

Diagnostic de la présence de *Phytophthora alni* et d'*Hymenoscyphus fraxineus* sur le bassin versant de la Choisille :



Licence professionnelle Forêts,
Gestion et Préservation de la
Ressource en Eau

FOSSE Rémi

2017/2018



« Dépourvue de toute théorie, la pratique en culture forestière comme en toute autre matière d'ailleurs, ne saurait être qu'une routine plus ou moins incertaine, plus ou moins obscure ; de même que, sans l'expérience et sans une certaine habitude des opérations matérielles, la théorie la mieux établie peut conduire aux plus graves méprises. »

« C'est donc une pratique raisonnée ou l'union intime de la pratique avec la théorie qui constitue le forestier vraiment instruit. »

Adolphe PARADE

Nancy, 1^{er} Mai 1837

Remerciements :

Tout d'abord, je remercie Monsieur Marais président du Syndicat et Maire de la Membrolle sur Choisille de m'avoir permis de réaliser ce stage.

Merci aussi aux équipes enseignantes de l'UFR Sciences et Techniques, du LEGTA Les Barres et aux professionnels pour leurs cours et conseils toujours pertinents. Plus particulièrement, je remercie Isabelle Gay-Ovejero pour son accompagnement et sa disponibilité et Pascal Guenet pour la passion qui l'anime et qu'il sait communiquer. J'adresse aussi ma gratitude à Mme Azanza qui a accepté de relire ma bibliographie et éclairer mes erreurs.

Mes remerciements vont aussi à l'équipe de la Mairie de la Membrolle sur Choisille et aux membres du Syndicat pour leur accueil sympathique. J'adresse une pensée à ceux partis trop tôt en cette année, André et Karine qui manqueront respectivement au Syndicat et à la Mairie.

Je remercie Frank Massé du CNPF d'Indre et Loire pour ses informations et sa bienveillance depuis le début de mes études dans le domaine forestier.

Enfin, mes plus grands remerciements vont à Grégory Moirin mon maître de stage qui m'a beaucoup appris tant lors de nos sorties de terrain qu'au bureau. Une mention spéciale pour sa bonne humeur.

Merci à tous !

Tables des Matières :

Résumé :	2
Abstract :	2
Introduction :	3
I. Contexte du bassin versant de la Choisille :	4
a) Localisation :	4
b) Climatologie :	4
c) Géologie :	5
d) Topographie :	6
e) Activités anthropiques :	7
f) Hydrologie, Hydrographie :	7
g) Le Syndicat Mixte de la Choisille et de ses Affluents :	8
II. Commande professionnelle :	9
a) Problématique :	9
b) Les rôles de la ripisylve :	10
c) La chalarose :	11
d) Le Phytophthora alni :	13
e) Etat des connaissances sur le bassin versant de la Choisille :	15
f) Méthodologie :	16
III. Résultats :	19
a) Le tronçon du camping de la Membrolle sur Choisille :	19
b) Le tronçon du bief du moulin des Roches :	20
c) Le tronçon de la Choisille de Charcenay :	20
d) Le tronçon du Gué des Prés :	21
e) Résultats généraux :	22
1) La futaie :	22
2) Le taillis :	23
3) Comparaison entre le taillis et de la futaie :	24
f) Limites de la méthode et améliorations :	24
g) Conclusion :	25
IV. Préconisations de gestion :	25
a) Itinéraires pour les aulnes :	25
b) Itinéraires pour les frênes :	26
c) Préconisations générales :	27
1) Chalarose :	27
2) Phytophthora :	27
3) Mesures compensatoires :	27
4) Mesures d'anticipation :	30
V. Conclusion générale :	30
Bibliographie :	
Liste des figures :	
Liste des tableaux :	
Annexes :	

Résumé :

La *chalarose* et le *phytophthora* se répandent rapidement à travers la France et mettent en danger les *ripisylves* et les bienfaits qu'elles engendrent sur les cours d'eau. Face à ce constat, le Syndicat Mixte de la Choisille et de ses *Affluents* a voulu se prémunir. Une méthodologie a été mise en place afin de relever dans les secteurs contaminés les arbres atteints par ces maladies *cryptogamiques*. La prospection du bassin versant de la Choisille n'a pas permis de découvrir de foyer de *chalarose*. Néanmoins, des foyers encore inconnus de *phytophthora* ont pu être découverts. Sur ces secteurs, des tronçons de contrôle ont été mis en place et une étude des arbres de ces tronçons a été lancée. L'étude a révélé l'importance du diamètre dans la contamination des aulnes par le *phytophthora*. Il s'est avéré que les jeunes *cépées* ont une résistance accrue à la contamination de *Phytophthora alni*. Par ailleurs, l'étude a permis de révéler que le *phytophthora* pouvait être virulent malgré une faible population d'hôtes potentiels. Les résultats ont été exploités dans le but de formuler des préconisations de gestion applicables par le Syndicat de la Choisille pour ralentir le développement du *phytophthora*. Le *balivage* des *taillis* d'aulnes peut par exemple permettre d'accroître les chances de survie de l'aulne en secteur contaminé. Avec les mêmes objectifs, des préconisations de gestion pour le frêne ont été formulées à partir des informations récoltées dans la littérature spécialisée. Enfin des préconisations communes aux deux *pathogènes* ont été proposées. Ce document servira donc d'appui à la décision dans les opérations de gestion de la ripisylve. **Mots clés : Frêne, Aulne, Phytophthora alni, Hymenoscyphus fraxineus Chalarose, Maladies cryptogamiques, Ripisylve, Forêt alluviale.**

Abstract :

Along the rivers of France, the alder and the common ash are the most common trees. But, for a decade, these trees have been decimated by two diseases, the *chalarose* and the *phytophthora*. In the aim to combat these cryptogamic diseases, the Choisille river authority started a study. The river basin has been inspected and many new contaminated sectors have been discovered. None of them were contaminated by the *chalarose*, only *phytophthora* was present. In contaminated sectors, observation areas have been defined. In these areas, the health of the alders, their diameter and the type of trees were listed. This study revealed the resistance of coppices against *phytophthora*. Also, we discovered that the diameter affects the opportunity of contamination. In a second part, management proposals were made in order to slow down the contamination. To reach this objective, we can cut down the alders which are in a bad state of health and replant new trees. In the same aim, we have made management propositions for the common ash. Finally, propositions concerning the *chalarose* and *phytophthora* have been made in order to aid the Choisille river authority in its management of riparians woodlands. **Keywords : Alder, Common Ash, Phytophthora alni, Hymenoscyphus fraxineus, cryptogamic diseases, Riparians woodlands.**

Introduction :

Le bassin versant de la Choisille (37) est depuis quelques années concerné par des dépérissements d'aulnes causés par *Phytophthora alni*. Par ailleurs le front de la chalarose du frêne progresse rapidement et concerne déjà des communes du département. C'est dans ce contexte d'émergence de maladies cryptogamiques que j'effectue mon stage. L'objectif de ce rapport est de réaliser un état des lieux des zones atteintes par ces pathogènes puis de formuler des propositions de gestion au cas par cas qui seront facilement utilisables par le Syndicat Mixte de la Choisille et de ses affluents. Tout d'abord, le bassin versant de la Choisille et ses particularités seront présentés. Ensuite nous nous intéresserons brièvement au Syndicat en charge de la gestion de ce cours d'eau. Dans un second temps la problématique de mon stage sera présentée ainsi que les enjeux qui découlent de la préservation de la ripisylve. Ensuite, le bilan des connaissances locales sur ces pathogènes ainsi que la méthodologie suivie tout au long de cette étude seront détaillés. Les résultats seront ensuite présentés et commentés. Enfin, pour conclure ce rapport, différentes préconisations et propositions de gestion seront détaillées dans l'objectif de réduire l'impact de ces pathogènes et d'organiser au mieux la transition de la ripisylve face à la virulence de ces deux maladies. Par ailleurs un glossaire des sigles (**annexe 1**) et un glossaire des termes techniques en italique (**annexe 2**), sont présents pour faciliter la lecture et la compréhension du présent document.

I. Contexte du bassin versant de la Choisille :

a) Localisation :

Le bassin versant de la Choisille se situe en Indre et Loire (37) au Nord de Tours (Figure 1). La Choisille prend officiellement sa source à St Laurent en Gâtine puis chemine vers le Sud-Ouest pour rejoindre la Loire à St-Cyr-sur-Loire. Ce cours d'eau est donc un affluent de la Loire sur sa rive droite.

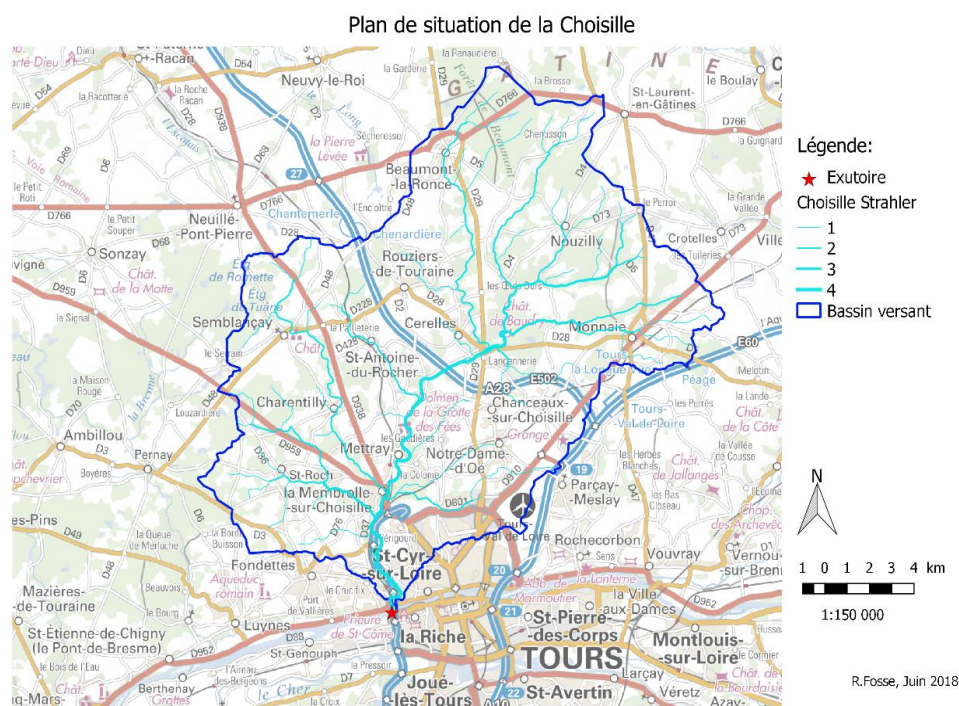


Figure 1 : Carte de localisation du bassin versant de la Choisille

Sur cette carte on peut voir les principales communes présentes sur le bassin versant dont Tours et St Laurent en Gâtines en sont les limites Nord et Sud. La population présente sur les communes de la Choisille est d'environ 60 000 habitants. Le bassin versant chevauche 24 communes, son *exutoire* est situé sous le pont de la D37 à St Cyr sur Loire.

b) Climatologie :

Le bassin versant de la Choisille est soumis à un climat océanique dégradé. Le *diagramme ombrothermique* ci-dessous (Figure 2) présente la répartition des précipitations dans l'année ainsi que les températures moyennes.

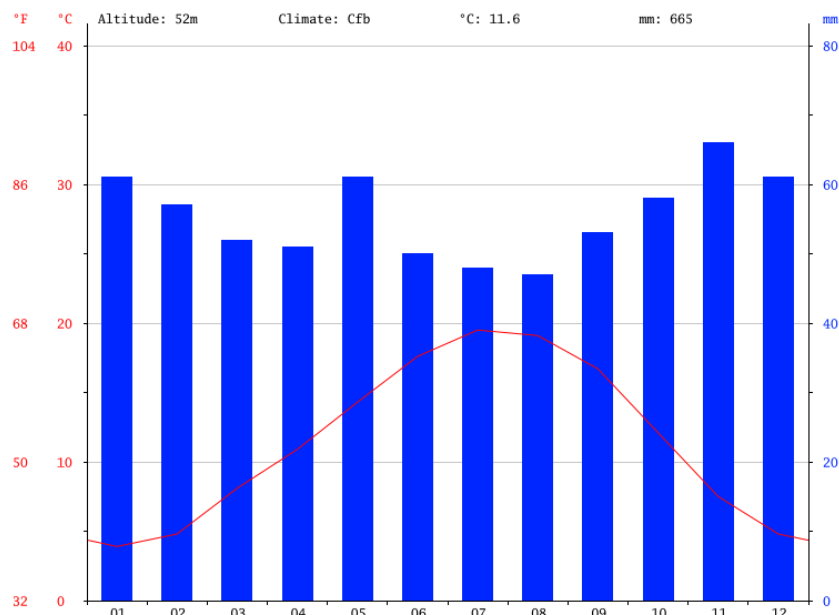


Figure 2: Diagramme ombrothermique de Tours, station de Parçay Meslay (source www.climate-data.org)

La température moyenne annuelle est de 11°C. Les précipitations annuelles moyennes sont de 640mm. Comme on peut le constater sur le diagramme, celles-ci sont bien réparties dans l'année. Elles garantissent un bon fonctionnement des affluents de faible débit, permettant ainsi de diminuer leurs périodes d'assec. On constate l'absence de mois sec, et une forte dominance des mois dits « humides ».

c) Géologie :

La Choisille chemine sur un massif calcaire, la carte ci-dessous (Figure 3) présente la composition des différentes couches géologiques à l'affleurement. L'observation des couches nous révèle la présence d'anciens petits affluents aujourd'hui disparus qui ont érodé les couches géologiques les plus récentes. A l'échelle d'un tronçon de cours d'eau, nous pouvons retracer l'histoire de celui-ci et voir si son lit a été détourné, recalibré ou modifié de quelque manière que ce soit. Cela permet lors des restaurations morphologiques de cours d'eau de pouvoir rendre à la rivière ses anciens méandres. Par ailleurs, la connaissance de la géologie du bassin versant nous donne des tendances concernant les paramètres physico-chimiques de l'eau qui y circule. Ainsi, les eaux de rivières cheminant sur du calcaire ont des pH élevés à l'inverse des eaux de massifs granitiques plutôt acides. Par ailleurs la *conductivité* des eaux de massifs calcaires est généralement forte voire très forte comme dans la Petite Choisille au niveau de St Roch où nous avons pu mesurer des valeurs supérieures à 500µS/cm.

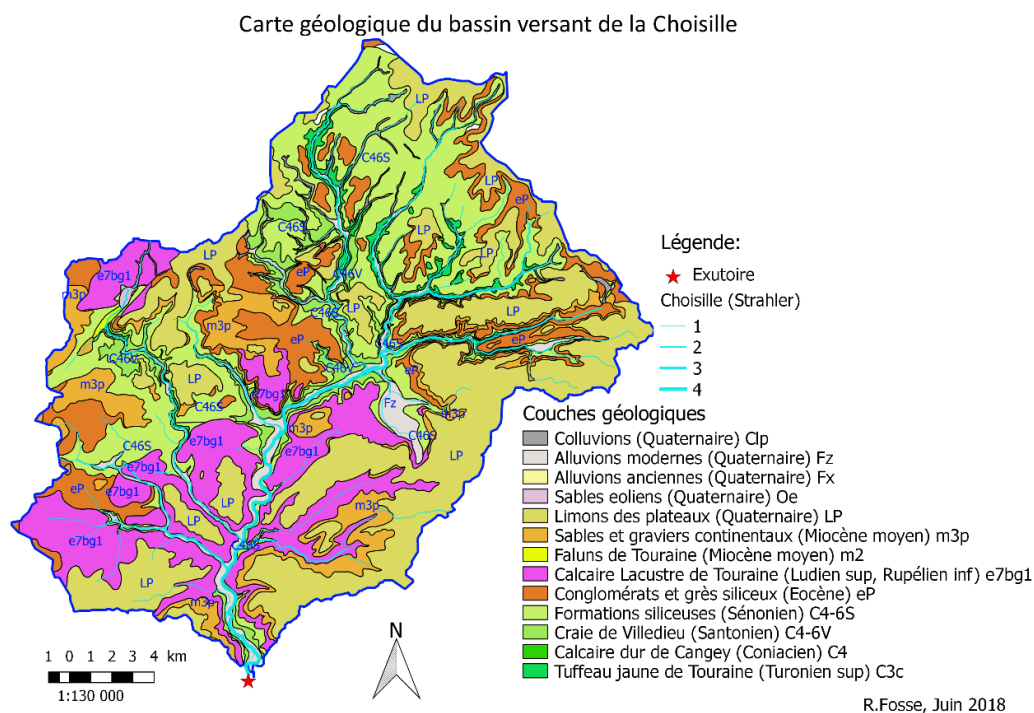


Figure 3: Carte géologique du bassin versant de la Choisille

Sur cette carte on peut voir que le bassin versant de la Choisille est dominé par 3 couches géologiques à l’affleurement. Les limons des plateaux et les calcaires lacustres de Touraine occupent la partie Sud du bassin. Les formations siliceuses occupent la partie Nord, celles-ci sont composées majoritairement d’argiles à silex. Au niveau de l’exutoire, on trouve à l’affleurement des alluvions anciennes de bas niveau de la Loire. Cela laisse à penser que les alluvions modernes de la Loire ont été érodées par la rivière puis, que le lit de celle-ci s’est progressivement déplacé vers l’Ouest.

d) Topographie :

Le Bassin versant de la Choisille est situé en plaine, les reliefs y sont donc faibles. L’altitude maximale sur le bassin versant est de 141m tandis que l’altitude la plus basse est à 47m (NGF). Cela joue donc grandement sur les faciès d’écoulement du cours d’eau. Cependant, malgré le faible relief, les pentes linéaires varient sur le bassin versant et selon les masses d’eau. Ainsi, la Grande Choisille est sur une pente douce tandis que la Choisille de Beaumont et celle de Chenusson sont sur des pentes plus prononcées comme en témoigne la carte des pentes (**annexe 3**). De cette variabilité découle une dynamique d’érosion et de dépôt, ce qui est par ailleurs facilité par la friabilité du massif calcaire sur lequel chemine la rivière. Cette dynamique d’érosion a d’ailleurs été modifiée au fil du temps par les activités de l’homme.

e) Activités anthropiques :

L’homme est présent depuis fort longtemps sur le bassin versant de la Choisille, on retrouve des vestiges gaulois, romains et antérieurs disséminés sur tout le bassin versant. Ces vestiges se présentent sous diverses formes, un talus de plus de 3m qui

ceinturait un camp romain au niveau de Nouzilly ou le dolmen de la grotte aux fées à Mettray ou encore l'aqueduc romain de Fondettes. Des analyses *palynologiques* (N.Poirier et al, 2013, **annexe 4**) viennent témoigner de l'abondante activité humaine notamment à partir de la seconde partie du haut Moyen-Age. Ces analyses ont été effectuées au lieu-dit les Naudières à l'Est de Nouzilly. On y voit ainsi l'essor de l'agriculture durant le Haut Moyen Age au travers des pollens de céréales. Les nombreux moulins présents sur la Choisille témoignent de la forte activité agricole depuis le Moyen Age. Aujourd'hui même si peu de ces derniers sont encore visibles, leurs impacts sur le cours d'eau sont eux toujours présents. Des seuils, des canaux d'alimentation, des *biefs* et d'autres ouvrages révèlent la présence de ces anciens moulins. L'activité agricole du Moyen-Age a été la première à impacter les cours d'eau durablement. C'est à cette époque que les moines défricheurs ont su tirer parti de la Choisille en réalisant des étangs sur cours et des bras d'alimentation de moulins. Cependant, depuis longtemps déjà, les matériaux charriés par la Choisille étaient utilisés pour la construction. On peut aujourd'hui s'en rendre compte grâce à l'absence de blocs dans les cours d'eau. Puis, des siècles plus tard, la mécanisation de l'agriculture s'est accompagnée du recalibrage des cours d'eau, de la modification de leur alimentation et de la réduction de leur emprise avec le drainage des plaines d'inondation. Enfin de nos jours, l'urbanisation grandissante a busé, enfermé, transformé les cours d'eau en canaux d'eaux pluviales provenant des routes, des zones résidentielles et industrielles.

L'homme a façonné l'histoire de la Choisille en modifiant sans cesse ses écoulements et en perturbant son profil d'équilibre. Parmi ses affluents, il en est un nommé la Petite Gironde qui connaît une forte dynamique d'incision à l'amont à cause des perturbations causées par l'homme. Sur ce cours d'eau, le débit est conditionné par les arrivées d'eaux pluviales d'une zone d'activité imperméabilisée. Lorsque les pluies sont fortes, cet affluent se met en charge et en l'absence de zone où déborder, il érode son propre lit. Aujourd'hui son lit mesure moins d'1 mètre de large mais se situe 2m50 plus bas que les berges d'origine. La morphologie de la Choisille découle de ces milliers d'années d'activités anthropiques.

f) Hydrologie, Hydrographie :

Le cours d'eau que l'on appelle communément la Choisille est composé de 5 masses d'eau (Figure 4) :

- La Grande Choisille (FRGR0313)
- La Petite Choisille (FRGR1012)
- La Choisille de Beaumont (FRGR1024)
- La Choisille de Chenusson (FRGR1647)
- Le Ruisseau de Saulay (FRGR2229)

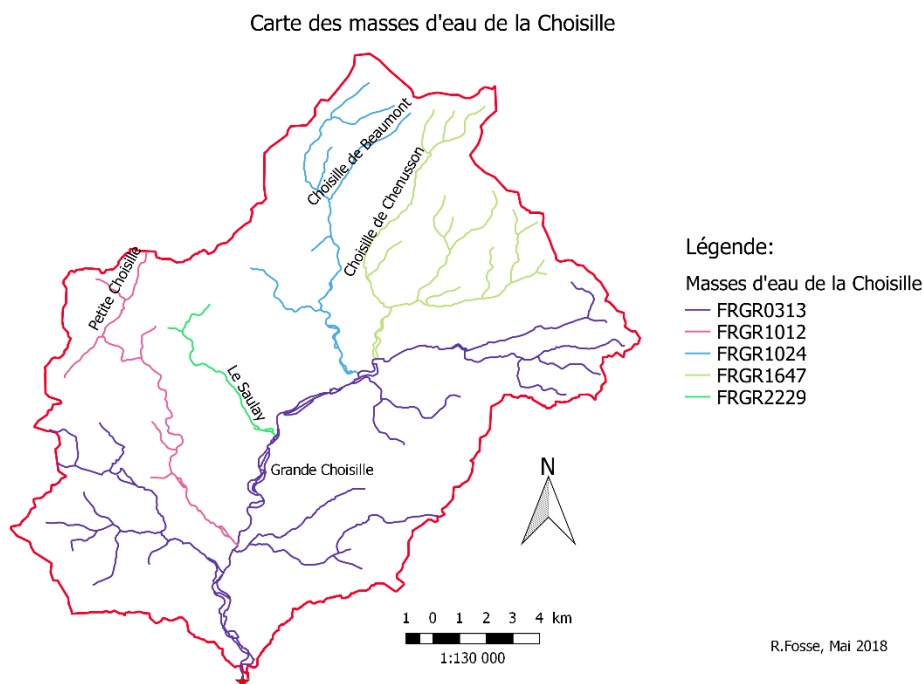


Figure 4: Carte des masses d'eau du bassin versant de la Choisille

Ces 5 masses d'eau représentent environ 144km de linéaires de cours d'eau. La Grande Choisille est la plus grande de ces 5 masses d'eau avec une longueur de 80 km et une emprise de 144km². Le bassin versant réel de cette rivière correspond à son bassin versant topographique qui s'étend sur 290km². La Choisille atteint le niveau 4 de la *classification de Strahler* (1952) à sa confluence avec la Loire. Ce cours d'eau présente majoritairement des écoulements de type *lentiques* qui découlent du faible relief et de l'abondance d'ouvrages faisant obstacle à l'écoulement.

Le régime hydrologique de la Choisille est un régime pluvial, les hautes eaux se retrouvent en période froide et l'étiage, durant la période estivale. Du fait de sa situation géographique et climatique, la Choisille n'est pas concernée par les eaux issues de la fonte des neiges.

Il existait une station de mesure et de suivi des débits à Mettray depuis 1971 cependant celle-ci a été arrêtée en 1984.

g) Le Syndicat Mixte de la Choisille et de ses Affluents :

L'organisme chargé de la gestion du bassin versant est le Syndicat Mixte de la Choisille et de ses Affluents. Afin de déléguer la gestion des rivières au Syndicat, un contrat territorial des milieux aquatiques est mis en place. Actuellement, le Syndicat est en période d'inter contrat, le précédent s'étant terminé en 2015. Cet organisme a pour objectif de conserver et d'améliorer l'état chimique et biologique des eaux. Cette mission est cadrée réglementairement par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) inscrite en 2004 dans le droit Français. L'objectif de la DCE est d'atteindre le bon état des eaux et des milieux aquatiques avant 2015. Cependant, un délai a été accordé jusqu'à 2021 voire même 2027 pour les cours d'eau les plus perturbés. Deux outils de mise en œuvre de cette politique sur l'eau existent, le SDAGE, décliné localement en Programme de

Mesures (PDM). La Choisille est concernée par le SDAGE Loire Bretagne. Afin de rendre la gestion plus pertinente, des hydroécorégions possédant des caractéristiques similaires (Géologie, Climat, Relief) ont été créées. La Choisille se trouve dans les Tables Calcaires.

La Choisille étant une rivière du domaine privé, les propriétaires sont tenus de réaliser l'entretien des berges. Toutefois, le Syndicat se substitue aux propriétaires lorsque cela est nécessaire. Afin de remplir ses objectifs, il réalise des effacements d'ouvrages, des recharges granulométriques, des suivis piscicoles ainsi que la surveillance et l'entretien des ripisylves sur les territoires des communes adhérentes. Cependant, cette organisation va être modifiée car depuis la mise en place de la loi "métropoles", la compétence GEMAPI, Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations, revient aux communes ou à leur groupement. D'un commun accord, 3 syndicats ont décidé de fusionner avec celui de la Choisille. L'organisme émergent de cette fusion aurait alors la gestion des affluents rive droite de la Loire au niveau de Tours (carte en **annexe 5**) soit, La Choisille, La Roumer, La Bédouire et la Bresme.

Le territoire ainsi couvert regroupera 5 EPCI (Etablissement Public de Coopération Intercommunale). Cet agrandissement permettra une gestion plus homogène des territoires. De plus dans le cadre de problématique comme celle abordée dans le présent rapport, la gestion sur un territoire plus grand permet de lutter plus efficacement contre l'expansion des maladies. Par ailleurs, le nouveau syndicat sera habilité à réaliser des interventions pour des communes non-adhérentes notamment en maîtrise d'œuvre. Cette modification dans ses statuts permettra d'agir sur les ripisylves contaminées des communes non-adhérentes afin d'éviter la contamination sur les autres communes du bassin versant. Enfin, grâce aux économies d'échelle dues à la fusion, un technicien de rivière supplémentaire pourra être recruté. En fonction de l'évolution de la chararose et du phytophthora, celui-ci pourra peut-être prendre la forme d'un agent d'entretien des rivières qui aura la charge de diagnostiquer et agir sur les problèmes de la ripisylve.

II. Commande professionnelle :

a) Problématique :

Depuis une dizaine d'années, les gestionnaires de cours d'eau font face à des maladies atteignant les aulnes et les frênes. Ces maladies, la chararose et le phytophthora, entraînent le dépérissement de deux des principales *essences* des cordons de végétation rivulaire, déstabilisant ainsi le milieu. L'aulne est l'essence la plus rencontrée au bord de la Choisille, suivi par le frêne et enfin le saule. Sur le bassin versant, ces maladies entraînent désormais des questionnements de la part des usagers et des élus.

C'est dans ce contexte que le SMCA aimerait avoir un état des lieux des zones atteintes sur le bassin versant afin de qualifier et de quantifier l'impact. Ce diagnostic des tronçons contaminés permettra de réaliser un suivi pluriannuel de la contamination et de réduire la propagation des maladies grâce à des préconisations de gestion développées à partir des résultats du diagnostic. Le but de mon stage dans cette structure est donc de réaliser le diagnostic de la présence de ces 2 pathogènes à

l'échelle du bassin versant de la Choisille et de proposer des gestions adaptées aux différents cas rencontrés. La gestion anticipée de ces maladies est primordiale sur le bassin versant car le risque est de perdre les 2 principales essences riveraines de la Choisille. Afin d'atteindre le bon état chimique et écologique des eaux exigé par la DCE il est donc indispensable de protéger la ripisylve.

b) Les rôles de la ripisylve :

La ripisylve du latin "ripa" rive et "Silva" forêt est une formation végétale essentielle au fonctionnement des rivières. Ses rôles sont multiples et influencent directement les cours d'eau.

Les arbres contribuent à la fixation des berges et limitent l'érosion de celles-ci par le cours d'eau. Cependant, afin de garantir cette protection, il est nécessaire de privilégier des essences telles que le saule, le frêne et l'aulne qui ont des systèmes racinaires développés. Les peupliers sont à proscrire au bord des cours d'eau car leur mauvais ancrage, dû à leur enracinement superficiel, engendre un risque d'arrachage de la berge sur plusieurs mètres (Debiais, 2003). En témoigne la photo ci-dessous prise chez un propriétaire riverain de la Choisille (Figure 5).



Figure 5 : Photographie du mauvais ancrage racinaire d'un peuplier chez un riverain de la Choisille (G. Moirin).

Il est à noter qu'un peuplier échappe à cette règle : le peuplier noir, essence emblématique des bords de Loire.

Lors des crues, la ripisylve joue un rôle important de ralentissement des eaux et de dissipation du courant. Cela permet aussi le piégeage des sédiments fins lors de la décrue. D'un point de vue de la qualité des eaux, la ripisylve joue un rôle tampon en filtrant les écoulements et en piégeant des quantités importantes de nitrates et de phosphates, principaux déclencheurs de l'*eutrophisation* (Dufour, 2006). Par ailleurs, les produits phytosanitaires peuvent eux aussi être piégés et dégradés par la ripisylve.

Grâce aux systèmes racinaires profonds des essences de la ripisylve, les échanges avec les eaux souterraines sont améliorés. Ainsi la recharge des nappes est facilitée.

De plus, les cordons végétaux tels que la ripisylve sont des atouts fondamentaux pour la biodiversité. Les ripisylves sont autant de *corridors écologiques*, que de lieux de reproduction et d'alimentation pour un grand nombre d'espèces.

Le sol lui aussi est bénéficiaire du fonctionnement de la ripisylve, la dégradation des litières composées de fanes d'aulnes, de frênes et de saules produit un humus très riche car ces essences ont un très bon *rapport C/N* (Carbone/Azote). De plus l'aulne fixe l'azote atmosphérique et enrichit le sol grâce à des *nodosités* présentes sur ses racines. Cette capacité permet de réguler l'azote en suspension dans l'atmosphère et favorise les espèces nitroclines et nitrophiles.

Enfin d'un point de vue piscicole, l'ombrage apporté par la ripisylve conserve la température des eaux. Les racinaires et les sous berges sont des habitats prisés par la faune aquatique. Ainsi, les conditions de vie sont améliorées et des espèces plus exigeantes comme les truites peuvent s'installer.

Parmi les trois essences les plus communes et efficaces en ripisylve seul le saule semble exempt de maladies cryptogamiques graves. L'aulne et le frêne eux sont sévèrement atteints, remettant en cause leur présence au bord des cours d'eau. La ripisylve et tous les bénéfices qu'elle implique sont donc mis en danger par ces deux maladies. Ces pathogènes posent et poseront donc de sérieux problèmes de gestion au Syndicat dans les prochaines années.

c) La chalarose :

La chalarose est une maladie issue de l'attaque d'un champignon, *Hymenoscyphus fraxineus* (forme sexuée), la forme asexuée est nommée *Chalara fraxinea*. Par convention on nomme le champignon par sa forme sexuée *Hymenoscyphus fraxineus*. Ce nom est employé depuis 2013 afin d'éviter des confusions dues à l'ancien nom *Hymenoscyphus pseudoalbidus* (Baral et al, 2014). Les premiers cas signalés sont apparus en Pologne et en Lituanie dans le milieu des années 90. Cependant un chercheur japonais avait déjà isolé ce pathogène en 1993 sur du *Fraxinus mandshurica*. Le champignon n'avait alors pas été identifié mais a pu l'être quelques années plus tard. Celui-ci serait donc selon toute vraisemblance, originaire d'Asie. Le premier cas avéré en France a été détecté en Haute Saône (2008). La progression de la chalarose serait de l'ordre de 50km/an (A. Dowkiw, 2016) comme en témoigne la carte de la figure 6.

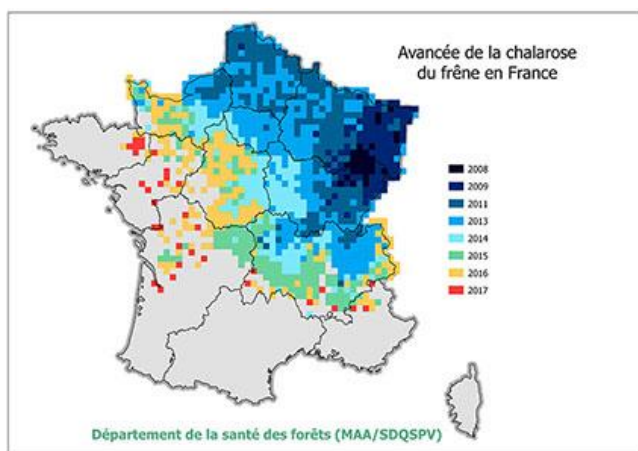


Figure 6 : Carte de la propagation de la chalarose de 2008 à 2017 (source DSF)

Ce champignon se reproduit majoritairement dans les litières de feuilles de frêne contaminé. Les *ascospores* s'installent au niveau du *rachis* de la feuille et émettent des

spores transportées sur de longues distances par le vent (Kirisits et al, 2009). Ainsi plus la litière contaminée est importante, plus la pression d'inoculum est forte. De plus, des études (Marçais et al, 2016 ; Husson et al, 2012) confirment que l'humidité des bords de cours d'eau est favorable à ce champignon qui est sensible à la *dessication*.

Le frêne est la victime exclusive de ce champignon, le frêne commun et le frêne oxyphylle y sont particulièrement sensibles. Les variétés d'ornement comme le frêne d'Amérique et le frêne rouge ne semblent pas affectées.

Ce champignon atteint les feuilles, les rameaux et le *collet* des arbres de tout âge. Il n'existe pas de cas de contamination complète d'individu, les foyers au collet et au niveau des feuilles sont considérés comme différents. Le bois sain sous-jacent aux zones contaminées n'est jamais porteur du pathogène. Des travaux récents (Husson et al, 2012) suggèrent que la contamination des troncs se fait par l'intermédiaire des *lenticelles*.

Le champignon provoque un flétrissement des feuilles ainsi que des *nécroses* de rameaux pouvant parfois rejoindre le tronc (Husson et al, 2012). Les sujets les plus atteints présentent des nécroses au collet. Ces nécroses au collet des frênes sont autant de portes ouvertes pour des pathogènes opportunistes tel l'*Armillaire* (Bakys et al, 2011). Une fois l'*Armillaire* en place le système racinaire est progressivement détruit sapant l'ancrage de l'arbre l'amenant progressivement à sa chute.

Ces atteintes, notamment celles au niveau *foliaire* sont responsables de fortes diminutions de croissance. Selon le Département de Santé des Forêt (test de l'INRA), pour un dépérissement de plus de 10%, la croissance chute de 35 à 60% sur les 4 ans qui suivent. Cependant la mortalité reste corrélée à la présence de nécroses au collet ainsi qu'à l'*Armillaire*. La mortalité demeure modérée sur les individus de plus de 25 cm de diamètre car elle est fonction du recouvrement de la nécrose au collet.

Tout espoir n'est pas perdu pour le frêne commun car, contrairement à la *graphiose* de l'Orme, la maladie n'atteint pas les vaisseaux de l'arbre (Husson et al, 2012). Celui-ci peut donc combattre l'infection notamment par l'émission de *rejets traumatiques* pouvant reconstituer la surface foliaire perdue. Par ailleurs une résistance génétique a pu être observée avec des frênes présentant peu voire pas de symptôme dans les foyers de contamination. De plus cette résistance aurait un bon potentiel de transmission génétique (A. Dowkiw, 2016). Des programmes sont aujourd'hui à l'œuvre pour identifier et préserver les arbres génétiquement résistants afin de garantir la pérennité du frêne sur le territoire. Le taux de dépérissement et de mortalité dépend de 4 critères : l'âge et la résistance génétique du sujet, l'humidité de l'environnement, l'ancienneté du pathogène sur place. Les symptômes de la chalarose sont distincts entre le tronc et le houppier, les principaux rencontrés chez les sujets atteints de la chalarose sont récapitulés dans la figure 7.



Figure 7 : Photographies des différents symptômes de la chalarose. A gauche, le flétrissement des feuilles. Au milieu, la nécrose sur rameau. A droite, la nécrose au collet (INRA, A.Dowkiw).

d) Le *Phytophthora alni* :

Il existe un grand nombre de *Phytophthoras* du grec phytón (plante) et phthorá (destruction). Celui qui touche l'aulne glutineux est nommé *Phytophthora alni*. Cet organisme pluricellulaire filamenteux a longtemps été apparenté à un champignon. Cependant sa reproduction particulière le fait rentrer dans la classe des Oomycètes (Kirk et al, 2001). Cet organisme est capable de libérer des spores équipées de 2 flagelles qui leurs octroient la capacité de se déplacer dans l'eau (Brasier et Delcan, 2001) ce sont des zoospores. Cet organisme récent issu de l'hybridation de 2 *Phytophthoras* (Brasier et al, 1999), a été découvert dans le sud de l'Angleterre en 1993. Identifié en France en 1996, il pose depuis de nombreux problèmes notamment au niveau des ripisylves où il élimine progressivement l'aulne glutineux. Cette hybridation existe sous plusieurs formes, trois taxons ont été identifiés (Brasier et al, 2004), *P. alni* subsp. *alni* (Paa), *P. alni* subsp. *uniformis* (Pau) et *P. alni* subsp. *multiformis*.

En seulement une vingtaine d'années ce parasite s'est répandu et colonise désormais toute l'Europe. Sa virulence et ses capacités de déplacement ont inscrit l'aulne parmi les espèces les plus menacées d'Europe à l'instar de l'Orme champêtre. Cet organisme principalement véhiculé par l'eau aime les faciès lenticues lui permettant de s'*enkyster* plus facilement sur les racines des aulnes de berge. Les eaux chaudes améliorent ses chances de survie et sa capacité de déplacement. Ce mode de déplacement induit une propagation naturelle allant de l'amont à l'aval. Des expériences (Streito et al, 2002) ont montré des résultats allant jusqu'à 10 zoospores par litre d'eau de rivière filtrée. Il a été observé que les agents pathogènes diminuaient fortement avec le froid à partir d'une semaine à -5°C, ou de 2 jours à -10°C. Au vu des préférences de ce pathogène, le réchauffement climatique risque de favoriser son expansion. Les aulnes les plus susceptibles d'être atteints par le phytophthora sont ceux situés en bord de cours d'eau où la température estivale de l'eau est supérieure à 16°C. Ainsi les zones présentant un couvert arboré plus faible seront sujettes à contamination (INRA, 2007). De plus les courants faibles parfois dus à des ouvrages (seuils, barrages, ponts) sont favorables au phytophthora. Les sols argilo-limoneux sont aussi plus propices au développement de cet organisme.

Le Phytophthora pénètre par les racines, les lenticelles et les blessures des arbres. Il atteint les individus de tous âges. En s'attaquant aux tissus conducteurs de l'arbre, le Phytophthora tue son hôte en le privant progressivement de son alimentation hydrique. Les sujets infectés survivent rarement plus de 5 ans (Claessens, 2013). Difficile à détruire, ce pathogène est capable de survivre dans le sol jusqu'à 3 ans après la coupe de l'individu atteint. L'enfouissement des déchets d'abattage est aussi à proscrire car le parasite résiste jusqu'à 3 mois dans les bois coupés.

Le dépérissement est caractérisé par 5 étapes présentées dans le tableau 1 ci-dessous. Ces étapes sont aussi présentées en photographie en **annexe 6**.

Tableau 1: Les différentes étapes du dépérissement.

Etapes :	Symptômes :
1 Arbre sain	Aucun
2 Arbre infecté	Faibles, feuilles jaunâtres, houppier légèrement éclairci
3 Arbre fortement infecté	Forts, combinaison de symptômes
4 Arbre mourant	+ 50% du houppier dégarni
5 Arbre mort	Mort

Les symptômes du phytophthora se retrouvent dans le houppier et au niveau du tronc. Dans les houppiers, les feuilles sont plus petites et jaunissantes, le houppier paraît donc clairsemé. Cependant, celui-ci reste homogène, il n'y a pas de mortalité de branches. Les symptômes du tronc se retrouvent sous forme de taches noirâtres, d'exsudats goudronneux et de nécrose sous-écorce. Les symptômes du phytophthora sont présentés dans la figure 8.



Figure 8 : Photographies des symptômes du Phytophthora alni. A gauche, une nécrose du tronc prise sur la Choisille. A droite, un aulne sain au feuillage normal (droite) et un aulne aux petites feuilles jaunâtres atteint du phytophthora (Ephytia).

e) Etat des connaissances sur le bassin versant de la Choisille :

Au travers de leurs caractéristiques propres, on peut constater que ces deux maladies sont favorisées le long des rivières aux profils lentiques dominants et aux températures annuelles élevées. Le bassin versant de la Choisille est donc une zone très favorable à l'installation et à la propagation de ces deux maladies cryptogamiques.

Les premiers dépérissements d'aulnes ont été détectés en 2013, ceux-ci étant très sporadiques ils n'ont pas tout de suite été associés au phytophthora. Cependant, entre 2014 et 2015, le dépérissement combiné de plusieurs aulnes a fini par trahir sa présence. Depuis, les dépérissements continuent mais leur ampleur est très variable selon les années.

Pour ce qui est de la chalarose, les cartes de progression éditées par le projet Chalfrax nous révèlent que la maladie a été détectée en 2014 en région Centre. Aujourd'hui elle a été détectée à plusieurs reprises en Indre et Loire. Des foyers de contamination ont été identifiés à Azay le Rideau, Saché, Veigné, Loches et Continvoir (F. Massé, Département Santé des Forêts, comm. pers.). La figure 9 présente les villes contaminées par rapport au bassin versant de la Choisille. On voit donc que la maladie est déjà présente aux alentours de la Choisille. Au vu de sa progression de 50km/an, nous devrions être pleinement concernés d'ici 2020. Cependant, la plupart des villes atteintes étant situées à moins de 25 kilomètres, le pathogène pourrait se répandre plus rapidement. De plus, cette carte ne présente que les foyers connus mais il y a fort à parier que certains non répertoriés existent autour du bassin versant.

Carte de présence de la Chalarose

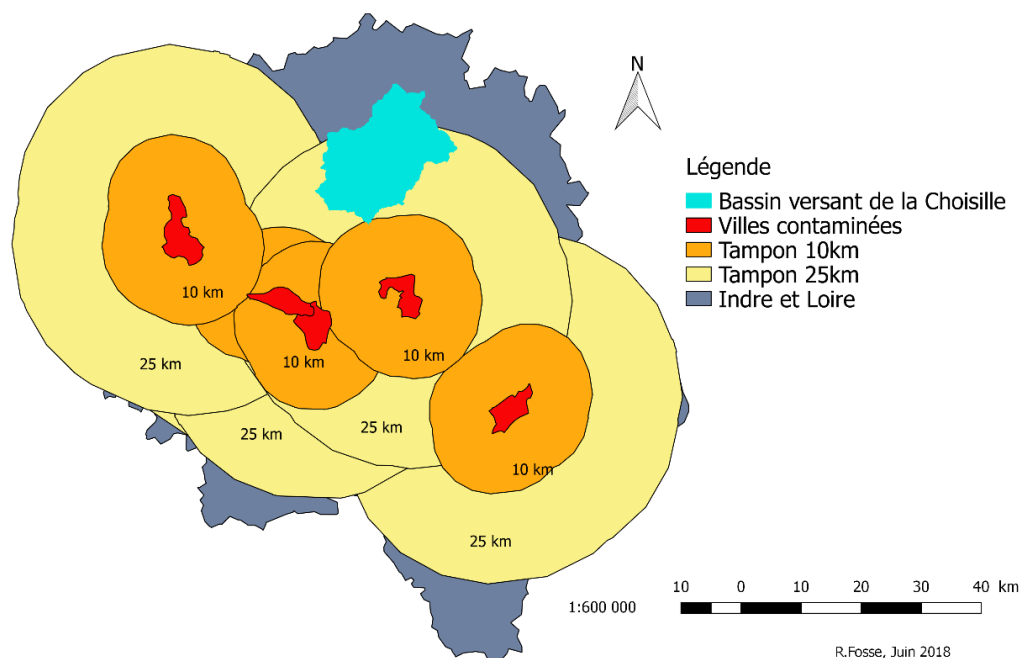


Figure 9 : Carte représentant les secteurs infectés par la chalarose par rapport au bassin versant de la Choisille ainsi que les rayons de contamination à 10 et 25 kilomètres.

La démarche du Syndicat diffère donc quelque peu dans l'approche de ces deux maladies. L'une étant déjà reconnue sur son territoire depuis plusieurs années, l'autre commençant son installation dans le département. Cette démarche anticipée permettra au SMCA d'être préparé aux dégâts et à la gestion de ces pathogènes. Il s'agira donc de localiser de nouveaux foyers et d'inventorier l'impact du phytophthora et de localiser les premiers foyers de contamination de la chararose. Puis de proposer des solutions de gestion au cas par cas pour simplifier les actions futures du Syndicat.

f) Méthodologie :

Tout d'abord, une recherche bibliographique sur la chararose et le phytophthora a permis de réaliser un état des connaissances sur le sujet afin de pouvoir reconnaître et agir sur ces deux pathogènes. Cette recherche a permis d'amasser des informations sur la biologie des 2 vecteurs de maladie. Cette connaissance permet de prédéfinir des zones plus favorables que la moyenne à la contamination. De plus, au vu de l'avancée rapide des travaux scientifiques à ce sujet, il est primordial de se tenir au courant des progrès de la recherche. Cette recherche bibliographique permet aussi au Syndicat d'avoir à disposition une compilation de sources et contacts fiables pour ces deux maladies.

La recherche bibliographique a aussi porté sur les méthodes de diagnostic de dépérissement ainsi que sur les rôles de la ripisylve, afin de connaître les enjeux de la lutte et de caractériser l'état sanitaire des arbres touchés.

Par la suite, une cartographie de la Choisille et des principales villes et communautés de communes a été réalisée. Les sources de données utilisées pour la réalisation de cette dernière sont :

- L'ortho photo de l'Indre et Loire à la résolution 50cm éditée par l'IGN (2014)
- La base de données vectorielles des masses d'eau de la métropole disponible sur le site du SANDRE (2013)
- La base de données vectorielles GEOFLA éditée par l'IGN (2016)
- Le scan express 250 édité par l'IGN (2017)

Une fois ce travail réalisé, une clé de détermination de la note de dépérissement a été établie pour les 2 essences concernées (**annexe 7**). Ces clés s'appuient sur les symptômes propres à chaque maladie et s'inspirent de la méthode de diagnostic de dépérissement ARCHI. Elles permettent donc à l'opérateur de définir la note de santé de l'arbre comprise entre 1 et 5.

Ensuite, une fiche de terrain a été élaborée. Son objectif est de récolter des données sur les tronçons étudiés afin de qualifier et de quantifier les maladies.

Les données collectées par cette fiche sont les suivantes :

L'essence (Ess) : définie par la première lettre du genre et la première lettre de l'espèce. Exemple : Chêne pédonculé, *Quercus robur* = Qr. Cette notation est réalisée avec le nom scientifique qui est universel plutôt qu'avec le nom vernaculaire qui varie selon les régions.

Le régime (Reg) : il définit si l'arbre est en taillis (T), en *futaie* (F) ou têtard (Te). La notation (Te) a été ajoutée car on en trouve régulièrement au bord de la Choisille. De

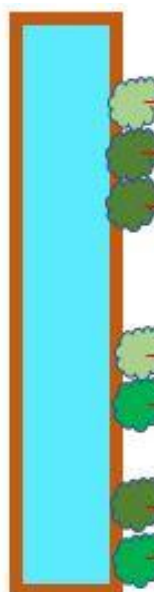
plus les capacités de résistance et de résilience des arbres *têtards* ne sont plus à prouver.

Le diamètre (Diam) : Le diamètre est pris à 1 mètre 30 du sol puis est rapporté à une classe de diamètre de 5 en 5 à partir de 20cm. Les arbres inférieurs à la classe 20 cm sont classés dans -20cm, les arbres de plus de 60cm sont classés dans +60cm. Ce critère nous permet d'avoir une idée de la résistance de l'arbre en fonction du diamètre.

Le dépérissement (DP) : Le dépérissement est indiqué de 1 à 5. La valeur 1 représentant un arbre sain, 2 un arbre infecté, 3 un arbre fortement infecté, 4 un arbre mourant et 5 un arbre mort. Il s'appuie sur les 2 clés de détermination (une par maladie) mentionnée précédemment (**Annexe 7**) qui définissent le taux d'infection en fonction des symptômes propres aux deux maladies.

La Strate (Stra) : *arborée* (AA) ou *arbustive* (A), elle nous permet de savoir si l'arbre se situe sous ou au-dessus de la barre des 7m de hauteur. Ce critère nous évite d'avoir à mesurer les hauteurs de chacun des arbres et permet d'apprécier la vigueur de la tige.

En plus de ces critères, le renseignement de la position de chaque arbre par rapport au linéaire prospecté a été ajouté (colonne M) afin de pouvoir représenter la position de chaque individu dans l'espace. Lors des futures campagnes de prospection, chaque individu pourra être retrouvé. Ainsi, sur la figure numéro 10 ci-dessous nous aurons sur le 1^{er} mètre du tronçon un Chêne pédonculé de futaie d'un diamètre inférieur à 20 cm, en bonne santé faisant partie de la strate arbustive. Les arbres autres que l'aulne et le frêne (donc non-concernés par les maladies étudiées) bénéficient eux aussi d'une note évaluée selon leurs signes de dépérissement. Cela permettra d'être exhaustif dans le relevé, ce travail pouvant être réutilisé plus tard à d'autres fins. La fiche de terrain n'explore pas les arbres situés à l'écart du cours d'eau car les boisements rivulaires de la Choisille sont souvent réduits à une simple rangée d'arbres. La prospection d'un tronçon se fait sur les deux rives. La mesure des linéaires est effectuée avec un mètre enrouleur de 50m.



M	Ess	Reg	Diam	DP	Stra
1	QR	F	-20	1	A
2	AG	T	-20	1	A
3	AG	F	30	3	AA
4					
5					
6	QR	F	+60	5	AA
7	FE	Te	50	1	AA
8					AA
9	AG	T	25	4	AA
10	FE	Te	50	1	AA

Figure 10 : Schéma du fonctionnement de la fiche de terrain.

Après la mise au point de la fiche de terrain, des sorties sur les différentes masses d'eau ont été effectuées afin de prospector les linéaires et présélectionner des zones d'installation de tronçons de contrôle. Ces derniers sont définis là où il y a présence de chalarose, de phytophthora ou des 2 à la fois.

La prospection préalable à l'étude a fait émerger 4 secteurs contaminés présentés dans la figure 11.

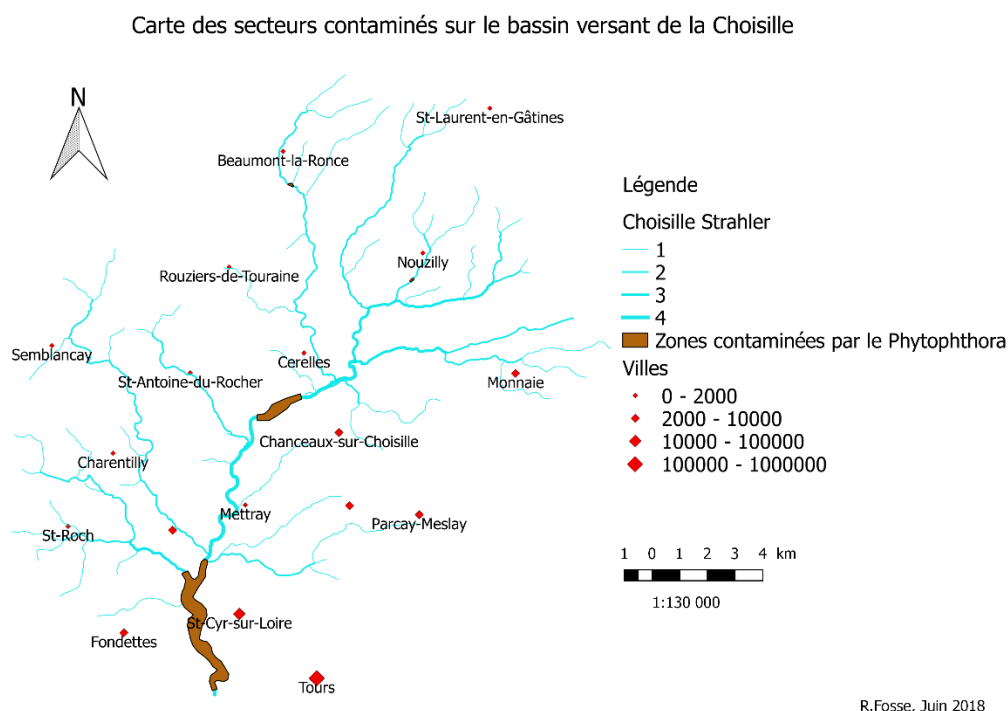


Figure 11 : Cartes des secteurs contaminés sur le bassin versant de la Choisille.

Le premier secteur était connu du Syndicat et se situe de l'aval de la Membrolle sur Choiseille jusqu'à la confluence avec la Loire. Les 3 autres secteurs n'avaient pas encore été repérés. Le premier se situe sur la partie médiane de la Choiseille de Beaumont, juste au sud de Beaumont-la-Ronce. Le second sur la Grande Choiseille à hauteur de Chanceaux sur Choiseille. Enfin le dernier secteur repéré est situé immédiatement à la sortie de Nouzilly. Tous les tronçons répertoriés sont contaminés par le phytophthora. Aucun foyer de chalarose n'a été répertorié sur le bassin versant lors de cette prospection. Cependant la maladie n'en est qu'à son début en Indre et Loire. Au vu de la surface couverte par la zone contaminée à l'aval de la Membrolle, il a été choisi de réaliser 3 tronçons de surveillance. Le premier sur la commune de la Membrolle au niveau de l'ancien terrain de camping. Et, les deux autres à St Cyr sur Loire dans l'Espace Naturel Sensible (ENS) du Val de Choiseille géré par le Conseil Départemental, au lieudit Charcenay. Sur ce site, un premier tronçon de contrôle a été effectué sur la Choiseille et un second dans le bief d'alimentation du moulin des Roches. Les tronçons de contrôle sur le site de l'ENS ont une longueur de 250 mètres chacun, le tronçon de contrôle du camping de la Membrolle est de 150m. Le linéaire contaminé est estimé à 6,4 km. Il y a donc un contrôle sur 10% de la zone infectée.

Le tronçon de Chanceaux sur Choisille a une longueur de 140m, le linéaire présentant des aulnes infectés est de 1.4 km. Le contrôle est de 10% du linéaire infecté. Le contrôle a été effectué dans la zone comportant le plus d'aulnes afin de pouvoir observer la virulence de la maladie, au lieudit Gué des Prés. Les différents tronçons de contrôle seront faciles à retrouver car ils ont été faits à partir de point fixes et pérennes tels que des ponts, des bornes cadastrales et des ouvrages hydrauliques.

Pour ce qui est des 2 derniers secteurs contaminés (Nouzilly et Beaumont), ils sont très localisés avec seulement quelques individus contaminés. Ces secteurs ne seront donc pas contrôlés mais feront l'objet d'une surveillance accrue car étant situés à l'amont ils pourraient permettre au *Phytophthora alni* de coloniser les rives à leur aval.

III. Résultats :

Les résultats communiqués dans cette partie sont tout d'abord présentés par tronçon de contrôle puis dans un second temps les différents tronçons seront mis en commun afin de dégager les tendances du Phytophthora.

a) Le tronçon du camping de la Membrolle sur Choisille :

Ce tronçon est celui où l'on retrouve les plus gros aulnes de l'étude avec un diamètre allant jusqu'à 55 cm (figure 12). Il mesure 150m, on retrouve 38 aulnes dont plus d'1/3 sont touchés par le phytophthora.

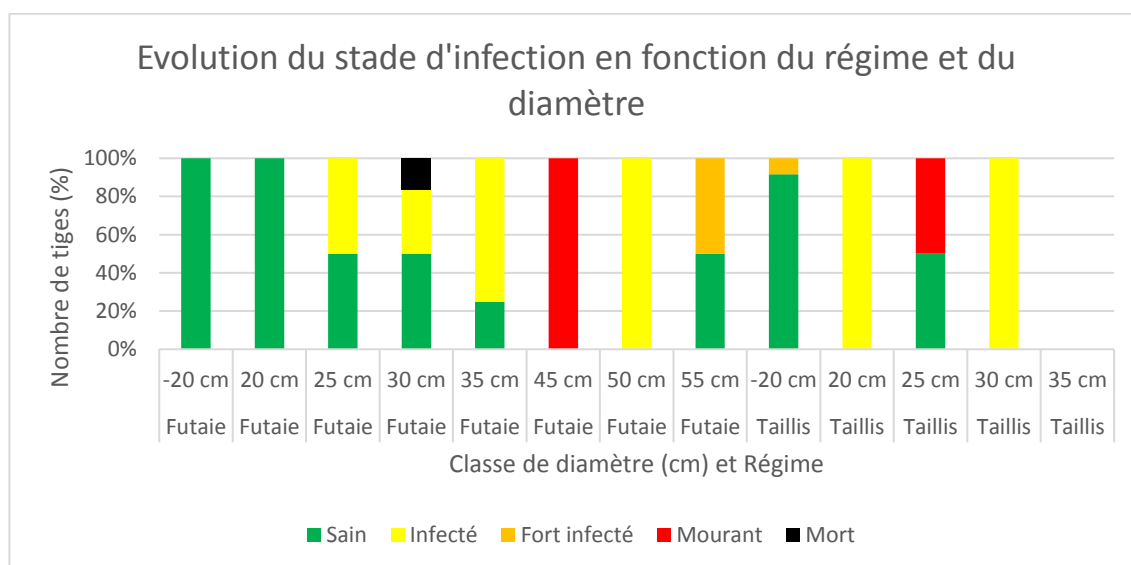


Figure 12 : Graphique représentant le stade d'infection en fonction du régime et du diamètre de sujet.

A l'observation de ce graphique, on constate que l'impact du phytophthora est plus fort sur les franc pied de fort diamètre. De plus, l'aulne de 55 cm noté sain est situé au pied d'une vanne où l'eau est systématiquement renouvelée, il a donc peu de chances d'être contaminé. On peut supposer une moindre résistance des cépées proportionnelle à leur diamètre. Ce secteur nous a appris que même les arbres de fort diamètre étaient touchés.

b) Le tronçon du bief du moulin des Roches :

Ce tronçon est caractérisé par des écoulements extrêmement lents, ce qui est favorable au phytophthora. Visuellement, ce tronçon semble le plus touché car il est composé exclusivement d'aulnes. Une coupe a été réalisée il y a environ 5 ans par le Conseil Départemental afin d'améliorer l'aspect paysager du site. Cette coupe a consisté à augmenter l'espacement des sujets de la ripisylve et à favoriser les arbres les plus vigoureux. Du fait de cette coupe, on retrouve beaucoup de cépées de moins de 20 cm de diamètre qui résistent bien à la maladie (figure 13). Ce tronçon supporte lui aussi environ 1/3 d'aulnes contaminés. C'est sur celui-ci que l'on retrouve le plus grand nombre de nécroses du tronc.

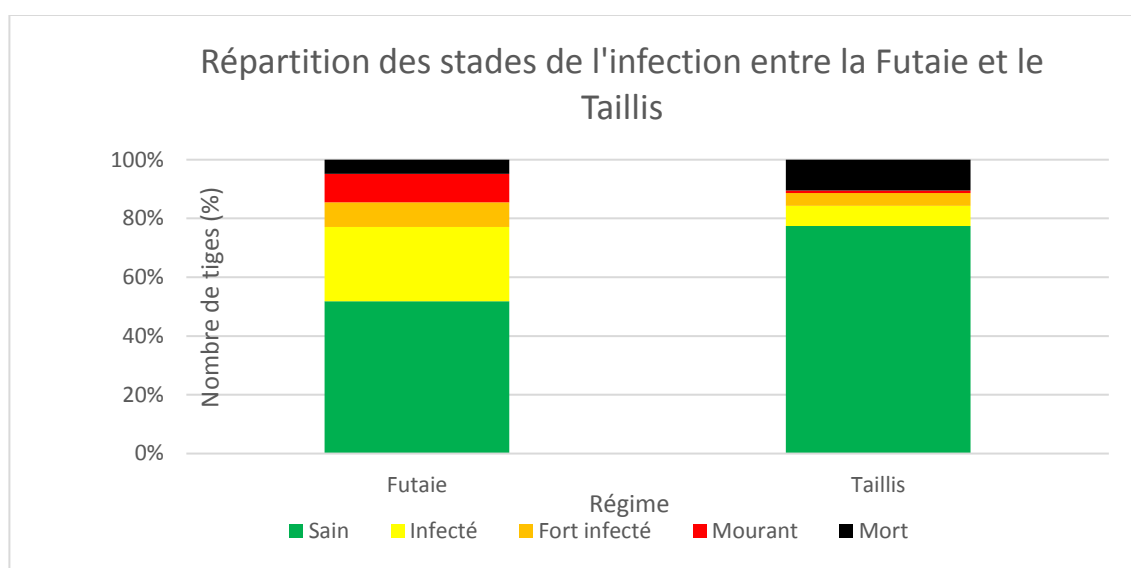


Figure 13 : Graphique représentant les stades d'infection rencontrés pour la futaie et le taillis.

Sur ce graphique, on constate nettement que le taillis supporte beaucoup mieux la forte pression d'inoculum régnant dans le bief. La dominance des cépées de la classe des moins de 20 cm de diamètre permet d'avoir de jeunes sujets aux systèmes racinaires développés dont la vigueur semble leur permettre de résister. La majorité des cépées touchées par le phytophthora sont des cépées de plus de 20 cm de diamètre. Seulement quelques jeunes cépées de moins de 20 cm sont touchées. De ce constat, on peut supposer que les systèmes racinaires des plus grosses cépées ne peuvent plus suffisamment alimenter leurs brins qui se concurrencent fortement entre eux. Face à cette faiblesse, le phytophthora reprend le dessus et coupe la circulation de sève. Pour ce qui est des jeunes sujets de taillis contaminés, on peut supposer qu'ils sont issus de *recépées* d'aulnes déjà trop atteints qui ont perdu la capacité à rejeter vigoureusement.

c) Le tronçon de la Choisille de Charcenay :

Ce tronçon possède une grande variété d'essences, ce qui diminue le nombre d'aulnes, seulement 14 sujets. Cependant, ce tronçon est infecté (figure 14) ce qui le rend intéressant pour cette étude. De plus, des frênes de diamètres supérieurs à 50 cm ont été recensés et sont présents sur toute la longueur de ce tronçon. En cas d'épidémie

de chalarose sur le Bassin Versant, il sera intéressant de disposer d'un état initial sur un secteur à fort enjeu comme l'est l'Espace Naturel Sensible du Val de Choisille.

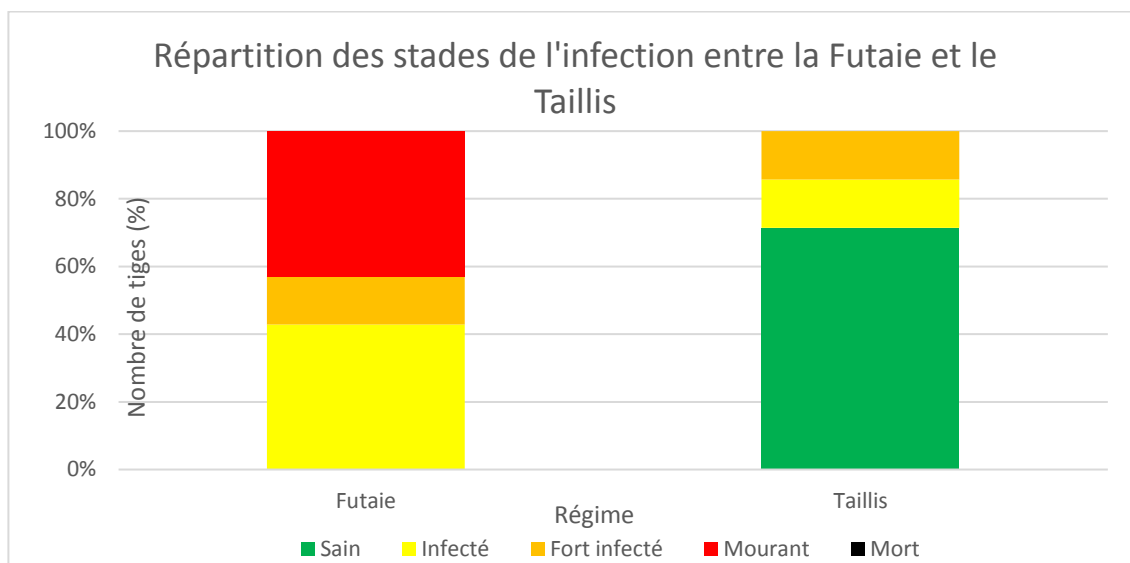


Figure 14 : Graphique représentant les stades d'infections rencontrés pour la futaie et le taillis.

Sur ce tronçon, les aulnes de futaie avaient un diamètre supérieur à 30 cm sauf pour 1 individu de 20 cm, les taillis rencontrés étaient majoritairement inférieurs à 20 cm de diamètre. Malgré le faible nombre d'aulnes rencontrés sur le tronçon, le constat est sans appel, tous les aulnes de futaie sont contaminés, seules les cépées de faible diamètre demeurent saines. Ce tronçon nous a montré que malgré un faible nombre d'aulnes sur les rives, la maladie garde toute sa virulence.

d) Le tronçon du Gué des Prés :

Ce tronçon comporte 45 aulnes (figure 15), le reste de la bande rivulaire est composé en majorité de frênes. De ce fait, il présente un intérêt dans l'étude des deux maladies traitées dans ce rapport à l'instar du tronçon de la Choisille de Charcenay. Ce foyer d'infection est récent car le secteur a été parcouru ces dernières années sans qu'aucun problème sanitaire n'ait été remarqué.

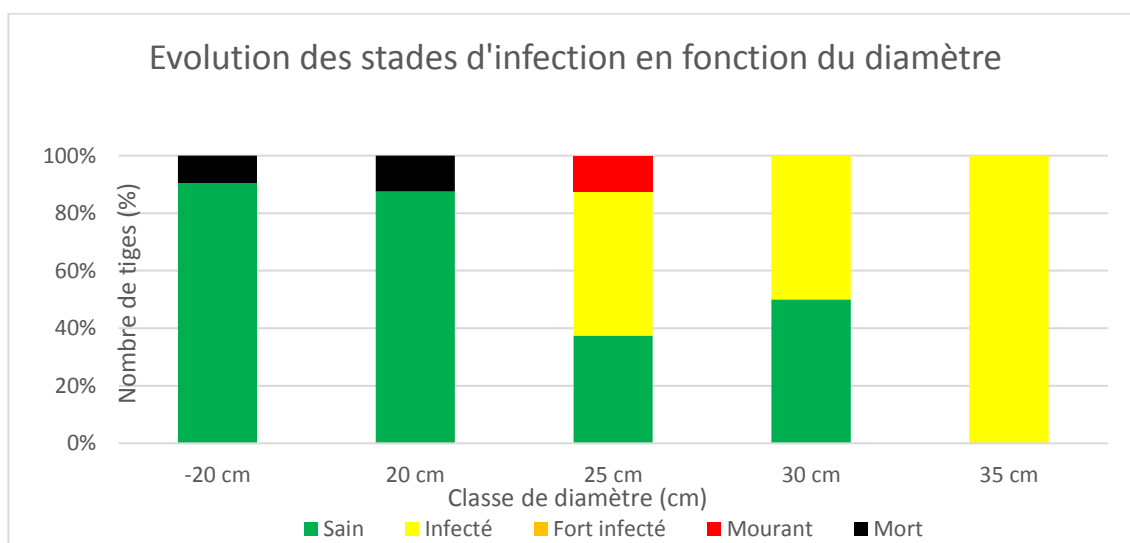


Figure 15 : Graphique représentant l'évolution des stades d'infection en fonction du diamètre.

Ce jeune foyer nous permet de constater que la contamination semble être fonction du diamètre. Cependant, sur les diamètres supérieurs à 20 cm, elle ne semble pas entraîner la mort du sujet dans les premières années. Face à ce phénomène, on peut supposer que les arbres de diamètre supérieur à 20-25cm disposent d'une résistance leur permettant de survivre plus longtemps. Cette capacité doit provenir des réserves accumulées par l'arbre durant sa vie. Ces réserves, les jeunes sujets en sont dépourvus, leur mort est donc plus rapide. Cependant, les jeunes sujets peuvent être plus vigoureux du fait de leur régime, comme mentionné précédemment les rejets de taillis disposent d'un système racinaire adulte malgré leur faible diamètre.

e) Résultats généraux :

Dans cette partie, les résultats obtenus lors de la prospection des différents tronçons ont été mis en commun dans le but d'observer des tendances générales.

1) La futaie :

Le figure 16 ci-dessous présente l'ensemble des relevés concernant les arbres de franc pied.

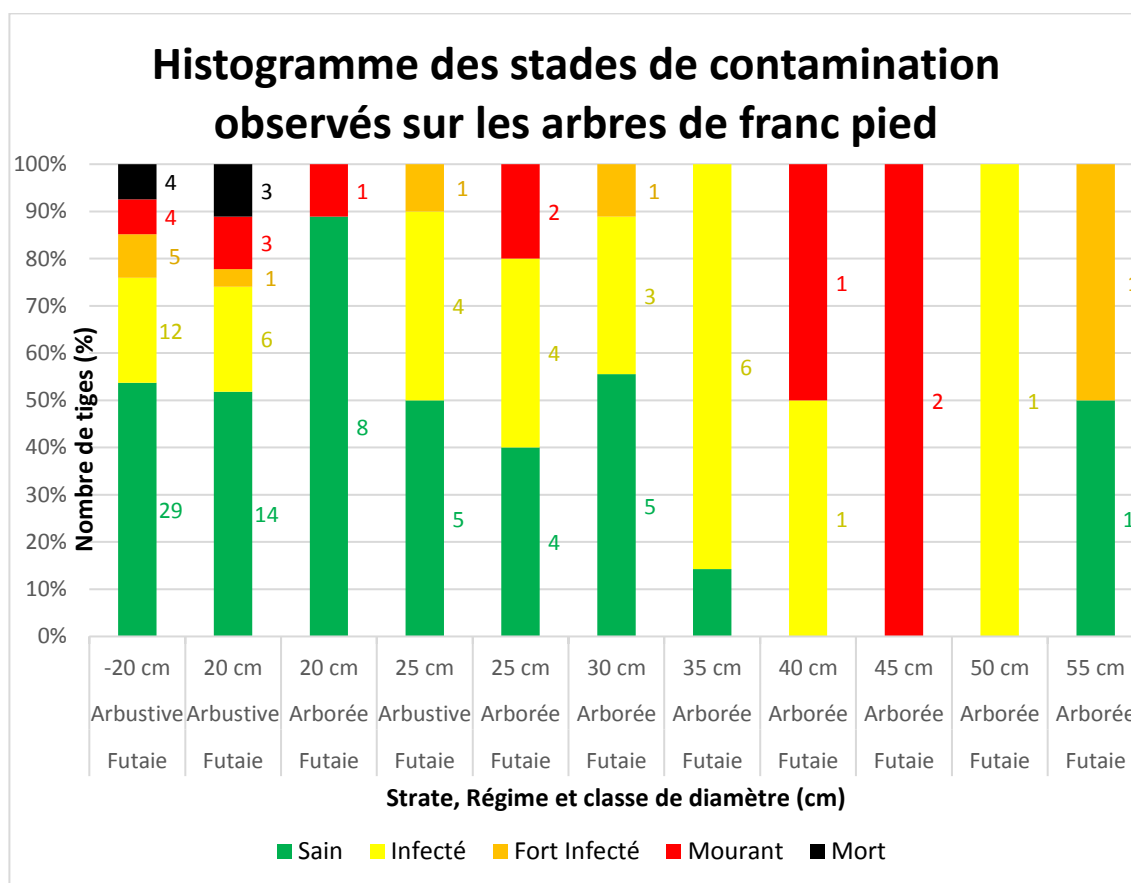


Figure 16 : Graphique représentant les stades de contamination rencontrés sur les arbres de franc pied.

Sur ce graphique, on constate que les arbres d'un diamètre supérieur à 30 cm sont fortement contaminés. Cependant, aucun de ces arbres n'est mort, ils semblent résister au phytophthora, leur état sanitaire se dégrade plus lentement que pour les arbres de faible diamètre. Les sujets d'un diamètre inférieur à 30 cm sont moins contaminés, on retrouve plus d'arbres sains qui ont réussi à éviter la contamination.

Pourtant, lorsqu'ils finissent par être infectés, leur état évolue rapidement et l'on constate des stades d'évolution de la maladie plus élevés allant jusqu'à la mort du sujet. Une classe de diamètre semble réagir plus positivement que les autres, la classe des 20 cm de la strate arborée. Ces arbres qui sont passés plus rapidement que les autres arbres de 20 cm de diamètre dans la strate arborée sont principalement issus de cépées ayant subi un balivage. Ces rejets profitant seuls de la puissance d'un système racinaire adulte ont poussé avec rapidité et vigueur dominant rapidement leurs voisins. On peut supposer que cette extrême vigueur leur permet pour le moment de résister à la pression d'inoculum. A l'inverse, les arbres de 20 cm moins vigoureux et plus contraints qui sont restés dans la strate arbustive ont opposé beaucoup moins de résistance au phytophthora, la moitié sont contaminés.

2) Le taillis :

La figure 17 ci-dessous, présente les observations faites sur les cépées d'aulnes recensées dans cette étude.

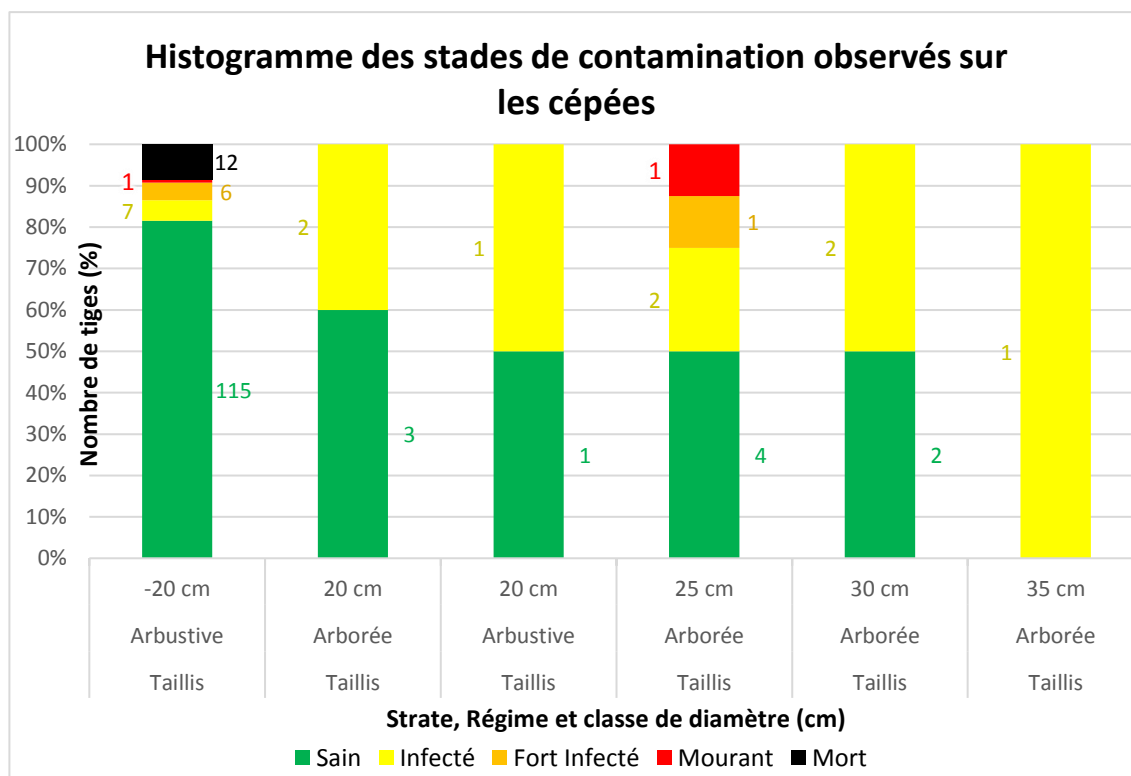


Figure 17 : Graphique représentant les stades de contamination observés sur les cépées.

Globalement, peu de cépées d'aulnes d'un diamètre supérieur à 20 cm ont pu être rencontrées lors des prospections. Cependant, face à l'augmentation de la virulence du phytophthora en fonction du diamètre des cépées, on peut supposer que ces cépées faiblissent car la souche peine à nourrir les rejets trop nombreux et trop gros qui la surplombent. Face à cette faiblesse, le phytophthora en profite pour s'installer. Par ailleurs, ce graphique nous montre que les cépées de faible diamètre jeunes et vigoureuses ont une résistance prononcée face à la contamination. La plupart de ces cépées de moins de 20 cm de diamètre proviennent du bief du moulin des Roches. Les coupes survenues sur les arbres sains et sur les arbres peu infectés ont donné de vigoureux rejets. Néanmoins, lorsque les tiges coupées étaient trop infectées, les rejets

obtenus se sont avérés faibles et dépérissants, on en retrouve la majeure partie au stade 5, la mort.

3) Comparaison entre le taillis et de la futaie :

Ci-dessous, la figure 18 présente les stades de dépérissement rencontrés d'une part sur la futaie et d'autre part sur le taillis.

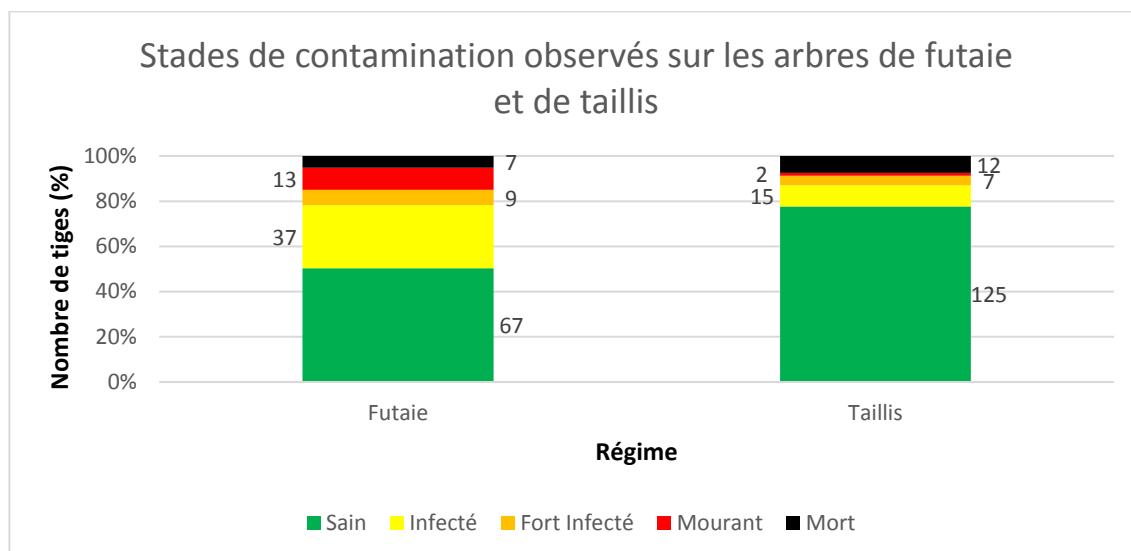


Figure 18 : Graphique des stades de contaminations observés sur les francs pieds et sur les cépées.

Ce graphique nous montre que la moitié des arbres de futaie sont atteints tandis que les cépées sont saines à presque 80%. Ces résultats s'expliquent par le jeune âge des cépées étudiées. Pourtant, à diamètre égal, les cépées témoignent d'une plus grande résistance au phytophthora. A l'observation de ce graphique, on constate aussi que la mortalité est plus faible chez les arbres de franc pied. Ces données laissent à penser que les cépées résistent mieux à la contamination que les francs pied mais que lorsqu'elles sont infectées, leur état évolue plus rapidement vers la mort.

f) Limites de la méthode et améliorations :

Au cours de la réalisation du protocole sur le terrain, des améliorations ont pu être suggérées. Les mesures de distances ont été réalisées avec un mètre enrouleur de 50m reporté tout les 50 m. Afin de gagner du temps sur les zones où la végétation le permet, l'utilisation d'un *topofil* serait plus judicieuse. Les classes de diamètre ont été estimées visuellement avec une vérification périodique par l'emploi d'une chevillière de cubage. Afin de rendre les mesures plus précises, l'emploi d'un compas forestier serait un plus. Au fur et à mesure de la prospection il s'est avéré que la fiche de terrain ne permettait pas de mentionner les raisons d'un dépérissement sur les essences non ciblées dans ce rapport. La création d'une colonne dédiée permettrait donc de recenser les dégâts de castor, pâturage d'ovins et les maladies comme la graphiose de l'Orme. Enfin, afin de faciliter la saisie par les opérateurs, une case grisée devra être ajoutée tous les 5 mètre sur la fiche de terrain.

g) Conclusion :

Cette étude a permis de constater l'influence du diamètre sur le taux de contamination, on observe nettement que passé les 30 cm de diamètre, les aulnes sont plus facilement contaminés. Il est à noter la résistance des sujets ayant été balivés. Les observations faites dans cette partie nous éclairent sur les atouts et les faiblesses des différents régimes pouvant être donnés aux aulnes. Le taillis se montre très résistant à l'incubation du phytophthora dans le jeune âge. Cependant, en vieillissant, il développe des faiblesses et peut dépérir rapidement. Il est à noter qu'aucun arbre têtard n'a été recensé sur les secteurs étudiés, il aurait été intéressant de voir les réactions de ces arbres particuliers face au phytophthora. Les résultats obtenus dans cette partie aiguillent le choix des préconisations de gestion présentées dans la partie suivante.

IV. Préconisations de gestion :

Les mesures présentées ci-après concernent l'ensemble des zones contaminées qui pourraient émerger sur le bassin versant. La priorité dans les interventions de lutte contre le phytophthora devra être donnée aux stations le plus à l'amont. Pour les interventions concernant la chalarose, il n'y a pas de priorité de ce type. Dans l'état actuel de la contamination, les deux secteurs les plus à l'amont devront être traités en priorité afin de gagner quelques années sur la propagation du Phytophthora. Les itinéraires de gestion présentés dans cette partie prennent en compte la note de dépérissement et l'essence ainsi que les risques de contagion spécifiques aux deux maladies. Les opérations de coupe ci-après doivent être réalisées durant la période de repos végétatif afin de ne pas fragiliser les souches et les arbres têtards. Par ailleurs, durant la période froide le phytophthora est moins actif, il y a donc moins de risques de propager la maladie. Les arbres morts doivent aussi être abattus en hiver afin de ne pas causer de dégâts aux autres arbres. L'entretien de la végétation rivulaire se faisant par tronçons il est donc globalement nécessaire de procéder à chaque type de coupe au même moment dans la période hivernale.

a) Itinéraires pour les aulnes :

Les aulnes sains notés 1 devront être préservés car au vu de la virulence et de la propagation du phytophthora, il est nécessaire de conserver des aulnes adultes. Ces aulnes pourront ainsi se reproduire et maintenir l'espèce sur le bassin versant.

Les aulnes infectés au niveau 2 seront traités en têtard et en *cépées* afin de les revitaliser et de leur redonner un "coup de fouet". En effet, après intervention, ces arbres auront beaucoup de racines pour peu de surfaces foliaires, leur alimentation sera donc excédentaire ce qui les rendra plus vigoureux. C'est ce phénomène qui fait que les feuilles de rejets de Châtaignier atteignent parfois plus de 25 cm alors que celles d'un arbre de franc pied dépassent rarement les 20 cm. Ces *cépées* pourront faire l'objet par la suite d'un balivage afin de sélectionner les rejets amenés à devenir les futurs grands arbres de la ripisylve. L'étude présentée dans ce rapport a montré la résistance accrue des sujets obtenus lors du balivage de taillis.

Les aulnes de niveau 3 seront prioritairement abattus car leur capacité à rejeter est amoindrie et leur contamination forte. Cependant s'il est nécessaire de les conserver

en vie pour diverses raisons (fixation berge, désir du propriétaire) ils seront *recépés*. Cette décision ne peut se prendre que si la présence de l'arbre répond à un enjeu suffisamment important car, elle ne fera que repousser l'échéance.

Les aulnes ayant atteint le stade 4 devront être coupés de manière définitive. En effet leurs capacités à rejeter sont amoindries et leurs réserves en énergie épuisées. Ces aulnes ne se revigoreront pas.

Les aulnes morts du stade 5 seront coupés afin de mettre en sécurité les bords de cours d'eau. Une entaille dans la souche pourra être pratiquée afin d'accélérer la décomposition du bois. La place sera alors libérée plus rapidement pour d'autres individus. La coupe des arbres morts doit être opérée rapidement afin d'éviter les risques d'*embâcles*, d'arrachement de berges et de dégâts sur les autres tiges de la ripisylve.

b) Itinéraires pour les frênes :

Pour ce qui est des frênes, il sera primordial de sauvegarder les individus qui ne présenteront pas ou peu de symptômes dans les années à venir. En effet, il a été démontré que certains frênes présentent une résistance génétique à la chalarose. Il serait donc contreproductif et dommageable de couper systématiquement les arbres atteints. Il en va de la survie de cette espèce.

Les frênes notés 1 et 2 devront être impérativement conservés afin de réaliser une sélection génétique partielle des individus résistants à la chalarose et de ne pas dénuder les rives des cours d'eau.

Les frênes de niveau 3 pourront être récoltés ou transformés en têtard si l'individu a encore un rôle à jouer dans la ripisylve. Il est aussi possible de recéper les individus mais pour garantir la durabilité et la pérennité des fonctions de l'arbre, il demeure plus judicieux de recourir au traitement en têtard.

Les frênes de niveau 4 et 5 seront coupés afin de limiter la propagation de la maladie, le bois peut être réutilisé sur place car il n'est pas source de contagion.

La possibilité de transformer les individus en arbre têtard est une solution intéressante car les différents pathogènes présents vont diminuer fortement la proportion de gros bois vivants et de gros bois morts. Ainsi les arbres têtards contribueront à maintenir des gros bois vivants qui accueillent un grand nombre d'espèces. De plus, le traitement en têtard permet d'allonger considérablement l'espérance de vie d'un arbre. Sa résistance et sa résilience s'en trouvent augmentées. Enfin, le recours aux arbres têtard choque beaucoup moins le public qu'une coupe à blanc. Déjà en des temps qui nous paraissent aujourd'hui lointains, les éminents Messieurs Lorentz et Parade avaient su remarquer les nombreux atouts des arbres têtards. C'est dans leur ouvrage qui instaura les bases de la gestion forestière en France, le Cours Élémentaire de Culture des Bois (1837) qu'ils écrivirent : « *Les arbres d'émondes et les têtards sont d'un immense intérêt partout où le bois a de la valeur. Leur plantation n'enlève rien à la culture des terres ; on en garnit les places improductives, les endroits marécageux, les lisières des prairies et d'autres lieux dont la charrue ne peut approcher ; toutes les eaux devraient en être bordées. Il est à regretter que des plantations aussi utiles qui s'opèrent avec tant de facilité et qui, sans présenter aucun obstacle à l'agriculture,*

peuvent offrir les plus grands avantages aux propriétaires, soient encore négligées dans un grand nombre de nos départements. ».

Par ailleurs, le bois prélevé lors des coupes peut être utilisé lors des aménagements (piquets, fascines). La réutilisation des bois permet de maintenir du bois mort sur place, cette réutilisation peut prendre la forme de bancs en bois réalisés à partir des troncs. Cependant, la réutilisation des bois est à proscrire pour l'aulne car même coupé, le bois est encore contagieux. Ce genre de mesure évitera un appauvrissement de la richesse spécifique au bord des cours d'eau.

c) Préconisations générales :

1) Chalarose :

Afin de limiter la propagation de la chalarose, quelques initiatives peuvent être prises. Les organes sexuels d'*Hymenoscyphus fraxineus* se développant sur le rachis des feuilles mortes durant l'été. Le ramassage des fanes et leur évacuation pourra être une solution afin de limiter la dissémination. Il est surtout impératif d'éviter les tas de feuilles qui seraient alors de véritables pépinières pour les ascospores d'*Hymenoscyphus fraxineus*. Cette préconisation peut être mise en place tant par les collectivités que par les particuliers. La plantation de frêne est aussi fortement déconseillée car le reboisement a été un des principaux vecteurs de contamination par la chalarose.

2) Phytophthora :

Pour le phytophthora, la vitesse d'écoulement étant l'un des facteurs contribuant le plus à sa propagation, il est nécessaire de libérer la rivière des entraves à son écoulement. La suppression des seuils est une des opérations les plus logiques dans cette dynamique. De plus cette préconisation va dans le sens de la continuité écologique. Le réchauffement de l'eau est aussi un des facteurs aggravant le risque de phytophthora. Ainsi, les plans d'eau sur cours devront être aménagés afin de diminuer leur impact sur la thermie du cours d'eau. L'installation de moines à la place des trop pleins permettra de limiter l'impact. La réalisation de contournements, d'effacements sont aussi des initiatives pouvant limiter la propagation du phytophthora. De même que pour le frêne, les plantations d'aulnes sont à réaliser avec beaucoup de prudence car un grand nombre de plants peuvent être contaminés. De plus les remblais devront être contrôlés afin de ne pas amener de fragments racinaires ou toute autre partie d'aulnes contaminés. Enfin, le bois étant contagieux, il faut l'exporter ou le brûler.

3) Mesures compensatoires :

Afin de combler les vides laissés par les coupes, il pourra être nécessaire de recourir à des plantations car, dans les secteurs fortement contaminés la recolonisation naturelle par l'aulne ou le frêne est vouée à l'échec. Les plantations seront envisagées sur les linéaires les plus atteints, dans les zones les plus fréquentées, on pourra procéder à un dessouchage (*dent Becker* ou rogneuse de souche). Ces plantations seront composées d'essences tolérantes vis à vis de l'hydromorphie à plus de 40 cm de profondeur. Le schéma de plantation pourra être variable selon les rôles attendus. Les rôles pourront être : paysagers, mise en défens, abri au cours d'eau, création d'habitats racinaires, filtration des micropolluants, frein à l'écoulement, gestion des crues... Les essences

tolérantes pouvant être choisies afin de revégétaliser les bords de rivière sont répertoriées dans le tableau 2. Cependant toutes les essences dont l'autécologie correspond aux conditions de bord de rivière ne peuvent être installée sur le bassin versant de la Choisille.

Tableau 2: Essences tolérantes à l'hydromorphie

Essence	Hydro	Strate	Haie	Essence	Hydro	Strate	Haie
Erable champêtre	h	A	Oui	Chêne des marais	H-	A	Non
Erable negundo	h	A	Non	Cassis	H	a	Oui
Erable sycomore	h	A	Oui	Robinier	h	A	Oui
Aulne glutineux	H	A	Non	Saule blanc	H-	A	Non
Bouleau verruqueux	H	A	Non	Saule roux	H	A	Non
Cornouiller sanguin	h	a	Oui	Saule à oreillettes	H	A	Non
Fusain d'Europe	h	a	Oui	Saule marsault	H-	A	Non
Bourdaie	H	a	Oui	Saule cendré	H	A	Non
Frênes	H	A	Non	Saule des vanniers	H-	A	Oui
Argousier	H	a	Non	Sureau noir	h	a	Oui
Platane	H-	A	Non	Orme de montagne	h	A	Non
Cerisier à grappes	H-	A	Non	Orme lisse	H-	A	Non
Prunellier	H	a	Oui	Orme champêtre	H-	a	Oui

Dans ce tableau la tolérance des essences à l'hydromorphie est représentée dans la colonne hydro. Les essences ayant la meilleure tolérance à l'hydromorphie sont notées H puis H- et enfin h pour les essences qui tolèrent un *engorgement* à plus de 40 cm. La notation strate permet de différencier les arbres (A) des arbustes (a). Enfin, la colonne haie définit si le traitement sous forme de haie convient bien à l'espèce car certains propriétaires souhaitent se séparer du cours d'eau par une haie. Les essences potentiellement envahissantes sont surlignées en rouge. Les essences en danger à cause de problèmes sanitaires sont surlignées en violet. Les essences en orange ne sont pas adaptées au climat et à l'altitude du bassin versant de la Choisille. En jaune on retrouve le Bouleau qui est peu adapté aux rôles de la ripisylve, son enracinement est inefficace au maintien de berge et son espérance de vie est réduite ce qui oblige à un entretien trop régulier de la ripisylve. Cela laisse une faible diversité spécifique disponible pour les replantations. Cependant, si la provenance des aulnes et des frênes est contrôlée, il est possible de continuer d'en planter tant que la contamination sur le bassin versant n'est pas trop sévère. Bien entendu, afin d'augmenter la résistance et la résilience des boisements rivulaires, il est nécessaire de mélanger les essences.

Afin de rendre les plantations intéressantes au vu des rôles de la ripisylve et de l'espace disponible, celles-ci devront être effectuée sur 2 lignes minimum. Cela permettra d'augmenter la filtration des polluants, l'ombrage au cours d'eau et la capacité à jouer le rôle de *corridor écologique*. Ci-dessous, un exemple de plantation sur 2 lignes en quinconce qui peut être utilisé pour restaurer la végétation rivulaire. Les arbres choisis sont l'aulne, le frêne, le chêne des marais, l'érable sycomore et le cerisier à grappes. Les arbustes entrant dans la composition de la plantation sont le cornouiller sanguin, la bourdaie, le fusain d'Europe et l'érable champêtre qui sera ici réduit au rang d'arbuste. Le schéma de plantation présenté en **annexe 8** est un exemple et pourra

être modifié selon les rôles attendus du boisement. Pour ce qui est des coûts, ceux-ci ont été évalués pour 100m de plantation riveraine. Afin de réaliser 100m de ce type de plantation, il faut 38 arbres et 164 arbustes. Afin de calculer le coût de la plantation, les prix ont été tirés du catalogue des pépinières Bauchery, étant dégressifs en fonction du nombre, le prix des plants a été pris dans l'intervalle 50 à 249 plants. Tous les plants présentés sont des plants racines nues. Les coûts des plants des différentes essences ont été répertoriés dans le tableau 3.

Tableau 3: Coûts et types des différents plants

Essences	Taille/Type	Quantité (u)	Prix (€)	Total (€)
Aulne glutineux	50/80 RN	7	0,63 €	4,41 €
Frêne commun	60/80 RN	7	0,81 €	5,67 €
Erable sycomore	60/80 RN	8	0,78 €	6,24 €
Chêne des marais	40/60 RN	8	0,95 €	7,60 €
Cerisier à grappes	60/90 RN	8	0,71 €	5,68 €
Bourdaine	40/60 RN	41	0,59 €	24,19 €
Fusain d'Europe	40/60 RN	41	0,64 €	26,24 €
Cornouiller sanguin	40/60 RN	41	0,55 €	22,55 €
Erable champêtre	40/60 RN	41	0,49 €	20,09 €

Le coût total des plants pour 100 mètres linéaires est de 122,67€. Afin de préserver les plants de la dent du gibier, il peut être nécessaire de recourir à des protections. Au vu de la taille des plants, les manchons climatic simple de 60cm de hauteur sont les plus adaptés, il en faudrait donc 202 pour 100m soit $202 \times 0,55 = 111,10\text{€}$. Les tuteurs pour tenir les manchons de protection devront être au moins 3 par manchon donc 404 tuteurs. Etant donné que ceux-ci sont vendus en bottes de 1000 le coût sera de 48,50€. Pour ce qui est de l'installation des plants et de leurs protection le prix est de 0,75€ l'unité soit $202 \times 0,75 = 151,50\text{€}$. Au total le coût de la plantation pour 100m linéaires est de 433,77€. Le coût au mètre linéaire d'une telle plantation est d'environ 4,34€. Cependant, il faut prendre en compte le fait que plus la commande de fournitures auprès de la pépinière est importante moins le prix unitaire des fournitures sera élevé. Bien évidemment les essences présentées dans cet exemple peuvent être complétées ou modifiées avec celles du tableau 2.

Sur de courtes trouées, le plessage de sujets existants pourra être un moyen de revégétaliser rapidement les espaces vides. Le plessage consiste à pratiquer une entaille au pied d'un arbre puis de le faire passer horizontalement entre plusieurs piquets. Les bourgeons dormants se réveillent et créent des tiges verticales le long du tronc de l'arbre plessé. Cette solution à moindre coût est intéressante pour les propriétaires riverains qui ne souhaitent pas investir fortement dans l'entretien de leurs rives. De plus la restauration de la fonction brise vue est rapide.

La plantation de *boutures* de saules est aussi une solution économique pour les particuliers. La reprise du saule est rapide et dans un contexte de restauration de berge, cette méthode a déjà fait ses preuves.

4) Mesures d'anticipation :

Dans le but de préparer au mieux le Syndicat, les élus et les riverains, il serait pertinent de réaliser une plaquette d'information. Cette plaquette permettrait tout d'abord d'informer les usagers de la Choisille des problèmes actuels. Dans un second temps, ce document rendrait le SMCA plus réactif face aux nouveaux foyers de contamination. Car pour repérer les dépérissements le long des cours d'eau, les propriétaires restent les mieux placés. Les responsables des services techniques des communes seront aussi mis dans la boucle afin de repérer les dépérissements sur les territoires communaux.

Par ailleurs, la création d'un ou plusieurs stands enrouleurs afin de sensibiliser le public sur la ripisylve et les pathogènes qui menacent son équilibre pourrait être envisagée. Ce genre de stand pourra être mis en place lors des salons sur l'environnement de la région.

Enfin, ce rapport et plus particulièrement sa partie préconisations constitue déjà un travail d'anticipation. En effet, la chalarose n'ayant pas encore été détectée sur le bassin versant, toute la partie de ce rapport concernant cette maladie permettra de réagir rapidement lors de son arrivée. La bibliographie permettra aussi d'étayer l'argumentaire du Syndicat face aux élus et aux riverains.

V. Conclusion générale :

Tout au long de cette étude, l'objectif a été de révéler les foyers de contamination de la chalarose et du phytophthora et d'y installer des tronçons de contrôle permettant d'observer l'évolution de la maladie. La méthodologie mise en place a permis de révéler les foyers de contamination du phytophthora et de confirmer l'actuelle absence de la chalarose du bassin versant de la Choisille. L'étude menée sur les secteurs contaminés a révélé le lien étroit entre le diamètre de l'arbre et sa contamination. Les avantages et inconvénients des 2 régimes, futaie, taillis ont pu être mis en lumière. La virulence de la maladie même lorsqu'il existe une faible population d'aulnes a aussi pu être confirmée lors de cette étude. Il est à regretter qu'aucun arbre têtard n'ai pu être rencontré. Toutes les données recueillies ont permis de faire émerger des propositions de gestion en fonction du stade de la maladie et du contexte du sujet infecté. Ces préconisations seront un outil de gestion et de décision face à l'évolution du phytophthora durant les prochaines années. Par ailleurs, le front de la chalarose approchant à "grands pas" du bassin versant, les préconisations de gestion du frêne établies grâce à la recherche bibliographique permettront une réaction rapide du syndicat de rivière. A l'avenir, le suivi des différents tronçons de contrôle devra être maintenu afin de voir l'évolution des pathogènes. Par ailleurs, de nouveaux tronçons pourront être ajoutés au dispositif tant pour le phytophthora que pour la chalarose. Enfin, la qualité de la gestion de ces maladies cryptogamiques dépendra de la rapidité de réaction des différents acteurs du territoire qu'ils soient riverains ou élus du bassin versant de la Choisille.

Bibliographie :

Ouvrages :

Lorentz, B., Parade, A., Cours élémentaire de culture des bois. Paris Huzard, Nancy Grimblot, 1837, 557p.

Rameau, J. C., Mansion, D., & Dumé, G., Flore forestière française, Plaines et collines, Institut pour le développement forestier, Nancy, 1989, 1785p.

SEVRIN E., Valorisation des stations et des habitats forestiers, Guide de reconnaissance et de gestion pour la région Centre, CRPF, 2011, 165 p.

Articles :

Bakys, R., Vasiliauskas, A., Ihrmark, K., Stenlid, J., Menkis, A., & Vasaitis, R., « Root rot, associated fungi and their impact on health condition of declining *Fraxinus excelsior* stands in Lithuania », Scandinavian Journal of Forest Research, 26(2), 2011, p128-135.

Baral, H. O., Queloz, V., & Hosoya, T., « *Hymenoscyphus fraxineus*, the correct scientific name for the fungus causing ash dieback in Europe », IMA fungus, 5(1), 2014, p79-80.

Brasier, C. M., Cooke, D. E. L., & Duncan, J. M., « Origin of a new *Phytophthora* pathogen through interspecific hybridization », Proceedings of the National Academy of Sciences, 96(10), 1999, p5878-5883.

Brasier, C. M., & Kirk, S. A., « Comparative aggressiveness of standard and variant hybrid alder phytophthoras, *Phytophthora cambivora* and other *Phytophthora* species on bark of *Alnus*, *Quercus* and other woody hosts », Plant Pathology, 50(2), 2001, p218-229.

Brasier, C. M., Delcan, J., Cooke, D. E., Thomas, J. U. N. G., & IN'T VELD, W. A. M., « *Phytophthora alni* sp. nov. and its variants : designation of emerging heteroploid hybrid pathogens spreading on *Alnus* trees », Mycological Research, 108(10), 2004, p1172-1184.

DEBIAIS, N., « L'influence des formations végétales dans la stabilité mécanique des rives », Forêt méditerranéenne n°3 sept 2003, p297-304.

Delcan, J., & Brasier, C. M., « Oospore viability and variation in zoospore and hyphal tip derivatives of the hybrid alder *Phytophthoras* », Forest Pathology (Germany) ,2001.

Di Prinzio, J., Chandelier, A., Henrotay, F., & Claessens, H., « La maladie de l'aulne en Wallonie : évolution depuis son émergence », Forêt Wallonne, (124), 2013, p3-19.

Dufour, P., & Maurer, D., « Pollution organique et eutrophisation eu milieu tropical saumâtre », Biologie-Ecologie Méditerranéenne 6 (3-4), 1979, 2S2.

Husson, C., 2012, « Les conditions stationnelles ont-elles un impact sur la prévalence de la chalarose du frêne ? », Réunion du Groupe Francophone de Pathologie Forestière, Crots, FRA, 2012-10-23-2012-10-25.

Husson, C., Dowkiw, A., Saintonge, F. X., & Marçais, B., « La chalarose du frêne en France », Forêt Entreprise, (228), 2016, p10-13.

Kirisits, T., Matlakova, M., Mottinger-Kroupa, S., Cech, T. L., & Halmschlager, E., May, « The current situation of ash dieback caused by *Chalara fraxinea* in Austria ». In Proceedings of the conference of IUFRO working party, Vol. 7, No. 02, 2009, p. 97-119.

Lecomte.B, « La Chalarose s'approche », Feuilles forestières, n°128, 2016, p3-4.

Muñoz, F., Marçais, B., Dufour, J., & Dowkiw, A., « Rising out of the ashes : additive genetic variation for crown and collar resistance to *Hymenoscyphus fraxineus* in *Fraxinus excelsior* ». *Phytopathology*, 106(12), 2016, p1535-1543.

Poirier, N., Morin, E., Joly, C., Leturcq, S., & Visset, L., « Occupation du sol et impact érosif dans la vallée de la Choisille (France, Indre-et-Loire) : approches croisées pour la restitution des paysages anciens », *ArcheoSciences, Revue d'archéométrie*, (37), 2013, p67-88.

Schneider, J. B., « Plaidoyer pour une restauration des cordons rivulaires naturels des ruisseaux et ruisselets forestiers », *Forêt Wallonne*, 2007, p86, p43-57.

Strahler, A. N., « Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography », *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1952, p1117-1142.

Streito, J. C., Legrand, P. H., Tabary, F., & de Villartay, G. J., « Phytophthora disease of alder (*Alnus glutinosa*) in France : Investigations between 1995 and 1999 », *Forest Pathology*, 32(3), 2002, p179-191.

Thèses et Rapports :

Aguayo Silva, J. C., Étude des conditions de l'émergence du phytophthora alni sur l'aulne glutineux, Doctoral dissertation, Université de Lorraine, 2012, 187p.

Jobert, S., Etude du dépérissement de l'aulne glutineux des ripisylves du bassin versant de la Cèze dû au *Phytophthora alni*, rapport d'IUT de St Etienne, 2009, 52p.

Grosdidier, M., Épidémiologie de la chalarose du frêne, une maladie causée par l'agent pathogène *Hymenoscyphus fraxineus*, Doctoral dissertation, Université de Lorraine, 2017, 174p.

Morin, E., Evolution morpho-sédimentaire de la vallée de la Choisille (Sud-Ouest du Bassin Parisien, France) depuis le Weichsélien : spécificité de l'impact climatique et anthropique en Europe du Nord-Ouest, Doctoral dissertation, Tours, 2011, 490p.

Simon, H., Analyse de la vulnérabilité des masses d'eau du bassin versant de la Choisille (37) vis-à-vis de l'utilisation des produits phytosanitaires, rapport de master 2 université Paris-Saclay, 2016, 60p.

Cartographie :

BRGM, Notice explicative, Carte géologique de la France 1/50000, feuille Tours, Bureau de Recherche Géologiques et Minières, Orléans, 1997, 17p.

BRGM, Notice explicative, Carte géologique de la France 1/50000, feuille Château Renault, Bureau de Recherche Géologiques et Minières, Orléans, 1997, 30p.

BRGM, Notice explicative, Carte géologique de la France 1/50000, feuille Amboise, Bureau de Recherche Géologiques et Minières, Orléans, 1997, 12p.

IGN, Ortho-photo 50 cm, IGN, 2016, Institut National de l'Information Géographique et Forestière.

Sites :

CATER, Cater de Normandie, (En ligne), Disponible sur : « <http://www.cater-normandie.fr/dossiers-thematiques/phytophthora-de-l-aulne.html> » (Consulté le 18/04/18).

Cellule d'animation du Sage Clain, Sage Clain (En ligne), Disponible sur « <http://www.sageclain.fr/761-dce-sdage-et-sage.htm> » (Consulté le 11/06/2018).

Climate-Data, Climate-Data (En ligne), Disponible sur : « <https://fr.climate-data.org/location/65712/> » (Consulté le 08/05/18).

CNPF, Chalfrax (En ligne), Disponible sur : « <https://chalfrax.cnpf.fr/> » (Consulté le 18/04/18).

Forest Phytophthoras of the World, Forest Phytophthora (En ligne), Disponible sur « <http://forestphytophthoras.org/> » (Consulté le 18/04/18).

InfoClimat, Infoclimat (En ligne), Disponible sur « <https://www.infoclimat.fr/observations-meteo/temps-reel/tours-parcay-meslay/07240.html> » (Consulté le 07/05/18).

INRA, Ephytia.Inra (En ligne), Disponible sur : « <http://ephytia.inra.fr/fr/C/20407/Forets-Chalarose-du-frene> » (Consulté le 18/04/18).

INRA, Fraxinus (En ligne), Disponible sur : « <http://www.fraxinus.fr/la-chalarose.html#chronique-d-une-invasion> » (Consulté le 18/04/18).

Ministère de l'agriculture, Alim'agri (En ligne), Disponible sur : « <http://agriculture.gouv.fr/avancee-de-la-chalarose-sur-le-territoire> » (Consulté le 18/04/18).

ONEMA, Carhyce eau France (En ligne), Disponible sur « <https://carhyce.eaufrance.fr> » (Consulté le 01/06/18).

Placé.D., Forêt virtuelle (En ligne), Disponible sur « <http://foretvirtuelle.com> » (Consulté le 02/05/18).

Syndicat de Bassin du Vicoin, Portail Bassins Versants (En ligne), Disponible sur « <http://www.vicoin.portail-bassins-versants.fr/-La-maladie-de-l-aulne-.html> » (Consulté le 18/04/18).

Syndicat du Bassin Versant de la Reyssouze, Syndicat-Reyssouze (En ligne), Disponible sur : « <http://syndicat-reyssouze.fr/definition-et-roles-de-la-ripisylve/> » (Consulté le 30/04/18).

Liste des figures :

Figure 1 : Carte de localisation du bassin versant de la Choisille -----	4
Figure 2: Diagramme ombrothermique de Tours, station de Parçay Meslay (source www.climate-data.org) -----	5
Figure 3: Carte géologique du bassin versant de la Choisille-----	6
Figure 4: Carte des masses d'eau du bassin versant de la Choisille -----	8
Figure 5 : Photographie du mauvais ancrage racinaire d'un peuplier chez un riverain de la Choisille (G. Moirin).-----	10
Figure 6 : Carte de la propagation de la chalarose de 2008 à 2017 (source DSF)-----	11
Figure 7 : Photographies des différents symptômes de la chalarose. A gauche, le flétrissement des feuilles. Au milieu, la nécrose sur rameau. A droite, la nécrose au collet (INRA, A.Dowkiw). -----	13
Figure 8 : Photographies des symptômes du <i>Phytophthora alni</i> . A gauche, une nécrose du tronc prise sur la Choisille. A droite, un aulne sain au feuillage normal (droite) et un aulne aux petites feuilles jaunâtres atteint du <i>phytophthora</i> (<i>Ephytia</i>). -----	14
Figure 9 : Carte représentant les secteurs infectés par la chalarose par rapport au bassin versant de la Choisille ainsi que les rayons de contamination à 10 et 25 kilomètres.-----	15
Figure 10 : Schéma du fonctionnement de la fiche de terrain.-----	17
Figure 11 : Cartes des secteurs contaminés sur le bassin versant de la Choisille. -----	18
Figure 12 : Graphique représentant le stade d'infection en fonction du régime et du diamètre de sujet. -----	19
Figure 13 : Graphique représentant les stades d'infection rencontrés pour la futaie et le taillis. -----	20
Figure 14 : Graphique représentant les stades d'infections rencontrés pour la futaie et le taillis.-----	21
Figure 15 : Graphique représentant l'évolution des stades d'infection en fonction du diamètre. -----	21
Figure 16 : Graphique représentant les stades de contamination rencontrés sur les arbres de franc pied.-----	22
Figure 17 : Graphique représentant les stades de contamination observés sur les cépées. -----	23
Figure 18 : Graphique des stades de contaminations observés sur les francs pieds et sur les cépées.-----	24

Liste des tableaux :

Tableau 1: Les différentes étapes du dépérissement. -----	14
Tableau 2: Essences tolérantes à l'hydromorphie -----	28
Tableau 3: Coûts et types des différents plants -----	29

Annexe 1 : Glossaire des Sigles et Abréviations :

NGF : Nivellement Général de la France

SICA : Syndicat Intercommunal de la Choisille et de ses Affluents

SMCA : Syndicat Mixte de la Choisille et de ses Affluents

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

EPCI : Etablissement Public de Coopération Intercommunale (ex : Communauté de communes)

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

CEMAGREF : Centre d'Etude du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et Forêts

IRSTEA : Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

GEMAPI : Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations

DSF : Département de Santé des Forêts

CHALFRAX : Groupe de recherche sur la chalarose du Frêne

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

IGN : Institut National de l'Information Géographique et Forestière

SANDRE : Service d'Administration National des Données et Référentiels sur l'Eau

ARCHI : Méthode d'analyse Architecturale des arbres

Annexe 2 : Glossaire des termes techniques :

Affluent : cours d'eau qui se jette dans une autre masse d'eau plus grande que lui-même.

Armillaire : Champignon capable d'entraîner une pourriture racinaire chez les ligneux.

Ascospore : cellule reproductrice où se forment les spores.

Balivage : Recrutement d'un seul rejet sur une cépée ; les autres rejets sont éliminés ; afin de faire de lui un arbre de futaie sur souche.

Biefs : canal de dérivation des eaux (ex : bief de moulin).

Bouture : morceau de branche planté dans le sol dont les bourgeons dormants vont recréer des racines et des feuilles destinées à recréer un individu aux mêmes caractéristiques génétiques.

Cépée : ensemble des rejets d'une souche.

Chalarose : Nom donné à la maladie causée par le champignon *Hymenoscyphus fraxineus* sur les Frênes.

Classification de Strahler : hiérarchisation des branches d'une arborescence selon leur importance.

Collet : zone de transition entre la partie aérienne et la partie souterraine d'un arbre.

Conductivité : cela caractérise la dureté de l'eau, plus celle-ci est chargée en éléments minéraux plus sa capacité à conduire le courant électrique sera élevée donc sa conductivité sera forte.

Corridor écologique : milieux reliant des habitats vitaux pour certaines espèces.

Cryptogamique : se dit d'une maladie causée par un champignon ou un Oomycète.

Dent Becker : outil de dessouchage montable sur une pelleteuse.

Dessication : déshydratation/dessèchement.

Diagramme ombrothermique : diagramme climatique représentant les variations annuelles des températures et des précipitations, l'échelle des précipitations y est égale à 2 fois celle des températures.

Embâcles : obstruction du lit d'un cours d'eau.

Engorgement : Etat de saturation en eau d'un sol.

Enkyster : capacité à s'enfermer comme dans un kyste.

Essence : est synonyme d'espèce et s'applique aux bois.

Eutrophisation : processus d'accumulation de nutriments dans un milieu.

Exsudats : liquide suintant d'un végétal.

Exutoire : point de convergence des eaux vers un autre secteur.

Fascine : fagots de bois servant dans la stabilisation des berges.

Foliaire : qui appartient à la feuille, parfois utilisé pour remplacer le mot feuille.

Franc pied : arbre issu d'une graine.

Futaie : Ensemble d'arbres de franc pied.

Graphiose : maladie due à un champignon qui bouche les vaisseaux vasculaires de l'arbre.

Lenticelles : sorte de pore présent à la surface de l'écorce.

Lentiques : se dit découlements calmes, peu rapides.

Nécrose : mort prématurée et non programmée d'une cellule.

Nodosités : endroit de la symbiose entre une bactérie et une plante, généralement sous forme d'une boule.

Palynologie : Etude des pollens actuels mais aussi des pollens fossiles, généralement grâce à des forages.

Pathogène : qui peut causer une maladie.

Phytophthora alni : Oomycète récent issu d'une hybridation de 2 autres Phytophthoras, il est responsable de la maladie appelée phytophthora qui touche les aulnes.

Rachis : axe qui soutient une feuille qu'elle soit simple ou composée.

Rapport C/N : rapport Carbone sur Azote, utilisé pour connaître la capacité améliorante des sols d'une espèce.

Recépage : action de couper des rejets ou un arbre dans le but de créer une cépée.

Rejets traumatiques : tige issue d'un bourgeon dormant, activée par un trauma causé à l'arbre.

Ripisylve : boisement riverain d'un cours d'eau qui influe sur le cours d'eau et est influé par celui-ci.

Strate Arborée : strate composée des arbres de plus de 7 mètres.

Strate Arbustive : strate composée d'arbres inférieurs à 7 mètres.

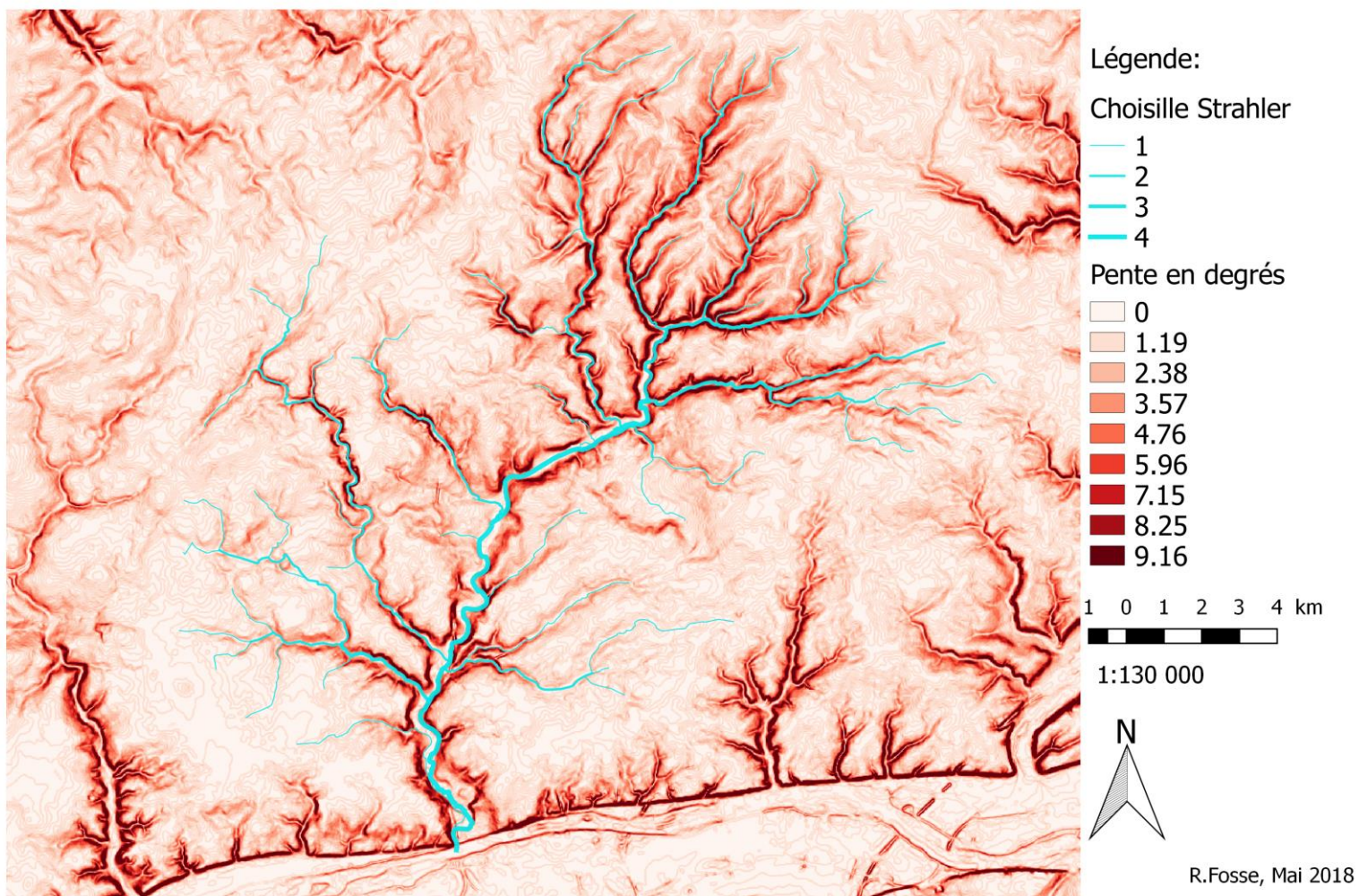
Taillis : Ensemble de cépées.

Têtard : Arbre dont toutes les branches sont coupées avec une périodicité définie.

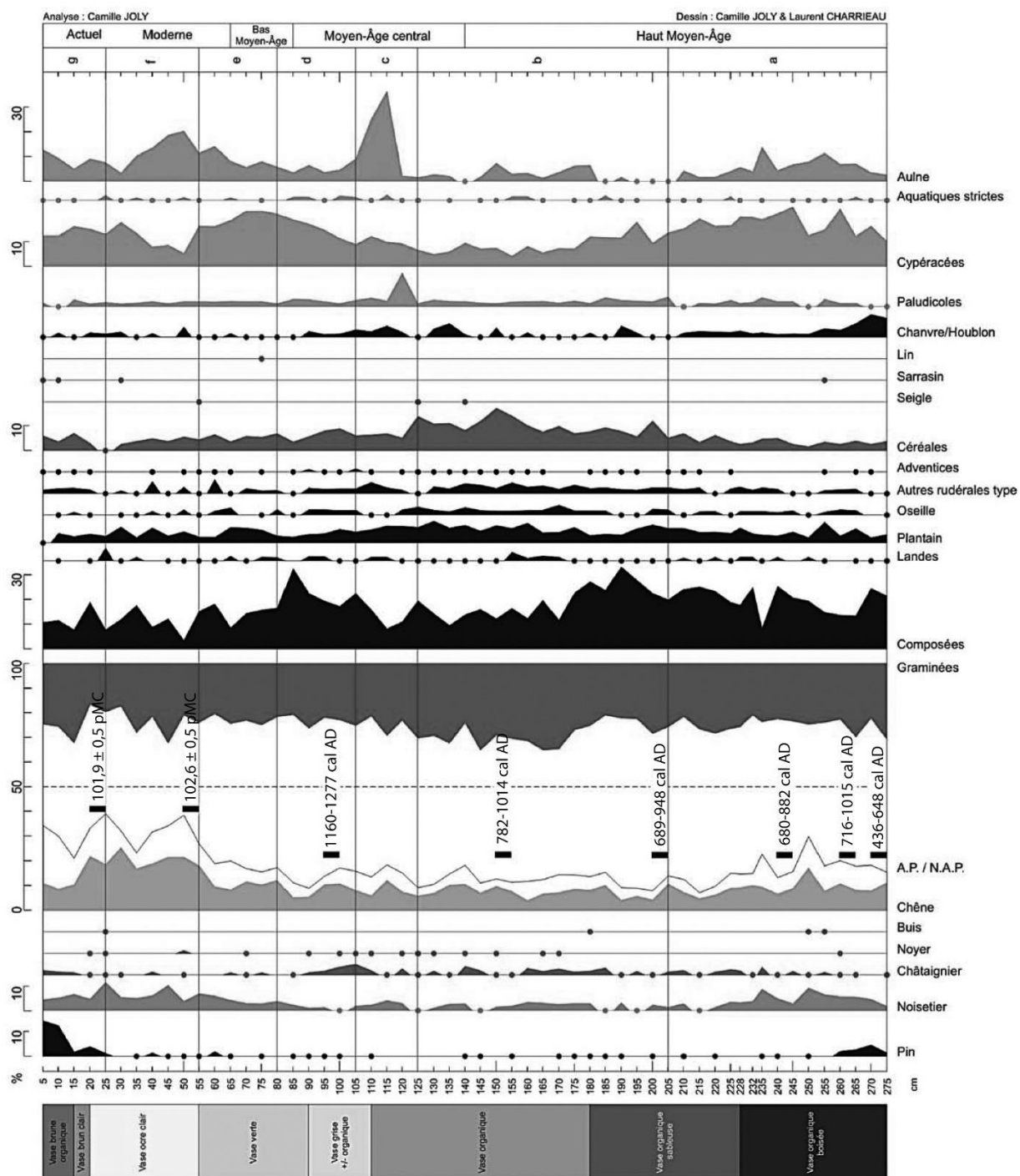
Topofil : Appareil de mesure des distances à fil perdu.

Annexe 3 : Carte des pentes du bassin versant de la Choisille

Carte des pentes en degrés bassin versant de la Choisille



Annexe 4 : Analyse palynologique site des Naudières (N.Poirier et al, 2013)



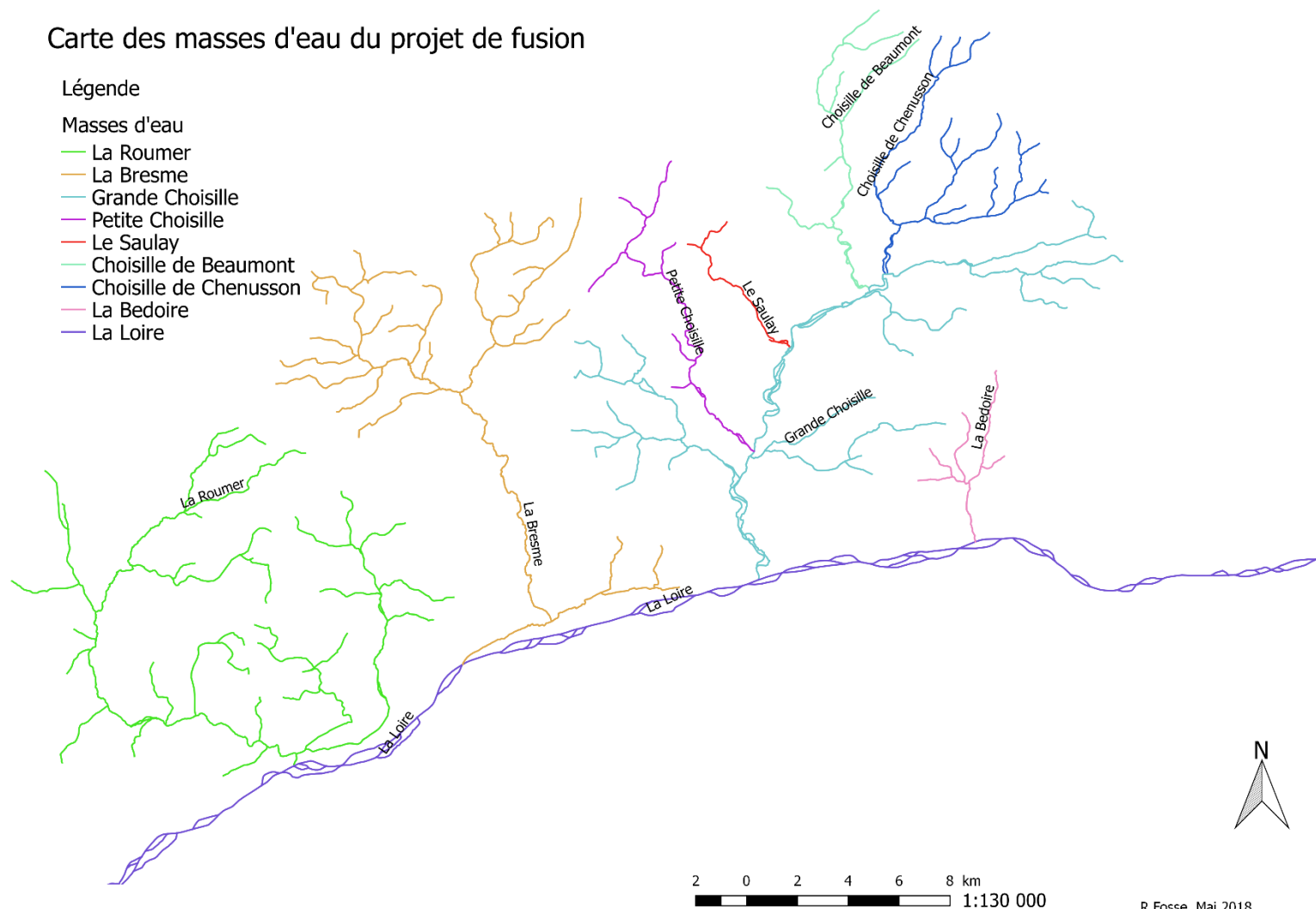
Annexe 5 : Carte des masses d'eau concernées par la fusion

Carte des masses d'eau du projet de fusion

Légende

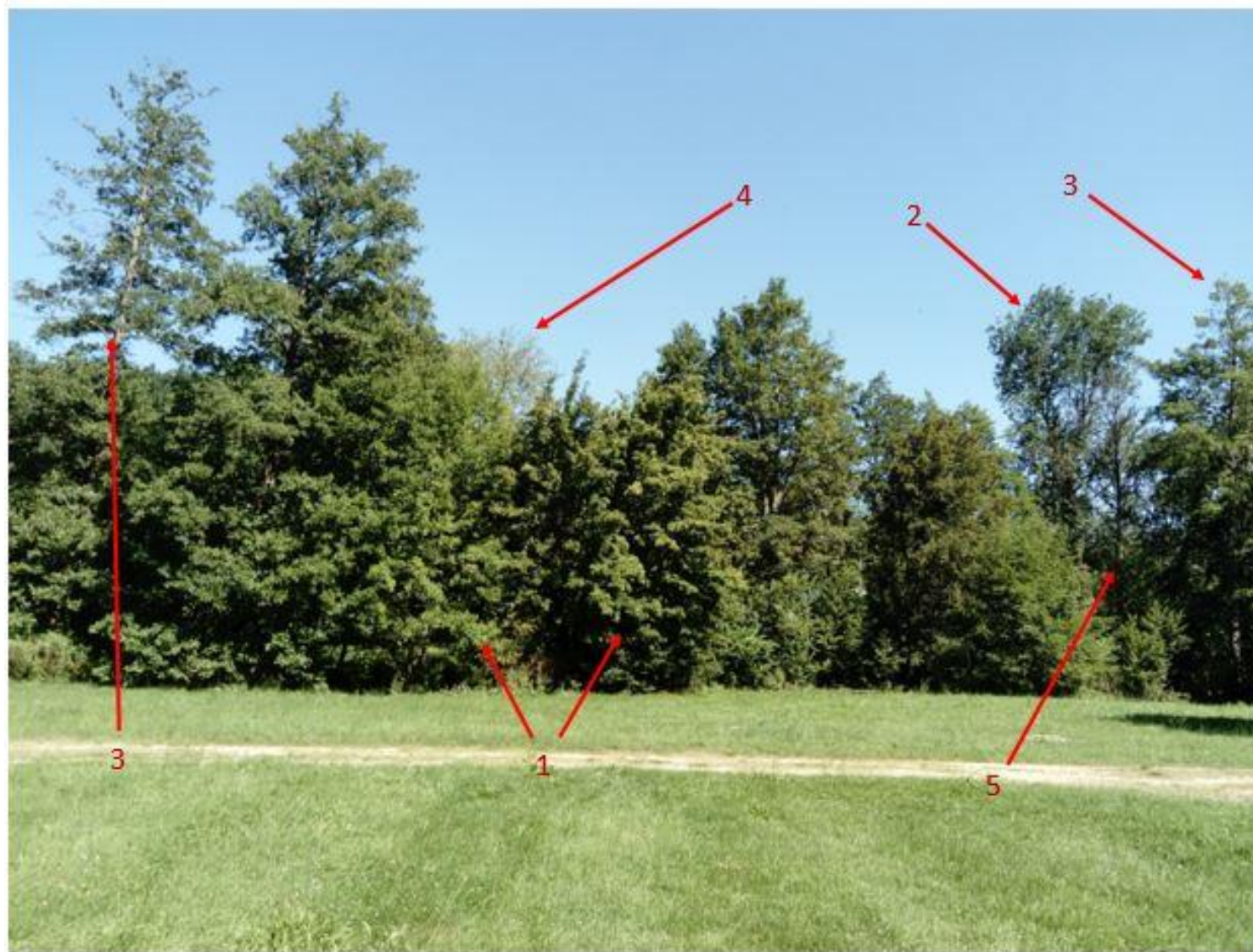
Masses d'eau

- La Roumer
- La Bresme
- Grande Choisille
- Petite Choisille
- Le Saulay
- Choisille de Beaumont
- Choisille de Chenusson
- La Bedoire
- La Loire



R.Fosse, Mai 2018

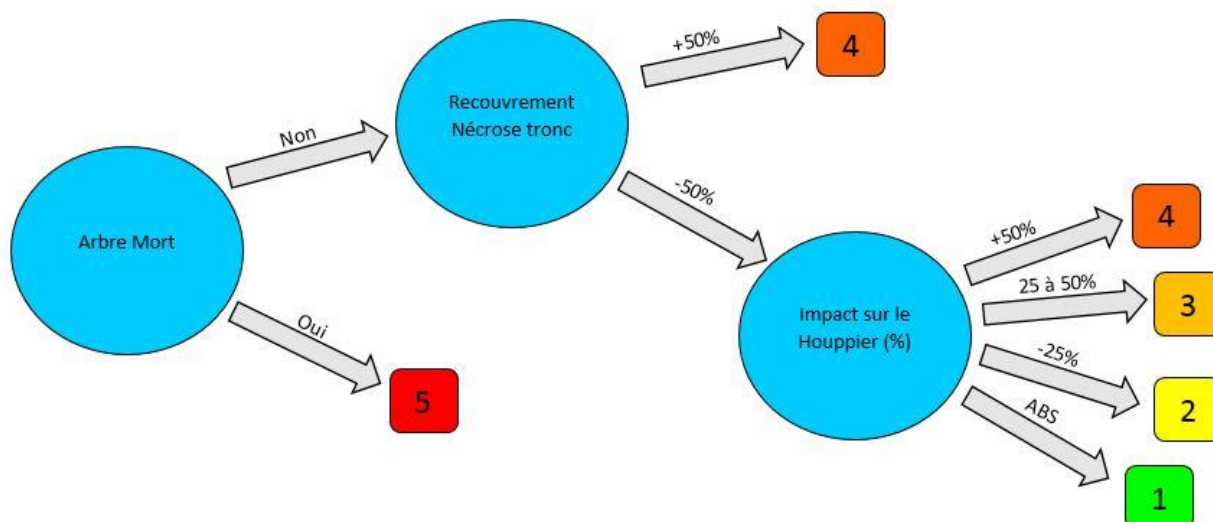
Annexe 6 : Photographie des différentes étapes du dépérissement sur un même tronçon :



Annexe 7 : Clés de détermination de la note de dépérissement :

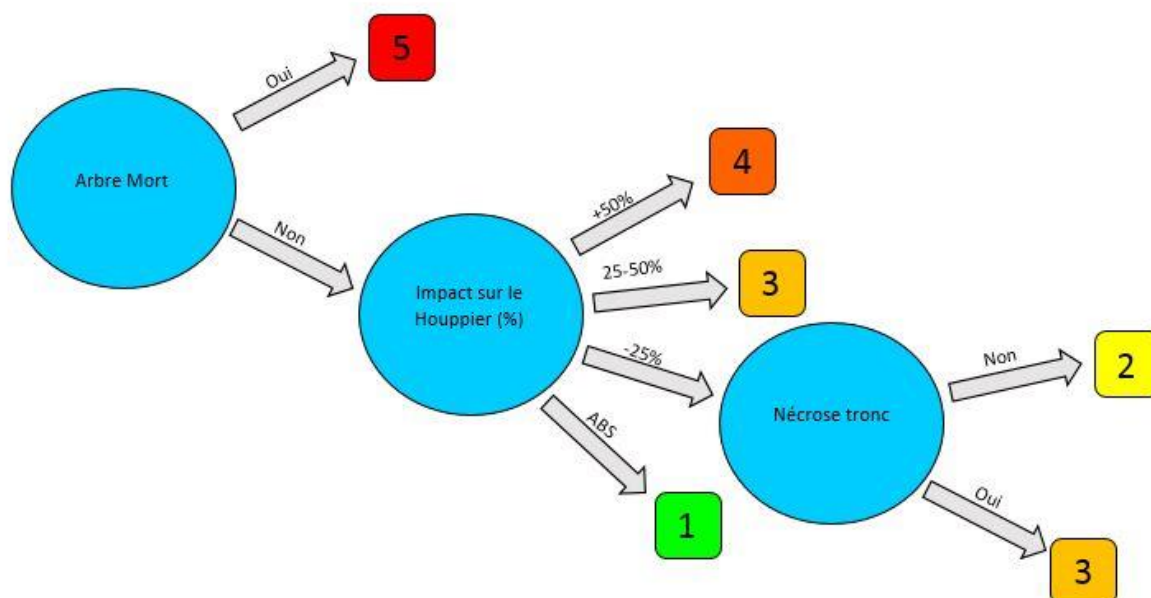
Clé de détermination chalarose :

La nécrose est le facteur déterminant du dépérissement, le houppier est secondaire.

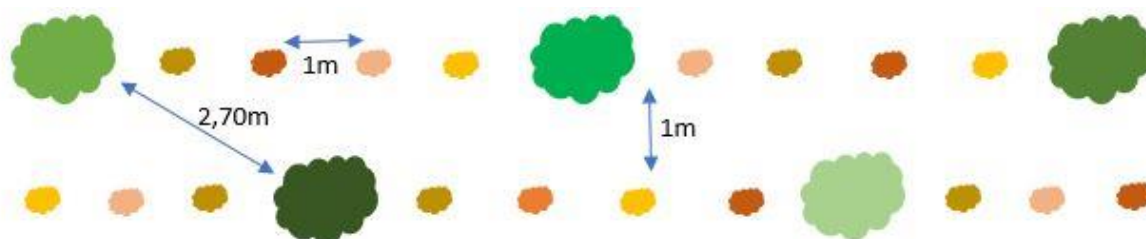


Clé de détermination phytophthora :

La mortalité dépend de la densité de feuillage, la nécrose est secondaire.



Annexe 8 : Schéma de plantation en quinconce :



	Frêne
	Chêne des marais
	Aulne glutineux
	Erable sycomore
	Cerisier à grappes
	Bourdaie
	Cornouiller sanguin
	Erable champêtre
	Fusain d'Europe