinoïdes, sur un site prévu à cet effet. Cette mesure est là aussi discutable du point de vue écologique. De plus, malgré toutes ces précautions, la réduction des populations de scolytes ne suffit pas à diminuer significativement les risques de contamination des aulnes par *Ophiostoma novo-ulmi* (Nageleisen *et al.*, 2010). Cependant, la mise sur le marché d'hybrides résistants entre ormes européens et espèces asiatiques donne un nouvel espoir pour le maintien d'ormes en forêt et surtout dans les haies dont ils constituent un élément important dans certaines régions (Ephytia.inra.fr). La graphiose a constitué une des plus grandes pathologies affectant la structure du bocage en décimant les populations d'ormes adultes. Son impact a été très largement étudié, et les conséquences de la graphiose sont connues. Cependant, aucune solution n'a encore été trouvée pour limiter son impact néfaste sur les populations d'ormes. La graphiose n'est pas la seule pathologie fongique. Ainsi, d'autres maladies fongiques mériteraient une surveillance accrue dans le département de la Manche afin d'éviter d'autres catastrophes écologiques. C'est le cas notamment de la pathologie responsable du dépérissement de l'aulne et de la chalarose (M. Rongier, communication personnelle).



## 2) *Phytophthora alni*

### 2.1) Causes et essences concernées

#### 2.1.1) Essences bocagères infectées par *Phytophthora alni*

*Phytophthora alni* est responsable d'une pathologie qui affecte spécifiquement l'aulne. Des tests d'infection par *Phytophthora alni* ont été réalisés en serre sur toute une série d'espèces ligneuses afin de tester les espèces susceptibles d'être infectées par la maladie. Ainsi, les essences d'*Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur*, *Carpinus*, *Betulus*, *Fagus sylvatica*, *Salix fragilis*, *Salix alba*, *Populus tremula*, *Betula pubescens*, *Prunus avium*, *Alnus glutinosa*, *Alnus incana*, *Alnus cordata* ont été testées. Seules les différentes espèces d'aulnes comme *Alnus glutinosa*, *Alnus incana*, *Alnus cordata* se sont révélées sensibles à *Phytophthora alni*. Cette pathologie est donc spécifique de l'aulne (Debruxelles *et al.*, 2007).

#### 2.1.2) Origine de *Phytophthora alni*

*Phytophthora alni* est une espèce de phytophthora mutante issue d'un croisement entre deux espèces de phytophthora génétiquement proches. L'origine du croisement est inconnue, cependant, *Phytophthora alni* a été signalée pour la première fois en Angleterre en 1993 (Brasier *et al.*, 1995). L'étude de cernes d'accroissement chez l'aulne a démontré que les premières infections pourraient avoir eu lieu dans les années 1980. Cependant, les symptômes induits par *Phytophthora alni* ne sont devenus visibles qu'une décennie plus tard lorsque la pathologie a pris des proportions épidémiques.

De plus, l'espèce *Phytophthora alni* est subdivisée en 3 sous-espèces à savoir *Phytophthora alni subsp. uniformis*, *Phytophthora alni subsp. multiformis* et *Phytophthora alni subsp. Alni* (Debruxelles *et al.*, 2007).

#### 2.1.3) Propagation de *Phytophthora alni*

L'eau joue un rôle primordial dans le cycle de développement de la pathologie. Des études menées en Europe ont démontré que la pathologie est véhiculée via les cours d'eau. Bien que les aulnes rivulaires soient les plus touchés car plus exposés aux inondations, tous les aulnes sont susceptibles d'être touchés (Debruxelles *et al.*, 2007).

Divers cas d'infections d'aulnes en plantations ont été recensés. Des contrôles de l'eau en Bavière ont montré que de l'eau puisée dans un cours d'eau et contenant des spores était utilisée pour arroser les plants d'Aulnes en pépinières. La plantation des plants contaminés a



Figure 14 : Photographie de troncs d'aulnes rivulaires nécrosés suite à une infection par *Phytophthora alni*. Lorsque le niveau de l'eau augmente lors d'une crue, les parties nécrosées à la base du tronc se retrouvent au contact de l'eau. (Debruxelles *et al.*, 2007).

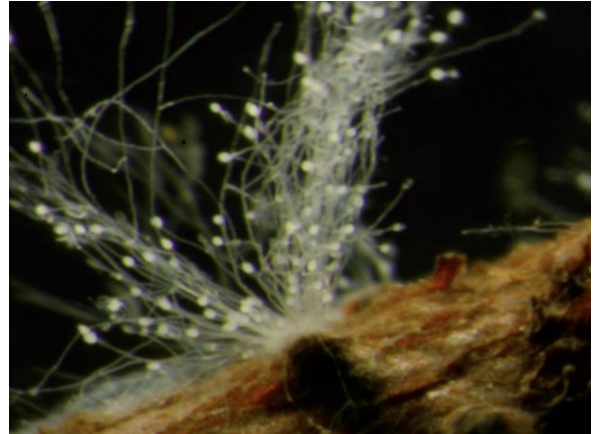


Figure 15 : Photographie de sporanges produits par le mycélium de *Phytophthora alni* lors d'un contact avec l'eau. Ces sporanges ressortent par des lenticelles de l'écorce de l'aulne (cra.wallonie.be).

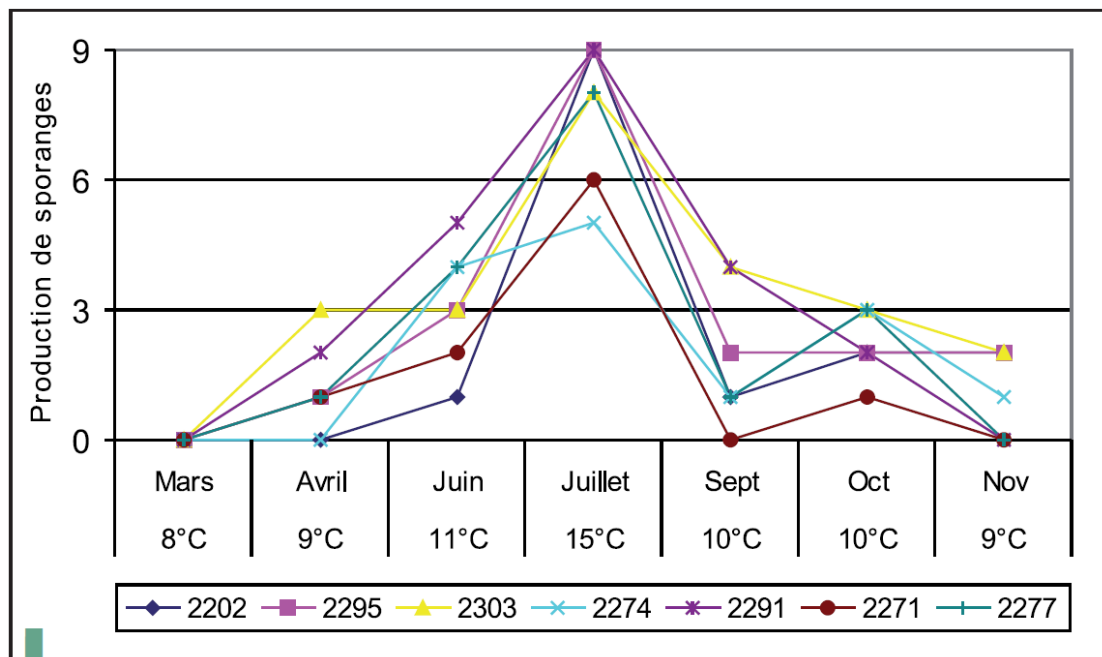


Figure 16 : Diagramme présentant l'évolution de la production de sporanges en fonction de la température de l'eau. Des échantillons d'eau sont prélevés dans la rivière Orneau à Gembloux en Belgique. Un échantillon est prélevé par mois, de Mars à Novembre 2004. Ces échantillons sont par la suite analysés en y renseignant la température de l'eau et la quantité de sporanges retrouvée dans ceux-ci. Ce diagramme présente les résultats de cette étude en présentant la production de sporanges en fonction de la température de l'eau. L'échelle du diagramme s'étend de 0 (pas de production de sporanges) à 9 (plus de 300 par cm<sup>2</sup> d'eau). Le diagramme révèle une augmentation de la production de sporanges durant le mois de juin avec un pic de production durant le mois de juillet. Ce pic de production de sporanges peut être expliqué par la température de l'eau qui atteint une maximale de 15°C en juillet. Ce diagramme montre donc la corrélation de la température de l'eau sur la production de sporanges de *Phytophthora alni* (Chandelier *et al.*, 2006).

ensuite provoqué l'infection dans les forêts et les haies bocagères. Cependant, les plantations issues de régénération naturelle par semis étaient saines (FREDON *et al.*, 2007). La propagation de la maladie se fait en plusieurs étapes. Tout d'abord, lorsque le niveau de l'eau monte en cas de fortes pluies ou de crue d'un cours d'eau, les parties nécrosées d'un individu contaminé se retrouvent en contact de l'eau (Fig. 14). Le mycélium présent sous l'écorce produit alors des sporanges. Ces sporanges sortent alors via des lenticelles, c'est-à-dire via des pores de l'écorce (Fig. 15). Ces sporanges se développent rapidement et atteignent leur maturité quelques heures après le contact avec l'eau. Les sporanges libèrent alors des zoospores à deux flagelles très mobiles dans l'eau. Celles-ci sont véhiculées par l'eau et infectent des arbres situés en aval du cours d'eau (FREDON *et al.*, 2007).

Les zoospores vont infecter les aulnes au niveau du tronc immergé par la crue du cours d'eau, au niveau des racines subérisées de l'aulne, ou au niveau des blessures de l'aulne. (Debruxelles *et al.*, 2007). Si les zoospores ne trouvent pas d'aulne propice à leur développement, celles-ci peuvent survivre plusieurs mois dans le cours d'eau sous forme de kyste.

#### 2.1.4) Facteurs de risque

Plusieurs facteurs peuvent aggraver ou au contraire limiter la dissémination des zoospores de *Phytophthora alni*. Le premier facteur est la modification du niveau d'eau dans les cours d'eau. En cas d'inondation, l'eau entraîne la production de zoospores à partir de mycélium de *Phytophthora alni*. L'eau entraîne ensuite le transport des zoospores. De plus, les zoospores de *Phytophthora alni* sont biflagellés, ce qui leur assure une autonomie de déplacement dans l'eau. Les infections par *Phytophthora alni* sont donc des événements occasionnels liés à l'eau.

Le second facteur est la température. *Phytophthora alni* a besoin d'une température élevée afin de se développer (Fig. 16). Lorsque la température est inférieure à 5°C, la sporulation n'est pas possible (Chandelier *et al.*, 2006).

Le troisième facteur est le débit combiné à la granulométrie du sol. En effet, une granulométrie fine composée de sable et de limon sur le lit de la rivière ainsi qu'un débit faible augmentent les risques de contamination par les sporanges (Thoirain *et al.*, 2007).

Enfin, d'autres facteurs expliquent la propagation de l'infection. Ceux-ci peuvent être dus à la plantation d'aulnes malades, à l'introduction de poissons en provenance d'une rivière infectée, aux canards ou au bétail ayant accès à la rivière. Le transport de terre humide infectée par des oospores, c'est-dire les spores sexuées de *Phytophthora alni*, peut également expliquer





Figure 17 : Photographies de taches noires observables à la base des troncs suite à une infection par *Phytophthora alni* (Debruxelles *et al.*, 2007).



Figure 18 : Photographies de taches de rouille observables à la base des troncs suite à une infection par *Phytophthora alni* (Debruxelles *et al.*, 2007).



Figure 19 : Taches de rouille observables à la base des troncs suite à une infection par *Phytophthora alni* (Debruxelles *et al.*, 2007).

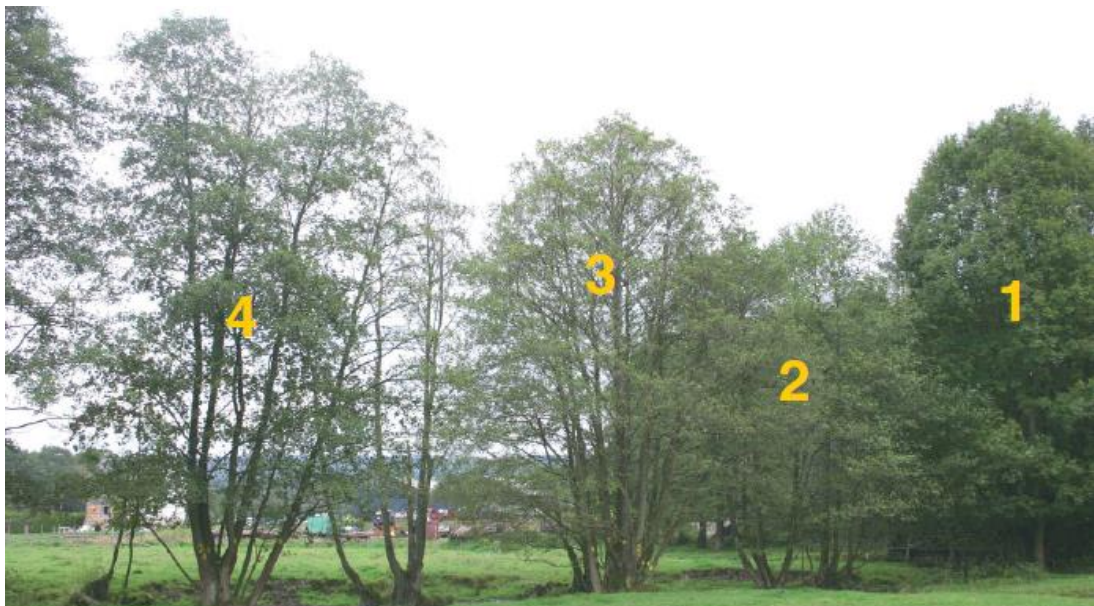


Figure 20 : Photographie d'un cordon d'aulnes présentant différents niveaux d'infection par *Phytophthora alni*.

Ces aulnes sont numérotés par ordre croissant d'infection, de l'arbre sain (arbre 1) à l'arbre faiblement infecté avec des feuilles jaunes et de petite taille (arbre 2), aux arbres les plus infectés avec une cime éclaircie (arbre 3 et arbre 4) (Debruxelles *et al.*, 2007).

la dispersion de la pathologie. Les sols hydromorphes favorisent donc le développement de la pathologie. Cependant, la survie des oospores reste limitée dans le sol (Delcan et Brasier, 2001).

## 2.2) Impacts sur le bocage

*Phytophthora alni* a différents effets sur les aulnes. Il infecte les troncs à leur base, et plus rarement leurs racines. Il détruit les tissus conducteurs de l'aulne qu'il infecte, ce qui perturbe la circulation de la sève chez celui-ci. A terme, l'infection d'un aulne par *Phytophthora alni* provoque sa mort (Debruxelles *et al.*, 2007).

Deux principaux types de symptômes sont observables chez les individus contaminés par *Phytophthora alni* : les symptômes corticaux et les symptômes foliaires. Les symptômes corticaux sont des symptômes visualisables à la base des troncs. Il peut s'agir de la présence de taches ou d'écoulement noirâtre (Fig. 17), ou de taches de rouille parfois suintantes (Fig. 18). Cependant, les pluies abondantes peuvent effacer ces marques. Des traces de nécroses brunâtres délimitées par un liseré sombre sont également présentes sous l'écorce (Fig. 19) (Ephytia.inra.fr). Les symptômes foliaires sont les symptômes observables à partir de l'état des feuilles de l'aulne. Ces symptômes sont moins spécifiques de l'infection par *Phytophthora alni* que les symptômes corticaux. Cependant leur observation permet de connaître l'état de santé global de l'arbre (Ephytia.inra.fr).

## 2.3) Solutions et méthodes de surveillance

La méthodologie pour réduire l'impact sanitaire de *Phytophthora alni* consiste dans un premier temps à évaluer l'état sanitaire des aulnes grâce au diagnostic d'évaluation du degré de dépérissement d'un aulne. Ensuite, il convient de délimiter des zones infectées qui pourraient faire l'objet d'une gestion particulière par « trouée » en suivant les recommandations de gestion.

### 2.3.1) Diagnostic d'évaluation du degré de dépérissement d'un aulne

La première étape pour réduire l'impact de *Phytophthora alni* est de repérer les individus infectés. Une méthode de surveillance permet de déterminer le niveau de dépérissement d'un aulne affecté par *Phytophthora alni*. Cette méthode est une échelle à 5 niveaux basée sur l'observation de critères physiques décrivant l'état du houppier afin de déterminer le niveau d'infection des aulnes (Fig 20). Cette observation doit être effectuée à la fin de l'été en août

<b><u>Niveaux d'évaluation :</u></b>	<b><u>Critères d'observation :</u></b>																												
<b><u>Niveau 1 : Aulne sans symptôme</u></b>	Le houppier de l'aulne est bien garni et présente des feuilles vertes de taille normale. L'individu ne présente pas de trace de nécrose corticale.																												
<b><u>Niveau 2 : Aulne présentant des symptômes légers</u></b>	Le houppier de l'aulne est légèrement éclairci et présente des feuilles jaunâtres. L'année suivante, ces aulnes ne présentent pas nécessairement de symptômes. De plus, ces symptômes ne sont pas nécessairement liés à la présence du pathogène <i>Phytophthora alni</i> . L'intervention n'est donc pas urgente.																												
<b><u>Niveau 3 : Aulne avec symptômes marqués</u></b>	Ce niveau d'évaluation est basé sur l'observation d'une combinaison de plusieurs symptômes :																												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><b>Nécrose</b></th> <th><b>Houppier</b></th> <th><b>Taille des feuilles</b></th> <th><b>Coloration des feuilles</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Absente</td> <td>Normal</td> <td>Réduite</td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td>Absente</td> <td>Normal</td> <td>Réduite</td> <td>Jaunâtre</td> </tr> <tr> <td>Absente</td> <td>Cime claire</td> <td>Normal</td> <td>Jaunâtre</td> </tr> <tr> <td>Absente</td> <td>Cime claire</td> <td>Réduite</td> <td>Normal</td> </tr> <tr> <td>Absente</td> <td>Cime claire</td> <td>Réduite</td> <td>Jaunâtre</td> </tr> <tr> <td>Présente</td> <td>Normal ou Cime claire</td> <td>Normal ou réduite</td> <td>Normal ou jaunâtre</td> </tr> </tbody> </table>	<b>Nécrose</b>	<b>Houppier</b>	<b>Taille des feuilles</b>	<b>Coloration des feuilles</b>	Absente	Normal	Réduite	Normal	Absente	Normal	Réduite	Jaunâtre	Absente	Cime claire	Normal	Jaunâtre	Absente	Cime claire	Réduite	Normal	Absente	Cime claire	Réduite	Jaunâtre	Présente	Normal ou Cime claire	Normal ou réduite	Normal ou jaunâtre
	<b>Nécrose</b>	<b>Houppier</b>	<b>Taille des feuilles</b>	<b>Coloration des feuilles</b>																									
	Absente	Normal	Réduite	Normal																									
	Absente	Normal	Réduite	Jaunâtre																									
	Absente	Cime claire	Normal	Jaunâtre																									
	Absente	Cime claire	Réduite	Normal																									
Absente	Cime claire	Réduite	Jaunâtre																										
Présente	Normal ou Cime claire	Normal ou réduite	Normal ou jaunâtre																										
A ce stade d'infection, ces symptômes sont conservés dans 75% des cas l'année suivante. Les aulnes conservent tout de même toujours leur capacité à produire de nouveaux branchages à partir de leur souche.																													
<b><u>Niveau 4 : Aulne mourant</u></b>	Le houppier de l'aulne présente un houppier dégarni à plus de 50%. Leur dépérissement est tel que les aulnes à ce stade d'infection perdent leur capacité à émettre de nouvelles tiges à partir de leurs souches. Le recépage est à déconseiller.																												
<b><u>Niveau 5 : Arbre mort</u></b>	Pour conclure, afin de ne pas intervenir trop tard, les préconisations de gestions doivent être appliquées sur les arbres ayant été diagnostiqués au niveau 3.																												

**Tableau II : Tableau permettant de déterminer le niveau de dépérissement d'un aulne affecté par *Phytophthora alni*.**

Ce tableau présente différents critères d'observation. Ces critères permettent de déterminer l'état de dépérissement des aulnes infectés par *Phytophthora alni*. En effet, la gestion à effectuer sur un individu infecté dépend de l'état de développement de la pathologie. L'évaluation du niveau de dépérissement permet donc de réaliser une gestion adaptée aux individus atteints (Debruxelles *et al.*, 2007).



et en septembre. Cette phase de diagnostic est très importante car elle permet de définir les modalités de gestion ainsi que l'urgence de cette gestion (Tableau II) (Debruxelles *et al.*, 2007).

### 2.3.2) Recommandations de gestion

Il n'existe actuellement pas de gestion permettant d'éradiquer intégralement *Phytophthora alni* en cas d'infection sur un groupement d'aulnes. Cependant, il existe des recommandations de gestion permettant de gérer au mieux les aulnes dépérissants et ainsi de freiner l'évolution de *Phytophthora alni*. C'est le cas de la gestion par recépage qui est la plus évoquée dans la bibliographie. Celle-ci consiste à couper un arbre à sa base afin de favoriser sa repousse par ramifications. Les risques de réinfections sont cependant très élevés si la source de l'infection de l'aulne par *Phytophthora alni* est toujours présente (Debruxelles *et al.*, 2007).

Le recépage doit être effectué sur des aulnes se situant au 3<sup>ème</sup> stade de dépérissement. En effet, avant le stade 3 du degré de dépérissement, les rejets de souche sont généralement sains et ne présentent pas de symptôme. Le recépage est à réaliser en hiver. Cela permet d'une part de maintenir le potentiel de la souche à émettre des rejets et d'autre part de limiter la dispersion des zoospores en raison des basses températures. L'impact écologique d'un tel recépage peut être important en privant la faune d'un grand nombre d'abris ainsi que d'une importante source de nourriture. Le recépage ne doit donc pas être effectué sur des tronçons de plus de 20 mètres. Cependant, la longueur de la trouée dépendra de la longueur du tronçon infecté (Debruxelles *et al.*, 2007).

Afin d'assurer une bonne reprise des souches après recépage une mise en lumière de la souche est nécessaire. La coupe réalisée arbre par arbre est à éviter afin de limiter le risque de réinfection des souches par les aulnes voisins. La coupe arbre par arbre limite également l'éclaircissement et donc la capacité de la souche à rejeter.

De plus, la coupe réalisée doit être nette, franche et légèrement oblique afin de favoriser l'évacuation de l'eau. La coupe doit être réalisée le plus bas possible pour favoriser un enracinement indépendant des rejets. Ainsi, les franc-pieds doivent être coupés au-dessus du collet tandis que les cépées doivent être coupées au-dessus de l'insertion des brins ou à un maximum de 20cm de hauteur par rapport au sol si les brins sont à plus de 50 cm du sol.

La coupe sélective des brins malades doit être évitée car elle ne permet pas de limiter le développement de la pathologie. De même, il convient également de ne pas laisser de branches au niveau de la souche. En effet, celles-ci tirent de la sève afin d'assurer leur croissance, ce qui limite le potentiel de la souche à émettre des rejets. Lors d'un recépage, toutes les branches doivent donc être coupées. Lorsque les souches recépées sont présentes dans une zone



Figure 21 : Photographie d'*Hymenoscyphus pseudialbidus*, responsable de la chalarose du frêne ([www.mushroomobserver.org](http://www.mushroomobserver.org)).

pâturée, celles-ci doivent être protégées par une clôture pour limiter le pâturage des repousses par le bétail (Nageleisen *et al.*, 2010).

Les rémanents de ce recépage doivent également être gérés et peuvent même être revalorisés. Ainsi, les rémanents doivent être exportés dans la mesure du possible afin de limiter la propagation de *Phytophthora alni* via les zoospores. Etant donné que *Phytophthora alni* ne résiste pas aux fortes températures, le bois d’aulne ainsi que les billes de pieds peuvent donc être utilisés comme combustible direct en tant que bois de chauffage ou comme combustible indirecte en tant que pellets ou plaquettes. Les branches peuvent être utilisées de deux façons différentes. Elles peuvent être valorisées sous forme de mulching pour les entreprises de parcs et de jardins si les branches ne sont pas touchées par la *Phytophthora*. Elles serviront alors de paillis qui protégera et enrichira le sol. Comme *Phytophthora alni* ne résiste pas à des températures supérieures à 40°, les branches infectées peuvent être valorisée après compostage (Debruxelles *et al.*, 2007).

### 3) La Chalarose du frêne

#### 3.1) Causes et essences concernées

##### 3.1.1) Essences concernées par la chalarose

La chalarose est une pathologie provoquant le dépérissement du frêne. Cette pathologie est causée par un champignon, à savoir *Hymenoscyphus pseudialbidus* (Fig. 21). Son nom provient du fait que la pathologie avait tout d’abord été attribuée à la présence de *Chalara fraxinea* (Kowalski, 2006) qui est en réalité la forme asexuée d’*Hymenoscyphus pseudialbidus*. (Goudet & Piou, 2012).

Le champignon *Hymenoscyphus pseudialbidus* est un pathogène spécifique du frêne. La chalarose n’est donc pas transmissible aux autres végétaux, ni aux autres êtres vivants. Toutes les essences européennes du genre *Fraxinus sp.* sont susceptibles d’être affectées. Cependant, certaines espèces sont plus sensibles que d’autres. Ainsi, *Fraxinus excelsior* est l’espèce la plus touchée par la chalarose. Cependant, *Fraxinus angustifolia* a également montré des signes de la pathologie (Kirisits *et al.*, 2010). Bien que plus sensible à la pathologie que *Fraxinus excelsior*, *Fraxinus angustifolia* semble moins touché. Cela est dû à l’aire de répartition plus méridionale de *Fraxinus angustifolia* en Europe. Sa répartition géographique protège donc cette espèce pour le moment. Enfin la troisième espèce de frêne présente en Europe, *Fraxinus ornus*, semble plus résistante que les autres espèces de frêne. Elle ne présente aucun symptôme

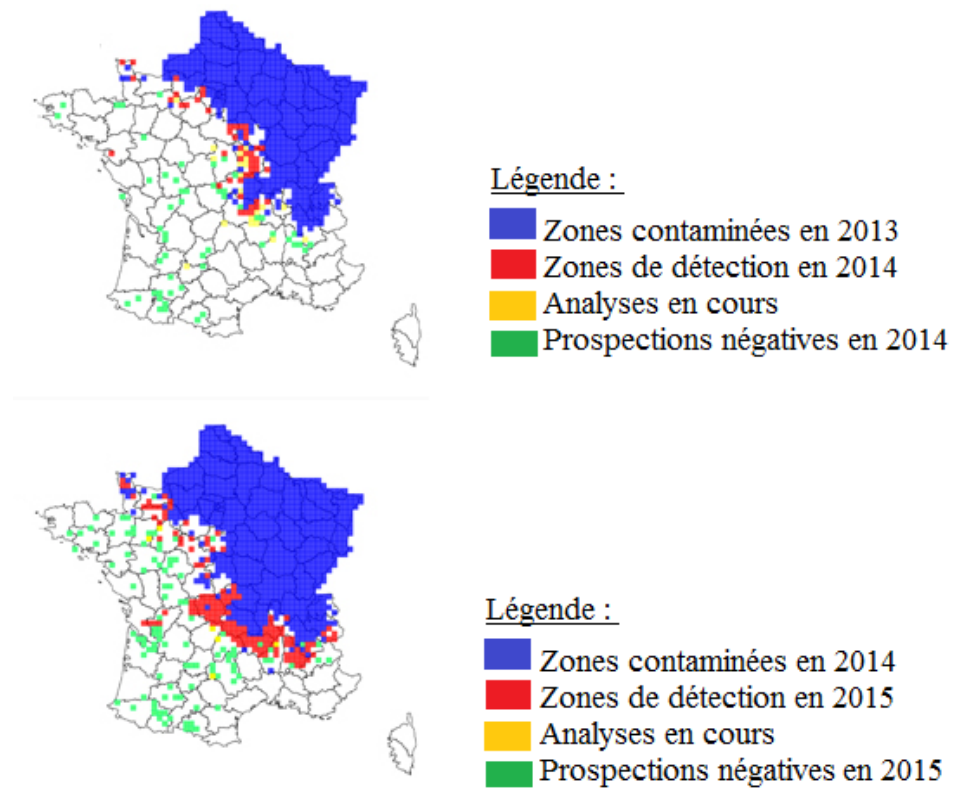


Figure 22 : Carte présentant la progression de la chalarose en France entre juillet 2014 et août 2015. Cette carte illustre la progression très rapide de la chalarose du Nord-Est au Sud-Ouest de la France ([www.agriculture.gouv.fr](http://www.agriculture.gouv.fr)).

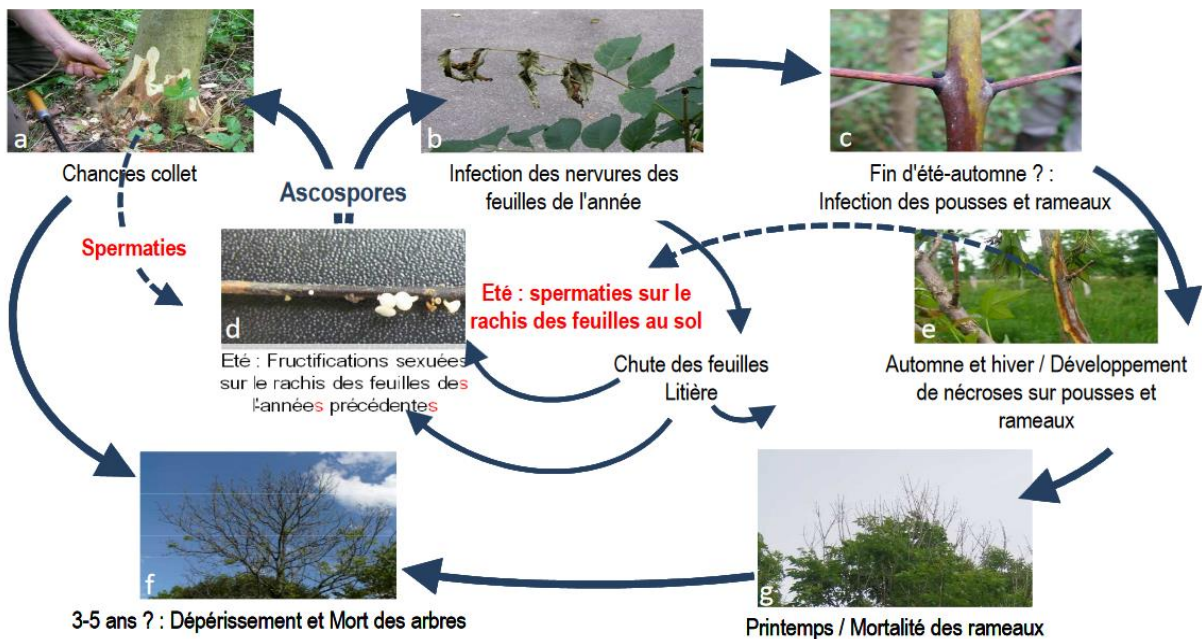


Figure 23 : Cycle hypothétique de la chalarose induite par *Hymenoscyphus pseudoalboidus* (Goudet & Piou, 2012).

en milieux naturels bien que certains symptômes puissent être observés (Kirisits et al., 2009) (Kräutler et Kirisits, 2012). Cependant, au Japon, *Hymenoscyphus pseudialbidus* est inféodé à une espèce asiatique de frêne à savoir *Fraxinus mandshurica* sur lequel la pathologie ne provoque aucun dégât. Au contraire, sur les espèces européennes, *Hymenoscyphus pseudialbidus* se révèle invasif et néfaste (Ephytia.inra.fr).

Toutes les classes d'âge sont susceptibles d'être infectées par la chalarose. Ainsi, cette pathologie est très problématique car elle peut être retrouvée sur des jeunes plants, des sujets adultes, des semis ou encore des rejets de souche. De plus, cette pathologie est retrouvée dans tous les milieux où le frêne peut être implanté, des milieux forestiers aux milieux bocagers en passant par les parcs (Chandelier, 2009).

### 3.1.2) Origine de la chalarose

Originnaire du Japon, la chalarose du frêne s'est installée en Pologne dans les années 1990. Celle-ci s'est ensuite répandue en Lituanie puis en Europe. Les premiers symptômes de la maladie ont été retrouvés pour la première fois en France fin juillet 2008 au Nord de la Haute-Saône. Cette apparition de la pathologie peut sans doute être expliquée par le commerce de plants infectés. La chalarose se répand désormais de manière progressive et très rapide, du Nord-Est au Sud-Ouest de la France (Fig. 22) (Goudet & Piou, 2012).

### 3.1.3) Propagation de la maladie et cycle de vie

Le cycle de vie exacte d'*Hymenoscyphus pseudoalbidus* est encore hypothétique (Fig. 23). Cependant, il est avéré que le cycle se déroule en deux phases principales : une phase sexuée et une phase asexuée. La phase sexuée est la phase durant laquelle des organes spécifiques de reproduction fructifient sur le sol dans la litière des feuilles de frêne contaminées et tombées au sol. Ces organes de fructification émettent de grandes quantités d'ascospores de juillet à septembre. Les ascospores ainsi émises vont être disséminées par le vent et germer sur les feuilles de frênes non contaminées. Une fois parvenu sur la feuille, le champignon va coloniser le limbe puis les jeunes rameaux via des nécroses. Les rameaux plus âgés, qui sont généralement des rameaux âgés de plus de deux ans présentent moins de propension à être infectés.

La phase asexuée est moins connue que la phase sexuée. Il s'agit d'une phase durant laquelle le mycélium croit de manière végétative. Sous cette forme, le champignon





Figure 24 : Photographies de nécroses corticales de frênes après infection par *Hymenoscyphus pseudoalbidus* (www.onf.fr).



Figure 25 : Photographie d'un tronc de frêne infecté par un armillaire ayant profité des nécroses provoquées par la chalarose (www.onf.fr).



Figure 26 : Photographies de galeries d'Hylésine du frêne, *Hylesinus fraxini*, ayant infecté un frêne via les nécroses provoquées par la chalarose (www.onf.fr).

émet des conidiospores qui ne jouent pas de rôle lors de la dissémination de la maladie, mais remplissent une fonction de reproduction et donc de brassage génétique (Goudet & Piou, 2012).

### 3.2) Impacts sur le bocage

Tous les frênes dépérissant ne sont pas nécessairement atteints de la chalarose, cependant certains symptômes sont caractéristiques d'une infection par *Hymenoscyphus pseudoalbidus* (Grandjean et Macaire, 2009).

Les premiers symptômes sont observables au niveau du feuillage. Ainsi, le feuillage des arbres atteints présente des signes de flétrissement et des nécroses (Goudet *et al.*, 2011). Des symptômes sont également observables au niveau cortical. Ces symptômes se présentent sous forme de nécroses corticales. Ces nécroses sont orangées et délimitées par un liseré plus foncé. En se développant, ces nécroses perturbent fortement la circulation de sève dans l'arbre, pouvant même la bloquer complètement (Fig. 24). Elles forment des dépressions au niveau de l'écorce des rameaux en raison de l'arrêt de l'activité du cambium. Elles fragilisent ainsi l'arbre ainsi que tout son système racinaire (Brakys *et al.*, 2009) (Ephytia.inra.fr).

Elles apparaissent généralement à l'embranchement des jeunes rameaux, puis se répandent ensuite aux branchages principaux. Si la nécrose entoure une branche de manière circulaire, celle-ci meurt par ceinturage. Les mortalités les plus importantes sont ainsi observées chez les individus de petite taille et de petits diamètres comparés aux individus de plus grande taille. Ces nécroses sont également observables sous l'écorce. Une fois infectés, les vaisseaux du xylème se colorent en brun noir (Skovsgaard *et al.*, 2010) (Nageleisen *et al.*, 2010).

Quelques temps après l'infection, les nécroses fendent le bois provoquant ainsi des stress tout en affaiblissant et en exposant l'individu à des pathogènes extérieurs. Ces pathogènes peuvent être d'autres champignons opportunistes comme l'Armilliaire, *Armillaria sp.*, (Fig. 25) ou des ravageurs comme des scolytes par exemple (Fig. 26). Des attaques d'Hylésine crénelé, *Hylesinus crenatus* et d'Hylésine du Frêne, *Hylesinus fraxini*, ont été régulièrement observées en Haute Saône suite à des infections de frêne par la chalarose.

Bien que l'arbre puisse parfois cicatriser ces nécroses, les individus touchés par la chalarose dépérissent très rapidement ce qui provoque à terme leur mort (Ephytia.inra.fr).



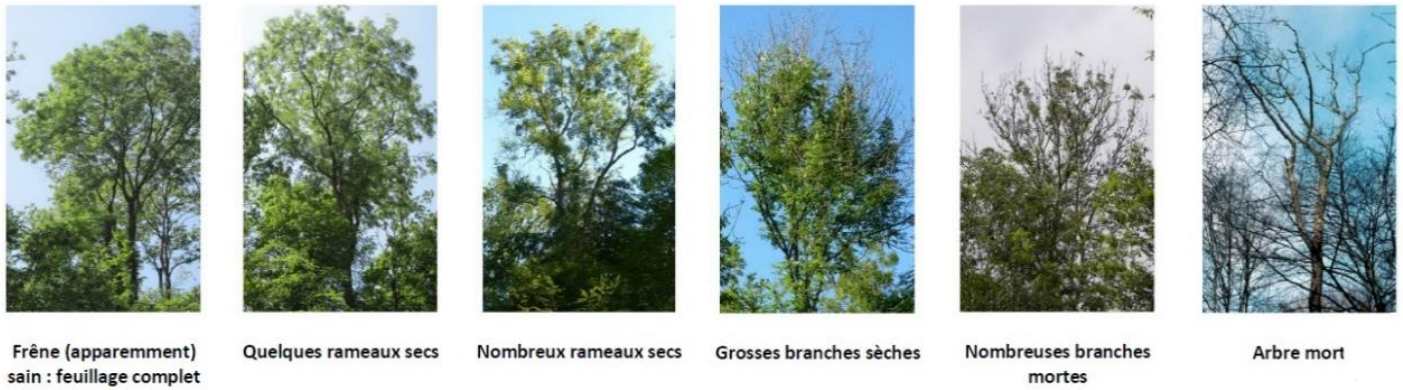


Figure 27 : Photographies présentant la dégradation progressive des houppiers de frênes après infection par la chalarose du frêne (www.onf.fr).



Figure 28 : Photographies de frênes présentant une défoliation du houppier suite à une infection par *Hymenoscyphus pseudoalbidus* à Donville les bains, dans le département de la Manche (Photographie prise par Mr. Grall en 2016).



### 3.3) Solutions et méthodes de surveillance

#### 3.3.1) Méthodes de surveillance

En 2010, le DSF a mis en place un protocole de suivi de la chalarose dans des zones contaminées afin de comprendre et d'étudier son avancée (Nageleisen *et al.*, 2010). Ce diagnostic est à réaliser entre le 15 juin et le 31 juillet. Au-delà de ce délai, l'automne arrive et la chute précoce des feuilles induit un biais important dans l'évaluation des symptômes. De plus, il est nécessaire de parcourir la totalité du peuplement d'une zone étudiée afin d'établir un diagnostic exhaustif de l'état des frênes (CNPF *et al.*, 2013).

Tout d'abord, il est nécessaire d'évaluer l'intensité de l'infection. Pour ce faire, la mortalité des branches, c'est-à-dire la quantité de rameaux et de branches récemment mortes est un des premiers paramètres à relever (Fig. 27). La mortalité des branches s'apprécie grâce à l'observation des houppiers (Fig. 28). La quantification précise n'est pas nécessaire, cependant ce paramètre doit être évalué par rapport à un seuil critique de 50% de mortalité. L'intensité de l'infection est également relevée grâce à la présence de nécroses corticales. Leur évaluation se fait par l'appréciation de la proportion de tronc nécrosée par rapport à la circonférence totale du tronc. Les nécroses occupant plus de 50% de la circonférence du tronc caractérisent les arbres les plus impactés par la chalarose. Ces nécroses renseignent sur les chances de survie des arbres atteints (CNPF *et al.*, 2013).

Ensuite, l'évaluation de l'étendue des dégâts doit être réalisée pour définir le niveau d'urgence de l'intervention. Il faut donc identifier les unités de gestion c'est à dire les parcelles forestières ainsi que les linéaires bocagers nécessitant une gestion prioritaire. Pour ce faire, la composition en essences de l'unité de gestion est importante. En effet, un peuplement constitué d'essences diverses et mélangées offre une plus grande possibilité de recrutement en cas d'un dépérissement important des essences de frêne dans la parcelle (CNPF *et al.*, 2013).

Enfin, c'est la répartition des dégâts qui doit être évaluée. Cette opération permet de déterminer comment les frênes fortement atteints par la chalarose se répartissent dans l'espace étudié. Cette donnée est importante pour évaluer l'étendue de la gestion nécessaire et déterminer les orientations de gestion sylvicoles sur les peuplements atteints (Tableau III) (CNPF *et al.*, 2013).

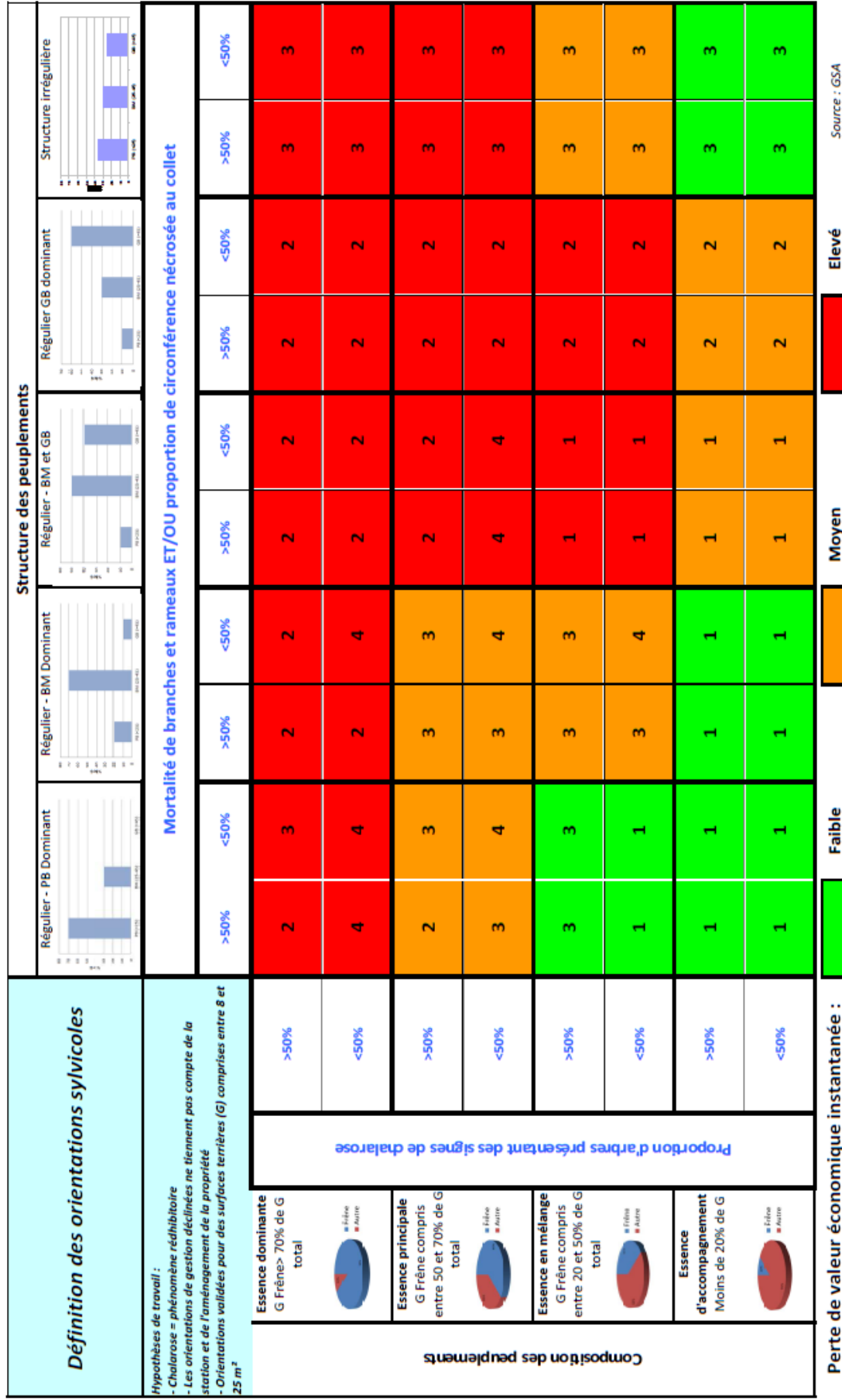


Tableau III : Tableau définissant les orientations sylvoles à mener en fonction de la structure des peuplements, de leur composition et de la proportion d'arbres présentant des signes d'infection par la chalarose (CNPF *et al.*, 2013).

### 3.3.2) Recommandations de gestion

Il n'existe aucun moyen de lutte préventif ou curatif. Les jeunes arbres sont rapidement touchés et meurent rapidement. Pour de nombreux experts forestiers, de la même manière que l'orme il y a plus de 20 ans, la pérennité du frêne à long terme semble compromise ([www.onf.fr](http://www.onf.fr)).

Cependant, diverses recommandations de gestion existent pour limiter la dispersion de la chalarose. Tout d'abord, il convient de stopper les plantations de frênes. Ces plantations représentent en effet un vecteur important d'introduction de la pathologie. De plus, ces pratiques d'implantation sont désormais peu rentables économiquement parlant. Il convient également de limiter les interventions sur les jeunes peuplements, comme les dégagements, les tailles, les élagages (CNPF *et al.*, 2013).

Il faut réaliser un diagnostic préalable basé sur l'observation des symptômes foliaires avant toute opération. Repérer ces symptômes permet de conserver aussi longtemps que possible les individus qui déclarent peu ou pas de symptômes. Dans la mesure du possible, les coupes massives sont à éviter. En effet, les coupes réalisées sur de grandes surfaces sont brutales et néfastes pour la biodiversité. Il convient donc de limiter les coupes et les prélèvements, et de les concentrer sur les individus très fortement affectés par la chalarose. Certains frênes âgés peuvent résister plus longtemps à la pathologie, et certains semblent même résistants à la chalarose. Limiter la coupe aux individus très fortement atteints permettrait de restaurer le peuplement en frênes sur le long terme (CNPF *et al.*, 2013). La maladie ne compromet pas la qualité du bois. Le bois peut toujours être exploité. Ainsi, le bois doit être débordé dans des conditions climatiques optimales, c'est-à-dire des périodes de gel ou des périodes après ressuyage des sols en été pour limiter la dispersion des zoospores (CNPF *et al.*, 2013). Il est également nécessaire de purger les grumes de toutes nécroses visibles au collet avant le transport des bois (CNPF *et al.*, 2013).

### Conclusion

Les régions du Grand Ouest, et notamment la région Normande est connue pour ces paysages bocagers. Les haies bocagères constituant ces paysages bocagers ont de nombreux intérêts agronomiques, biologiques et représentent un véritable enjeu pour la biodiversité. Leur état de santé est cependant menacé par de nombreux facteurs et en particulier des



pathologies fongiques. Dans l'optique de préserver au mieux l'état de santé des haies bocagères du département de la Manche, ce mémoire bibliographique traite de 3 pathologies fongiques à savoir la graphiose de l'orme, *Phytophthora alni* affectant les aulnes et la chalarose du frêne. En effet, au même titre que la graphiose de l'orme, *Phytophthora alni* et la chalarose sont deux pathologies fongiques qui vont fortement impacter le bocage manchois. Bien qu'il n'y ai pas de moyen curatif, des recommandations de gestions ainsi que des prescriptions techniques existent afin de limiter leur propagation. Il est donc nécessaire de limiter l'impact de ces pathologies grâce à une gestion adaptée des haies bocagères.

Le sujet initialement proposé par Manche-Nature portait sur différentes essences caractéristiques des haies bocagères (présentées dans le tableau I). Cependant, il n'était pas possible de traiter de toutes les pathologies affectant ces essences dans ce mémoire bibliographique. Ce mémoire s'est donc intéressé particulièrement aux pathologies fongiques. Une perspective intéressante pour la préservation des haies bocagères pourrait être de réaliser un guide technique présentant d'une part des essences caractéristiques des haies bocagères de la Manche, et d'autre part l'ensemble des pathologies pouvant affecter ces essences. Ce guide fournirait également les causes, ainsi que des solutions techniques afin de surveiller et de limiter la propagation de ces pathologies.



## Références bibliographiques :

Bakys, R., Vasaitis, R., Barklund, P., Ihrmark, K., Stenlid, J., (2009) Investigations concerning the role of *Chalara fraxinea* in declining *Fraxinus excelsior*, *Plant Pathology*, 58, pp. 284-292.

Bakys, R., Vasaitis, R., Barklund, P., Thomsen, I.M., Stenlid, J. (2009) Occurrence and pathogenicity of fungi in necrotic and non-symptomatic shoots of declining common ash (*Fraxinus excelsior*) in Sweden, *European Journal of Forest Research*, 128, pp. 51-60.

Brasier, C.M., Rose J., Gibbs J. N. (1995) An unusual *Phytophthora* associated with widespread alder mortality in Britain, *Plant Pathology* 44, pp. 999 – 1007.

Chandelier A, Abras S, Laurent F, Debruxelles N, Cavelier M. (2006) Effect of temperature and bacteria on sporulation of *Phytophthora alni* in river water. *Communication in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 71/3b, pp. 873-880.

Chandelier A., (2009) Le frêne, une essence menacée en Europe ? *Silva Belgica* 115.

CIVAM / Réseau Agriculture Durable (2001) Gérer haies et bocage avec les plans de gestion de haies, *Cahiers techniques de l'agriculture durable*, Ed. rad, 36 pp.

CNPF, COFORAISNE, Département de la santé des forêts, ministère de l'agriculture et de la pêche, Forêt Privée Française (2013) La chalarose du frêne en Nord-Pas-de-Calais-Picardie. Guide d'aide à la décision et gestion des peuplements sinistrés.

Conseil Général du Calvados, Direction de l'environnement et de la biodiversité (2010) Guide technique des haies bocagères.

Debruxelles N., Chandelier A., Dufays E., Claessens H., Cavelier M., Rondeux J. (2007) Dépérissement de l'aulne en Wallonie, Identification des symptômes et recommandation de gestion. *Silva Belgica* 3.

Delcan, J., Brasier, C.M. (2001) Oospores viability and variation in zoospore and hyphal tip derivatives of the hybrid Alder *Phytophthoras*. *Forest Pathology* 31 : 65-83.

FREDON, INRA, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Agence de l'Eau Rhin-Meuse (2007), Dépérissement des aulnes aglutineux dû à *Phytophthora alni* : Revue bibliographique. Synthèse des travaux réalisés entre 1999 et 2006 dans le bassin Rhin-Meuse et conseils de gestion.

Gibbs, J.N. (1995) *Phytophthora* root disease of alder in Britain, *EPPO, Bulletin* 25, 661-664.  
Goudet, M., Ioos, R., Grandjean, J.P. (2011) *Chalara fraxinea*, quelles évolutions depuis 2008?, *Forêt-Entreprise*, pp. 11-13.

Goudet, M., Piou, D. (2012) La chalarose du Frêne : Que sait-on ?





Grandjean, P., Macaire, A. (2009) L'Émergence d'un nouveau pathogène sur le Frêne commun en France : *Chalara fraxinea*. Rendez-Vous Techniques ONF 25, pp. 3-5.

Kirisits, T., Matlakova, M., Mottinger-Kroupa, S., Halmschlager, E., Lakatos, F. (2010) *Chalara fraxinea* associated with dieback of narrow-leafed ash (*Fraxinus angustifolia*). *Plant Pathology* 59, 411.

Kowalski, T., (2006) *Chalara fraxinea* sp nov associated with dieback of ash (*Fraxinus excelsior*) in Poland. *Forest Pathology* 36, pp. 264-270.

Kräutler, K., Kirisits, T. (2012) The ash dieback pathogen *Hymenoscyphus pseudoalbidus* is associated with leaf symptoms on ash species (*Fraxinus* spp.). *Journal of Agricultural Extension and Rural Development* 9, vol. 4 , pp. 261-265.

Nageleisen, L.M, Piou, D., Saintonge, F-X (2010) La santé des forêts : Maladies, insectes, accidents climatiques... Diagnostic et prévention, Institut pour le Développement Forestier, 608pp.

Nageleisen, L.M. (1993) Les Dépérissements d'essences feuillues en France. *Revue forestière française*, vol. XLV 6, pp . 605-620.

Pinon J., Feugey L. (1994) La graphiose de l'orme, une maladie à causes bien identifiées. *Revue Forestière Française*, 46 (3) : 231-233.

Prom'Haies Poitou-Charentes (2013) Guide « Entretien des haies champêtres ».

Schumacher, J. (2011) The general situation regarding ash dieback in Germany and investigations concerning the invasion and distribution strategies of *Chalara fraxinea* in woody tissue. *Bulletin 41 de l'OEPP/EPPO*, pp. 7-10.

Skovsgaard, J.-P., Thomsen, I.M., Skovgaard, I.M., Martinussen, T. (2010) Associations among symptoms of dieback in even-aged stands of ash (*Fraxinus excelsior* L.). — *Forest Pathology*, 40, 2010, pp. 7-18.

Thoirain, B., Husson C., Marçais , B. (2007) Risk factors for the *Phytophthora*-induced decline of alder in northeastern France. *Phytopathology* 97.1 : 99-105.



### Sites internet :

<http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/ascomycetes/Pages/DutchElm.aspx>  
consulté le 05/11/2016

<http://www.futura-sciences.com> consulté le 11/11/2016

<http://agriculture.gouv.fr/> consulté le 22/11/2016

<http://www.onf.fr> consulté le 24/11/2016

<http://ephytia.inra.fr/fr/Home/index> consulté le 25/12/2016

<http://mushroomobserver.org/> consulté le 27/12/2016

<http://www.kaeder-der-welt.de> consulté le 12/01/2017

<http://manche-nature.fr/> consulté le 14/01/2017

<http://www.flickr.com> consulté le 15/01/2017

<http://www.cra.wallonie.be> consulté le 15/01/2017

### Contacts :

Yves Grall, Président de Manche-Nature, échange de mails le 02/11/2016, le 18/01/2017 et rendez-vous téléphoniques le 09/11/2016 et le 16/01/2017.

Alain Rongier, Manche Nature, Formateur en biologie et en horticulture à la Maison familiale rurale (MFR) de Coutances, relais manchois de la Société française d'orchidophilie (SFO), échange de mail le 13/12/2016.



## Mémoire bibliographique ECOCAEN 2016 - 2017

**Prénom, Nom :** Quentin GOEDERT

**Titre du mémoire :** Santé des arbres des haies bocagères incidences sur l'état du bocage. Causes, solutions, méthodes de surveillance. Les pathologies fongiques »

**Sujet proposé par (nom et organisme) :** Yves GRALL, Président de Manche Nature

**Contacté le :** 19/10/2016

**Référant :** Marie-Pascale Prud'Homme

### Rendez vous avec le référant

Date	Objet du rendez-vous
17/10/2016	Mail : Premier mail informant Madame Prud'homme qu'elle était ma référente universitaire. Ce mail avait également pour but de présenter mon sujet bibliographique.
22/11/2016	Mail : Demande de rendez-vous pour présenter le plan du mémoire.
23/11/2016	Rendez-vous : Présentation du plan du mémoire et discussion quant aux principaux points à aborder dans le mémoire.
14/12/2016	Mail : Informations présentant l'état d'avancement du mémoire ainsi que les informations fournies par les contacts professionnels rencontrés jusqu'alors.
01/01/2017	Mail : Envoi de la première version du mémoire pour correction.
06/01/2017	Rendez-vous : Discussion de la correction de la première version du mémoire.
23/01/2017	Mail : Envoi de la version final du mémoire.

### Contacts extérieurs pris pour la préparation du mémoire (Date, nom, organisme. Rencontre? Téléphone? Échange mail?)

19/10/2016 Yves Grall, Manche Nature, Mails et téléphone.

12/12/2016 Alain Rongier, Manche Nature, échange mail.

12/12/2016 Hélène Ghyselinck, Parc Naturel Régional Normandie-Maine, échange mail.

15/12/2017 Cédric Delcloy, Association Faune et Flore de l'Orne, rencontre.

09/01/2017 Françoise Le Ber, Parc Naturel Régional Normandie-Maine, échange mail.





## Résumé :

Les régions du Grand Ouest, et notamment la région Normande est connue pour ces paysages bocagers. Ces haies bocagères sont des structures agro-écologiques au rôle primordial dans le paysage rural. Elles ont en effet de nombreux intérêts agronomiques et biologiques. Cependant, une régression des habitats bocagers est observée depuis quelques années. Cette régression peut être expliquée par des causes d'origines anthropiques mais également des causes naturelles. Les causes naturelles peuvent être d'ordre abiotiques ou biotiques affectant l'état de santé des haies bocagères.

Dans ce contexte, et devant l'état de santé inquiétant de certaines haies bocagères du département de la Manche, l'association Manche-Nature a proposé ce sujet bibliographique dans le but de déterminer des causes, des solutions et des méthodes de surveillance de l'état de santé des haies bocagères. Cependant, la santé des haies bocagères étant un sujet très vaste, ce mémoire bibliographique se concentre sur 3 pathologies fongiques affectant les haies bocagères en fournissant leur cause, en détaillant leur impact sur le bocage et en fournissant des solutions pour limiter leur propagation. La première pathologie fongique abordée est la graphiose de l'orme. Connue comme affectant les ormes depuis les années 1970, l'impact d'une telle pathologie est connue. Ses causes, méthodes de surveillance et solutions ont donc été très étudiées. Cette pathologie a ensuite été mise en corrélation avec deux pathologies fongiques progressant nouvellement dans le département de la Manche, à savoir *Phytophthora alni* affectant l'aulne et la chalarose du frêne.



### Summary:

Regions of the Western France, and specially the Normandy, is well known for its landscapes composed of hedgerows. The hedgerows are agro-ecological structures which are primordial in rural areas. Indeed, hedgerows have many agronomic and biological interests. However, a decline of hedgerows habitats has been observed for a while. This decline can be explained by anthropic causes but also by natural causes. Theses natural causes can be abiotic or biotic.

In this context, and because of the worrying health condition of hedgerows in the department of Manche, the Manche-Nature association has proposed this bibliographic subject in order to determine causes, solutions and methods to monitor the health condition of hedgerows. However, because the health of hedgerows is a very broad subject, this bibliographic review focuses on 3 fungal pathologies affecting the hedgerows. This review details their cause, it deals with their impacts on the hedgerow and it provides solutions to limit their spread. The first fungal pathology is the elm graphiose. This pathology affects elms since the 1970s, thus the impact of such a pathology is well known nowadays. Its causes and monitoring methods have therefore been studied. This review correlates this pathology with two other fungal pathologies that have newly arrived in the department of the Manche : *Phytophthora alni* and the Chalarose.

**Mots clefs:**

Haies, bocages, Manche, pathologie fongique, graphiose, *Phytophthora alni*, chalarose

**Key words:**

Hedges, bocages, Manche, fungal pathologies, graphiose, *Phytophthora alni*, chalarose.