



**MANUELS MONGEFITOFOR**

**SURVEILLANCE ET GESTION  
DE LA CHALAROSE DU  
FRÊNE  
DANS LES ZONES ALPINES  
TRANSFRONTALIÈRES**

GUGLIELMO LIONE, LUCA DOVIGO, CHIARA FERRACINI, ROBERTO MARTINIS,  
SILVIA ONGARO, MARTINA PELLICCIARO, SIMONA PRENCIPE, SIMONE PROSPERO,  
ANDREA RETTORI, IVAN ROLLET E PAOLO GONTHIER

## **SURVEILLANCE ET GESTION DE LA CHALAROSE DU FRÊNE DANS LES ZONES ALPINES TRANSFRONTALIÈRES**

Série : «MANUELS MONGEFITOFOR»

### **Auteurs**

Guglielmo Lione <sup>(1)</sup>, Luca Dovigo <sup>(2)</sup>, Chiara Ferracini <sup>(1)</sup>,  
Roberto Martinis <sup>(3)</sup>, Silvia Ongaro <sup>(2)</sup>, Martina Pellicciano <sup>(1)</sup>,  
Simona Prencipe <sup>(1)</sup>, Simone Prospero <sup>(3)</sup>, Andrea Rettoni <sup>(3)</sup>,  
Ivan Rollet <sup>(2)</sup>, Paolo Gonthier <sup>(1)</sup>

### **Coordination scientifique**

Paolo Gonthier <sup>(1)</sup>, Chiara Ferracini <sup>(1)</sup>, Simone Prospero <sup>(4)</sup>,  
Guglielmo Lione <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Université des Études de Turin, Département des sciences agricoles, forestières  
et alimentaires (DISAFA), Largo P. Braccini 2, 10095 Grugliasco (TO), Italie.

<sup>(2)</sup> Région Autonome Vallée d'Aoste, Assessorat de l'Agriculture et des Ressources  
naturelles, Corps forestier de la Vallée d'Aoste, Loc. La Grande Charrière 14,  
11020 Saint-Christophe (AO), Italie.

<sup>(3)</sup> Studio Associato Planta, Via Chiesa 19, 10090 Rosta (TO), Italie.

<sup>(4)</sup> Institut fédéral suisse de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL),  
Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Suisse.

### **Forme de citation recommandée**

Lione G., Dovigo L., Ferracini C., Martinis R., Ongaro S., Pellicciano M., Prencipe  
S., Prospero S., Rettoni A., Rollet I., Gonthier P. (2023). Surveillance et gestion de  
la chalarose du frêne dans les zones alpines transfrontalières. Série : «Manuels  
MONGEFITOFOR». Région Autonome de la Vallée d'Aoste. ISBN 9791280561565

# INDEX

3	Préface
4	Le projet MONGEFITOFOR
6	Le grand frêne : aperçu général de l'espèce
9	Synécologie et caractérisation des frênaies
9	Fonctions et services écosystémiques des frênaies
13	Aspects sylvicoles et de gestion
14	Chalarose du frêne causé par <i>Hymenoscyphus fraxineus</i>
20	Surveillance du dépérissement du frêne
25	Comprendre les symptômes de la chalarose du frêne
33	Incidence, gravité et distribution de la chalarose du frêne
35	Présence, capacité de sporulation et distribution spatiale du pathogène <i>Hymenoscyphus fraxineus</i>
38	Autres parasites du frêne
39	Interventions sylvicoles et phytosanitaires pour la gestion des peuplements de frênes dépérissants
47	Exemples d'application : sites pilotes de MONGEFITOFOR
56	Conclusions et perspectives
57	Remerciements
58	Bibliographie essentielle



## PRÉFACE

Les forêts sont une composante importante du paysage de la Région Autonome de la Vallée d'Aoste et des zones transfrontalières italo-suisse, et remplissent de nombreuses fonctions indispensables à la conservation, à la préservation et à la protection du territoire et des communautés locales. Afin de garantir l'accomplissement de ces fonctions dans le temps et l'espace, la santé des forêts doit être constamment surveillée et préservée. Le besoin de mettre en commun les expériences, les connaissances acquises et les projets relatifs au suivi et à la gestion des principales difficultés dans le secteur forestier, a donc conduit la Région Autonome de la Vallée d'Aoste, les deux cantons suisses des Grisons et du Tessin, le Département des sciences agricoles, forestières et alimentaires (DISAFA) de l'Université des Études de Turin et l'Institut fédéral suisse de recherche sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) de Birmensdorf - Zurich à coopérer dans le cadre d'un projet ambitieux appelé MONGEFITOFOR (Lignes directrices pour le SUIVI et la GESTION des urgences PHYTOSANITAIRES dans les FORÊTS des Alpes centrales et occidentales), mis en œuvre dans le cadre du Programme

de coopération territoriale INTERREG V-A Italie-Suisse 2014/2020. Plusieurs problématiques phytosanitaires, dont la charlarose du frêne, ont été affrontées dans le cadre du projet. Ce manuel présente les résultats du suivi phytosanitaire visant à rechercher les causes du dépérissement du frêne, à quantifier son impact et à proposer des stratégies opérationnelles pour sa gestion dans les milieux forestiers des zones alpines transfrontalières. En effet, le manuel a été réalisé grâce aux connaissances acquises dans le contexte transfrontalier, fruit de la synergie entre les partenaires du projet qui ont partagé leurs expériences, leurs connaissances et leurs compétences au cours des différentes activités.

Cette publication représente à la fois un outil opérationnel pour le secteur forestier mais également un instrument pour divulguer auprès des techniciens, des administrateurs, des parties prenantes et du grand public les connaissances acquises et les bonnes pratiques pour préserver la santé du frêne et des frênaies.

*Le conseiller pour l'agriculture  
et les ressources naturelles*  
Marco Carrel

## LE PROJET MONGEFITOFOR

**MONGEFITOFOR** (Lignes directrices pour le suivi et la gestion des urgences phytosanitaires dans les forêts des Alpes centrales et occidentales) est un projet financé par l'Union européenne dans le cadre du programme de coopération territoriale **INTERREG** V-A Italie-Suisse 2014/2020 dans lequel des institutions locales et des organismes de recherche italiens et suisses coopèrent pour surveiller *l'état de santé des forêts* transfrontalières, proposer des stratégies durables pour leur gestion et leur protection, et ainsi promouvoir leur *résilience*. Le projet a pour chef de file le Corps Forestier de la Vallée d'Aoste (IT) et pour partenaires l'Université des Études de Turin - Département des sciences agricoles, forestières et alimentaires (DISAFA) (IT), l'Institut fédéral suisse de recherche sur la forêt, la neige et le paysage WSL (Birmensdorf) (CH), le Canton des Grisons - Office des forêts et des risques naturels (CH) et le Canton du Tessin - Section des forêts (CH).

Le projet part du constat que les forêts sont un élément indispensable du *paysage* des vallées alpines et que leur valeur multifonctionnelle se concrétise non seulement à travers la *produc-*

*tion* de bois, mais aussi à travers le maintien de la *biodiversité*, la *protection hydrogéologique* des versants et à travers une offre de services et d'activités de loisir destinée aux touristes, aux visiteurs et à la population en général. Cependant, pour assurer ces fonctions fondamentales, il est indispensable de protéger les forêts de manière adéquate. Le projet MONGEFITOFOR a pour objectif de répondre, au niveau transfrontalier, à certaines des principales urgences phytosanitaires qui ont frappé les forêts des collines et des régions de basse montagne des Alpes centrales et occidentales au cours de ces dernières années (**encadré 1**). Il s'agit notamment de la *chalarose du frêne* causé par le *champignon Hymenoscyphus fraxineus*, un problème auquel est consacré ce *manuel technico-scientifique* qui vise à aider non seulement les propriétaires, les gestionnaires et les administrateurs des ressources forestières, mais aussi les techniciens et les opérateurs du secteur souhaitant approfondir leurs connaissances et améliorer leurs compétences.

# ENCADRÉ 1

## Aperçu du projet MONGEFITOFOR

Le projet MONGEFITOFOR, qui a débuté en 2019 et se terminera en 2023, se concentre sur le suivi des problématiques phytosanitaires émergentes des espèces d'arbres jouant un rôle clé dans les peuplements forestiers des collines et des régions de basse montagne des zones transfrontalières italo-suisse : le **châtaignier** (*Castanea sativa*), le **grand frêne** (*Fraxinus excelsior*) et le **pin sylvestre** (*Pinus sylvestris*), auxquels sont consacrés des manuels technico-scientifiques spécifiques de la série "**I MANUALI MONGEFITOFOR**". Outre les manuels, le projet MONGEFITOFOR propose également des contenus multimédias d'information technique et d'analyse approfondie, disponibles sur les plateformes suivantes :

### SITE INTERNET

<https://fitosanitario.regione.vda.it/progetto-mongefitofor>

### FACEBOOK

<https://www.facebook.com/Mongefitofor-103015101617192/>

### INSTAGRAM

<https://instagram.com/mongefitofor?igshid=1f0k8nykdbkw1>

### YOUTUBE

<https://www.youtube.com/channel/UCeafnk1hcccn8Vlm4wqFvSg>

## LE GRAND FRÊNE : APERÇU GÉNÉRAL DE L'ESPÈCE

Le frêne commun (*Fraxinus excelsior* L.) (figure 1), que l'on appellera ici tout simplement frêne, est une espèce d'arbre présentant un intérêt forestier pour les zones transfrontalières italo-suisse, mais avec également des applications intéressantes en arboriculture, ou comme essence de bois ornementale dans des contextes urbains ou d'autres contextes créés par l'homme.

Cet arbre, qui peut atteindre 40 m de haut et plus d'un mètre de diamètre, est assez longé-

### FIGURE 1

FRÊNE COMMUN (*FRAXINUS EXCELSIOR*). FRÊNE ADULTE ET VIGOREUX POUSSANT DANS UNE PRAIRIE DANS LA ZONE DE BASSE MONTAGNE PRÈS DE LA MUNICIPALITÉ DE COURMAYEUR (AO). LA PRÉSENCE DE PLUSIEURS BRANCHES PRINCIPALES CO-DOMINANTES INDIQUE DES TAILLIS ANTÉRIEURS.



vif et possède une **capacité de drageonnage** des caïeux et des racines. Cette caractéristique fait du frêne une espèce adaptée aux **taillis** ou aux **futaies**. Dans les zones de collines et de basses montagnes des Alpes, le frêne est généralement une espèce sporadique ou accessoire, participant à la constitution de différents peuplements mixtes. Cependant, localement et dans des conditions particulièrement favorables, le frêne peut former des forêts mixtes avec une couverture pouvant dépasser les 50-75% et une présence pouvant également se manifester par des noyaux substantiels à la composition presque monospécifique. Les graines de frêne se caractérisent par une longue période de **dormance** et on estime qu'il faut jusqu'à deux ans après la maturité pour qu'elles germent dans des conditions naturelles.

Sur le plan autoécologique, le frêne est notoirement une espèce qui ne tolère pas les périodes de **sécheresse** prolongées, qu'il supporte beaucoup moins que les autres feuillus qui lui sont associés. Le frêne préfère les sols riches et très humides et est donc particulièrement adapté à la colonisation d'habitats riverains, de gorges ou de plaines inondables. En ce qui concerne les conditions pédologiques, le frêne s'adapte aussi bien aux sols des plaines

qu'aux sols des versants, et est donc très répandu dans des régions géomorphologiques très différentes (par exemple, les Alpes, la vallée du Pô). Cependant, le frêne préfère les sols **fertiles** et a tendance à dédaigner les sols acides, auxquels il s'adapte moins bien. L'espèce s'adapte bien non seulement aux sols typiques des milieux forestiers, mais aussi aux sols agricoles. Cette capacité d'adaptation fait que le frêne est souvent considéré comme l'une des espèces les plus aptes à coloniser d'anciennes zones marginales cultivées ou anthropisées, formant ce que l'on appelle des **frênaies d'invasion**. Pour ce qui concerne ses besoins en lumière, le frêne est une espèce mésophile, bien que certaines distinctions soient faites en fonction de l'âge de l'arbre. En effet, les frênes en régénération et les jeunes plants sont nettement plus **tolérants à l'ombre**, tandis que les individus adultes ont tendance à être plus héliophiles et moins aptes à tolérer la présence d'autres plantes dominantes ou co-dominantes. En ce qui concerne le climat, le frêne supporte bien les basses températures, surtout pendant la période de repos végétatif, mais craint les **gelées tardives**, qui peuvent provoquer la mort des jeunes pousses en formation ou des **jeunes plants**, sur-

tout si les températures inférieures à  $-3^{\circ}\text{C}$  se maintiennent pendant plus de 18 heures consécutives. Les besoins *autoécologiques* des frênes

peuvent se résumer à l'aide d'une série d'indices quantitatifs soulignant leurs principales caractéristiques (**tableau 1**).

## TABLEAU 1

Description sommaire de l'autoécologie du frêne. À chaque facteur environnemental correspond un indice de Landolt (1 à 5, valeurs extrapolées de Lauber et Wagner, 2001) avec sa description. L'astérisque à côté du chiffre indique la tolérance de l'espèce aux changements du facteur considéré.

Facteur environnemental	Indice	Description
Besoins en eau	3*	A besoin de sols moyennement humides, mais tolère de grandes variations de plus de 2 points sur l'échelle de Landolt.
Acidité du sol (pH)	4	Préfère les sols au pH neutre, subcalcaires ou basiques (5,5-8,5)
Besoins nutritionnels	3	Pousse sur des sols dont l'apport en nutriments se trouve à mi-chemin entre les extrêmes représentés par les espèces pionnières et les espèces nitrophiles.
Lumière	3	Espèce ni sciaphile ni héliophile, adaptée à des conditions de luminosité intermédiaires.
Température	3*	Pousse de préférence dans des zones avec des températures typiques des régions de haute et basse montagnes, mais s'adapte également à d'importantes variations de température.
Continentalité	3	Adapté aux climats modérément subcontinentaux à subatlantiques

## SYNÉCOLOGIE ET CARACTÉRISATION DES FRÊNAIES

Compte tenu du caractère accessoire ou sporadique de l'espèce et de ses caractéristiques autoécologiques, le frêne peut faire partie de différents ensembles floristico-végétatifs et présente une synécologie assez articulée, caractérisée par une **grande variabilité** géographique. En termes de typologie, le frêne participe principalement à des **peuplements plurispécifiques** qui peuvent être classés en **frênaies-érablières-tilleuls**, **frênaies-érablières**, et plus rarement en **frênaies** pures, bien que l'espèce se retrouve également dans d'autres contextes forestiers où elle colonise différents habitats, souvent associée à des arbres à feuilles caduques (érables, tilleuls, aulnes, charmes, châtaigniers, ormes, cerisiers et noisetiers), mais aussi à des conifères (mélèzes, pins, etc.). Dans les zones transfrontalières italo-suisse, les types de forêts qui abritent le plus souvent des frênes sont les suivants:

- Forêt d'invasion ou de ravins de frênaies-érablières-tilleuls;
- Aulnes noirs ou aulnes blancs ;
- Tilleuls ;
- Noisetiers d'invasion;
- Châtaigneraies ;
- Forêts de pins sylvestres ;
- Forêts de mélèzes.

Cette grande variabilité synécologique se répercute également sur les tendances évolutives des peuplements, dont la dynamique peut différer en fonction des conditions environnementales et culturelles. Dans certains cas, des variantes ont été identifiées pour les types de forêts susmentionnés, avec du frêne, ou des frênaies, où la couverture de l'espèce en question varie entre 25 et 50 %, dans le premier cas, et dépasse 75 %, dans le second.

## FONCTIONS ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES DES FRÊNAIES

La variabilité des peuplements forestiers dans lesquels le frêne est présent signifie que, virtuellement, l'espèce est capable d'exercer un grand nombre de **fonctions** et de fournir plusieurs **services écosystémiques**, notamment :

- Production de **différentes essences de bois** ;
- Production de produits secondaires pour des marchés de niche;
- **Protection hydrogéologique** et consolidation des coteaux ;
- Fourniture de services liés aux fonctions écologiques et environnementales (par exemple,

soutien à la **biodiversité**, piégeage du dioxyde de carbone atmosphérique et des **stocks de carbone**, contribution aux cycles biogéochimiques) ;

- Participation à des peuplements jouant un rôle important en tant qu'éléments du **paysage**, offrant des espaces appropriés pour le **tourisme** et les loisirs.

Les différentes fonctions que remplit le frêne et les services écosystémiques qui en découlent dépendent du type de forêt dans lequel il est planté, de sa gestion (**taillis** ou **futaie**) et du contexte. Le frêne appartient à la famille des **arbres à feuilles caduques** nobles en raison des caractéristiques esthétiques et physico-mécaniques de son bois qui peut être récolté pour la production de **meubles**, en particulier des **grumes de placage**, ou des assortiments destinés à des traitements spéciaux pour des marchés de niche. Le bois de frêne est utilisé par exemple, pour la production de manches d'outils, avirons, mâts de bateaux, crosses de hockey et est également apprécié en **ébénisterie**. Le bois de chauffage issu des taillis est également de bonne qualité. Parmi les produits forestiers non ligneux, nous trouvons la récolte des feuilles, de l'écorce et des fruits pour la préparation de produits **phytothérapeutiques** ou autres préparations à base de plantes, tandis que l'utilisation traditionnelle

des branches comme plantes fourragères pour l'alimentation du bétail est aujourd'hui marginale. La morphologie du système racinaire fait du frêne une espèce précieuse pour la **consolidation des coteaux**, en raison de la présence d'une racine pivotante et d'abondantes racines latérales verticales qui s'enfoncent profondément dans le sol (**figure 2**). De plus, la couronne et le tronc interceptent les précipitations et contribuent à l'écoulement régulier de l'eau en aidant à prévenir les phénomènes d'érosion des sols.

Le frêne est également une espèce essentielle de certaines **forêts de nouvelle formation** (**figure 3**), qui s'installent et colonisent d'anciennes cultures, des terrasses, des prairies ou des pâturages livrés à eux-mêmes, principalement en raison de l'abandon des terres, du dépeuplement des piedmonts et des régions montagneuses et de la diminution des activités agricoles et zootechniques traditionnelles. Les forêts nouvellement formées contribuent au reboisement spontané du territoire, amplifiant la capacité des systèmes forestiers à assurer les fonctions écologiques et environnementales qui les caractérisent. Le frêne constitue non seulement des **réseaux écologiques** et des **habitats** favorables à la biodiversité animale, végétale et microbienne,

2



**FIGURE 2**  
FRÊNES SUR UN TALUS À PROXIMITÉ D'UN COURS D'EAU. DANS CE CONTEXTE, LE FRÊNE JOUE UN RÔLE IMPORTANT POUR LA CONSOLIDATION DU TALUS ET LA PROTECTION DE LA BERGE.

**FIGURE 3**  
FORÊT NOUVELLEMENT FORMÉE AVEC DES FRÊNES SUR LE POINT DE S'INSTALLER ET DE COLONISER LES MARGES D'UNE PRAIRIE LAISSÉE À L'ABANDON.

3



mais également un substrat favorable à la colonisation par différents organismes et mi-

cro-organismes, comme les *champignons* et les *lichens* (encadré 2).

## ENCADRÉ 2

### Les frênes, réservoirs de biodiversité

Les frênes des zones transfrontalières italo-suisse constituent une ressource qu'il est fondamental de préserver afin de maintenir et améliorer les niveaux de biodiversité des écosystèmes forestiers. Encourager la biodiversité est l'une des priorités de la gestion forestière, de grande importance au niveau international, puisque c'est justement en préservant la biodiversité des écosystèmes qu'il est possible d'en accroître la résilience face aux parasites, aux criticités et aux perturbations, qu'elles soient naturelles ou anthropiques. Les peuplements forestiers abritant des frênes sont des habitats accueillant une multitude d'organismes et de micro-organismes, qui créent un réseau complexe d'interactions écologiques. Des études récentes ont démontré que, précisément dans les zones concernées par le projet MONGEFITOFOR, les frênes représentent un important réservoir de biodiversité. L'écorce du frêne par exemple, peut abriter un large éventail d'espèces de lichens, des organismes représentant une association symbiotique entre champignons et algues (figure 4). Certains lichens que l'on trouve sur les frênes des Alpes du Nord-Ouest sont rares et figurent sur des listes de protection spéciale. Il est donc impératif de sauvegarder le frêne pour protéger d'autres espèces plus ou moins rares et maintenir l'efficacité structurelle et fonctionnelle des écosystèmes forestiers.

**FIGURE 4**  
LES FRÊNES FAVORISENT LA BIODIVERSITÉ DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS. L'ÉCORCE DU FRÊNE QUE L'ON VOIT SUR LA PHOTO EST COLONISÉE PAR DES LICHENS, DES ORGANISMES PARTICULIERS REPRÉSENTANT L'EXEMPLE PARFAIT DE LA SYMBIOSE ENTRE ALGUES ET CHAMPIGNON.



## ASPECTS SYLVICOLES ET DE GESTION

À l'exception des plantations spécialisées dans la production de bois, qui toutefois dans les zones transfrontalières italo-suisse, sont absentes ou ne représentent pas une réalité significative, la sylviculture du frêne est fortement influencée par la **variabilité** synécologique et structurelle des formations forestières où cette espèce est présente. Compte tenu de sa valeur écologique et environnementale, on tend à **privilégier le frêne** considéré comme feuillu noble et notamment, si possible, à en encourager la présence en guidant les processus dynamiques de succession vers une **composition multi-espèces** en équilibre avec les caractéristiques environnementales locales, et en respectant essentiellement les critères de la **sylviculture naturaliste** ou de la **sylviculture systémique**. Pour le frêne, la tendance est donc de privilégier la **futaie** plutôt que le taillis, bien que l'on ne puisse exclure l'utilisation de taillis composés avec des rotations de 80 ou 100 ans et la conservation de baliveaux pendant une, deux ou même trois rotations. Lorsque les conditions de fertilité sont adéquates, le frêne se révèle être une espèce appropriée pour enrichir les taillis domi-

nés par d'autres feuillus. Dans les peuplements où le frêne est déjà présent, il est recommandé de procéder à des **éclaircissements** ponctuels, à intervalles de 5 à 10 ans, afin de favoriser les individus apparemment les plus prometteurs en termes d'aspect, de croissance et de vigueur végétative, en adaptant le nombre, l'intensité et la fréquence des éclaircissements à la situation in situ. Si le frêne présente également une valeur productive, les assortiments ligneux doivent être prélevés sur des arbres âgés d'environ 70 ans, car le bois des arbres sénescents peut présenter des caractéristiques technologiques non optimales (par exemple des défauts tels que le "cœur noir"). Les **éclaircissements sélectifs** et les **coupes de régénération**, effectués sur des forêts mixtes de type frênaies-érablières, ont donné des résultats prometteurs dans des contextes pratiquement similaires à ceux des zones transfrontalières italo-suisse, favorables à la régénération naturelle du frêne. Dans la pratique, cependant, le recépage et la libre évolution des peuplements en l'absence d'interventions de sylviculture planifiées, sont des pratiques consolidées dans des contextes marginaux, où prévaut la gestion traditionnelle, soutenue par les usages locaux, également en conséquence de la forte fragmenta-

tion des espaces ruraux. Les indications sylvicoles contenues dans ce chapitre sont valables pour les peuplements où les frênes ne présentent aucunes altérations évidentes imputables à des criticités phytosanitaires. En présence de telles criticités, il est en effet conseillé de compléter les bonnes pratiques sylvicoles par des interventions appropriées qui tiennent compte de la présence et de l'impact des maladies causées par des champignons ou d'autres facteurs biotiques et abiotiques, ainsi que des dommages causés par les insectes phytophages. Le projet MONGE-FITOFOR se propose donc de surveiller et d'étudier les criticités phytosanitaires du frêne, en s'appuyant sur une base scientifique solide, afin d'élaborer des *lignes directrices* possibles pour la *gestion forestière* à appliquer là où les maladies et les infestations d'insectes imposent une sylviculture orientée vers la *protection des plantes*.

### **CHALAROSE DU FRÊNE PROVOQUÉE PAR L'*HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS***

La *dégradation* d'une espèce forestière est un phénomène complexe, qui provoque une perte

de vigueur végétative de l'arbre, souvent accompagné d'un *état symptomatologique* compromis, dont l'évolution peut conduire à des taux de *mortalité* élevés. Le dépérissement peut dépendre de divers facteurs, abiotiques et biotiques, avec essentiellement des agents pathogènes, mais aussi de perturbations naturelles ou de phénomènes comme le feu, la grêle, les tempêtes de vent, les changements climatiques ou les attaques des insectes phytophages. Le rôle des *maladies infectieuses* dans la dégradation des forêts peut être décisif. Dans le cas des espèces forestières, les principaux agents *pathogènes* sont les *champignons*, les chromistes, les bactéries, les phytoplasmes, les virus et les plantes parasites. Bien que de manière différente, les agents pathogènes peuvent déclencher des épidémies ou infecter des arbres sains soit localement, affectant les individus d'espèces sensibles présents dans un peuplement forestier donné, ou sur des zones plus vastes, que ce soit au niveau du district forestier ou au niveau régional, national, continental ou intercontinental.

Parmi les maladies infectieuses du frêne, la plus importante est la chalarose causée par le *champignon* ascomycète *Hymenoscyphus fraxineus* (T. Kowalski) Barral, Queloz, Hosoya, comb. nov. (également connu sous le nom

de *Chalara fraxinea* ou *H. pseudoalbidus*). La **chalarose du frêne** fut signalée pour la première fois au début des années 1990, entraînant la mort d'un nombre important d'arbres jeunes et moins jeunes dans certaines forêts de la Pologne. On pense que le champignon a été introduit en Europe depuis l'Asie de l'Est, sans toutefois avoir causé des dégâts particuliers aux espèces de frênes locales (*Fraxinus mandshurica* et *F. chinensis*). Depuis le début des années 2000, cette maladie s'est largement et rapidement répandue affectant les frênes sur une grande partie du continent européen. Entre 1992 et 2012 par exemple, le champignon *H. fraxineus* a été signalé dans au moins 26 états différents. L'apparition du pathogène dans de nouvelles zones et son expansion rapide peuvent être dues à la fois à un certain nombre de facteurs, comme le transport de semis **infectés** ou de bois et autres **matériaux pour les pépinières**, mais aussi à la propagation naturelle de l'agent pathogène via les spores. En Europe, **l'impact écologique** et les **dommages économiques** causés par le champignon *H. fraxineus* ont été si importants et si étendus qu'on a craint une extinction localisée du frêne dans certaines régions. Par exemple, on estime qu'en Lituanie, la surface forestière occupée par les frênes est



passée de 53 000 à 38 000 ha entre 2001 et 2009, tandis qu'au Danemark, aucun nouveau frêne n'a été planté en raison des effets de la maladie. Certaines études ont révélé des pics de mortalité allant jusqu'à 70 % dans les forêts et jusqu'à 85 % dans les plantations, raison pour laquelle la **conservation de l'espèce** est devenue une priorité dans les **politiques de planification et de gestion forestières** au niveau international.

En Italie, la chalarose du frêne causée par le champignon *H. fraxineus* a été signalée pour la première fois en 2009, dans le Frioul-Vénétie Julienne, pour ensuite se propager rapidement dans la plupart des régions du nord et du centre de l'Italie. En 2016 notamment, la présence du *H. fraxineus* a été signalée dans le Piémont, dans le parc de La Mandria (Turin), ce qui a permis d'estimer une vitesse de propagation de la maladie en Italie d'environ 70 km/an. La Suisse a vécu une situation similaire : un premier signalement a été fait en 2008 dans la région de Bâle, puis la maladie s'est propagée arrivant à coloniser la quasi-totalité de l'aire de répartition du frêne en Suisse en 2015. Avant le lancement du projet MONGEFITOFOR, on ne savait pas si le champignon *H. fraxineus* était présent dans les massifs transfrontaliers des Alpes occidentales et centrales,

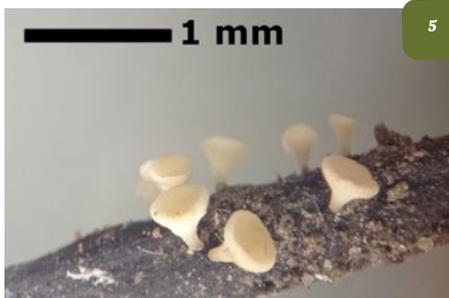
en particulier du côté italien. En effet, dans la Vallée d'Aoste, une campagne systématique de suivi phytosanitaire des frênes, l'une des activités qualifiantes de ce projet, n'avait pas encore été entreprise.

Le cycle biologique du *H. fraxineus* se déroule principalement sur les feuilles et les rachis de l'hôte. En fonction des conditions climatiques, l'agent pathogène se caractérise par des structures reproductrices typiques de certains champignons ascomycètes, appelées **apothécies (encadré 3)**.

## ENCADRÉ 3

### Les apothécies du *Hymenoscyphus fraxineus* : si petites mais si importantes !

Les apothécies sont des fructifications des champignons ascomycètes où les spores se différencient et mûrissent, pour être ensuite libérées. Dans le cas du *Hymenoscyphus fraxineus*, les apothécies se présentent comme de minuscules coupes blanchâtres, avec un réceptacle à peu près circulaire soutenu par un pédoncule qui se trouve à l'extérieur du substrat de croissance. Les apothécies sont très petites et, bien qu'elles soient visibles à l'œil nu, une loupe est souvent nécessaire pour observer leurs caractéristiques morphologiques. En effet, le diamètre du réceptacle varie de 1 à 5 mm, mais peut dépasser 8 mm dans certaines conditions. Cependant, surtout si l'apothécie n'est pas récemment formée ou si elle est déshydratée, sa taille peut se réduire bien en dessous d'un millimètre de diamètre et la coloration peut également apparaître plus foncée. L'épaisseur du réceptacle oscille entre 0,3 à 0,7 mm et est plus mince près des bords. Le pédoncule mesure jusqu'à 2 mm de long et a une épaisseur submillimétrique qui augmente près du réceptacle. Les apothécies de *H. fraxineus* se forment au niveau de la litière, sur le rachis et les pétioles des feuilles tombées au sol à la fin de la saison de croissance de l'année précédente (Figure 5). Les apothécies se forment principalement pendant les mois d'été, plus rarement dès la fin du printemps, et persistent généralement jusqu'à la fin du mois de septembre. Plusieurs dizaines ou centaines d'apothécies peuvent se former sur un même rachis, selon les cas. Les apothécies libèrent les spores matures du pathogène, qui sont essentielles pour les processus d'infection et l'apparition de la maladie



**FIGURE 5**  
APOTHÉCIES DE *HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS* SUR UN RACHIS PRÉSENT AU NIVEAU DE LA LITIÈRE. LE RACHIS DATE DE LA SAISON PRÉCÉDENTE, COMME LE MONTRE L'ÉTAT ALTERÉ DU TISSU. L'ÉCHELLE DE L'IMAGE MET EN ÉVIDENCE LA TAILLE MINUSCULE DES APOTHÉCIES.

Le **cycle biologique** du *H. fraxineus* commence principalement avec la production d'apothécies sur le rachis des feuilles infectées, et la formation, la maturation et la libération des **spores** de l'agent pathogène transportées par voie aérienne, provoquant l'infection et déclenchant les épidémies. Les spores sont les principaux vecteurs de transmission et de propagation d'une maladie chez les arbres sains et leur production et libération se concentrent généralement pendant l'été et l'automne, avec une pression d'inoculum maximale entre la mi-juillet et la première moitié du mois d'août. Les **spores** du *H. fraxineus* **sont invisibles** à l'œil nu, car elles sont unicellulaires et hyalines, avec une taille moyenne de quelques millièmes de millimètre (16-21 x 4-4,5 µm). Les spores sont **aéroportées**, donc transportées par le **vent**, puis se déposent sur les feuilles permettant ainsi à l'agent pathogène de pénétrer dans les tissus à travers les stomates.

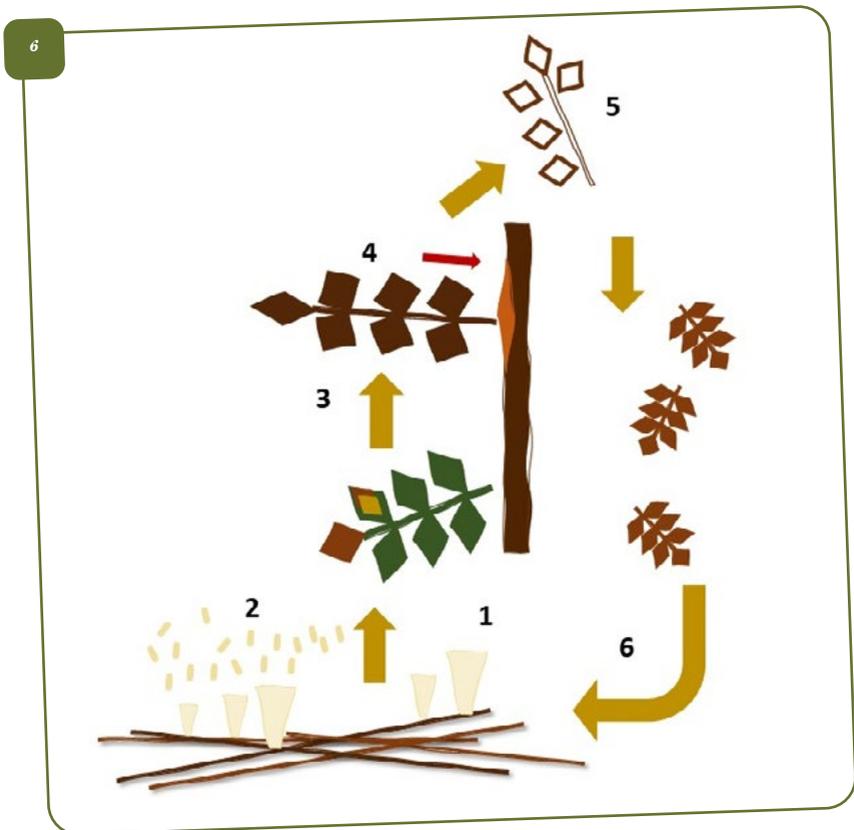
Avec le développement des hyphes dans les tissus de la feuille, le champignon **absorbe les nutriments** dont il a besoin, provoquant la **mort** progressive des **cellules** et des **tissus** de la feuille, ce que l'on appelle techniquement la **nécrose**. L'infection peut affecter les pétioles et les rachis, provoquant à nouveau le développement de zones

nécrotiques. Au fur et à mesure que le champignon colonise les tissus, les feuilles se dessèchent progressivement et finissent par tomber. Le mycélium du champignon peut également coloniser les tissus vivants présents sous la couche corticale des tiges et des branches, en particulier le cambium, provoquant alors une nécrose des tissus colonisés et des fissures longitudinales sur l'écorce (**chancres**), associées au dessèchement des branches, puis à des changements de couleur des tiges. La nécrose corticale peut se produire à la base du tronc et être ensuite colonisée par des agents de décomposition ou des pourritures racinaires (par exemple *Armillaria* spp.), laissant présager des risques futurs pour la stabilité de l'arbre. Le dessèchement progressif du feuillage se fait depuis les parties distales vers l'intérieur, un phénomène connu sous le terme anglo-saxon de **dieback** (**dépérissement**). Après la chute des feuilles, ces *H. fraxineus* produisent des structures de résistance (plaques pseudosclérotiques) qui permettent au champignon de rester viable, le protégeant ainsi de la dessiccation. L'année suivante, le cycle biologique du pathogène s'achève au sommet de ces structures, avec la différenciation de nouvelles apothécies et la production de spores qui pro-

voqueront de nouvelles infections. Le cycle biologique simplifié du *H. fraxineus* est illustré sur la (figure 6).

**FIGURE 6**

SCHEMATISATION DU CYCLE BIOLOGIQUE DU HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS : DIFFÉRENCIATION DES APOTHÉCIÉS SUR LE RACHIS DE L'ANNÉE PRÉCÉDENTE (1) ET LIBÉRATION DES SPORES (2). LES SPORES DÉPOSÉES À LA SURFACE DES FEUILLES, GERMENT ET INITIENT LE PROCESSUS INFECTIEUX DANS LE TISSU FOLIAIRE (3). PROGRESSIVEMENT, LE FEUILLAGE SE DESSÈCHE (DÉPÉRISSEMENT) (4) ET L'AGENT PATHOGÈNE PEUT ÉGALEMENT COLONISER LES BRANCHES PROVOQUANT DES NÉCROSES CAMBIALES ET DES CANCERS (4). APRÈS LA CHUTE DES FEUILLES (5), SUR LE RACHIS DES FEUILLES ACCUMULÉES AU NIVEAU DE LA LITIÈRE (6). LE *H. FRAXINEUS* PRODUIT DES PLAQUES PSEUDO-SCLÉREUSES QUI PERMETTENT AU CHAMPIGNON DE RESTER VIABLE ET, L'ANNÉE SUIVANTE, DE COMPLÉTER LE CYCLE BIOLOGIQUE AVEC LA DIFFÉRENCIATION DE NOUVELLES APOTHÉCIÉS.



## SRVEILLANCE DU DÉPÉRISSEMENT DU FRÊNE

Une campagne de *surveillance phytosanitaire* systématique du frêne a été menée dans le cadre du projet MONGEFITOFOR par le biais d'une série d'*enquêtes forestières* avec la collecte d'*échantillons biologiques* ensuite *analysés en laboratoire*. En ce qui concerne plus particulièrement la chararose du frêne, les mesures suivantes ont été prises :

- Effectuer une évaluation qualitative et quantitative des *symptômes* du frêne dans des peuplements représentatifs des zones transfrontalières italo-suissees ;
- *Diagnostiquer* la présence, estimer l'incidence et déterminer la distribution spatiale de *H. fraxineus*, en évaluant également sa capacité de sporulation ;
- Vérifier l'absence d'autres problèmes phytosanitaires.

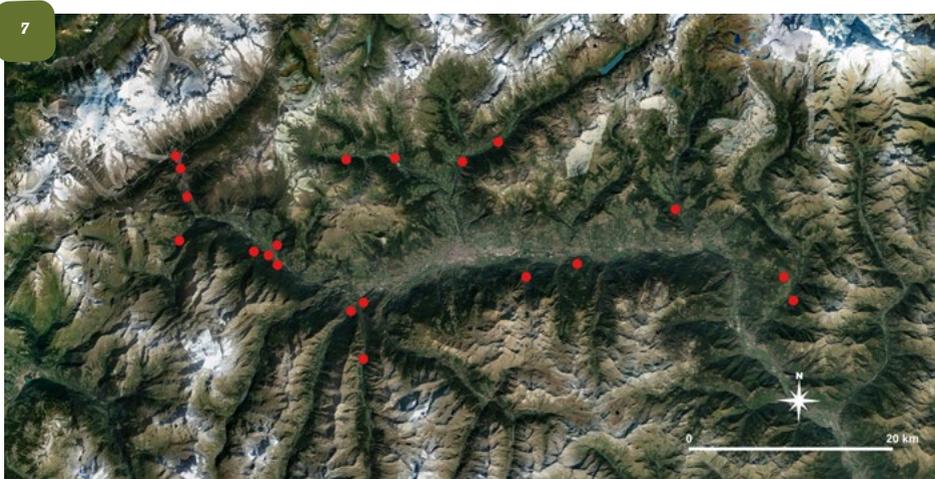
Afin de sélectionner les sites à surveiller, une caractérisation préliminaire des frênaies a été effectuée sur la base du recensement des types de forêts et des données détenues par le Corps forestier de la Vallée d'Aoste. La présence et la distribution de *H. fraxineus* étant déjà largement connues en Suisse, le suivi a été mené dans les zones de la Valée

d'Aoste. D'autres opérations de sélection ont été effectuées en adoptant une série de critères pour combiner les exigences technico-scientifiques avec les aspects logistiques et administratifs, en privilégiant les sites :

- situés dans toute l'aire de répartition naturelle des frênes de la vallée d'Aoste, tant sur le plan latitudinal que sur le plan longitudinal ;
- situés à des altitudes où poussent les frênes dans la région ;
- équilibrés en termes d'exposition des versants ;
- situés sur des versants de différentes inclinaisons ;
- accessibles car desservis par des routes ;
- de préférence de propriété publique ou appartenant à un consortium.

La surveillance de la présence de la chararose du frêne sur le territoire valdôtain a duré deux ans (2020-2021), avec des analyses de terrain pendant l'été, de fin juillet à début septembre. Une caractérisation a été effectuée sur les 20 sites sélectionnés (**figure 7**), pour acquérir des variables dendrométriques et phytopathologiques pertinentes (**figure 8**), avec notamment une analyse visuelle de

la symptomatologie potentiellement associée à la chalarose causée par le champignon *H. fraxineus*.



**FIGURE 7**  
CARTE DES SITES, SURLIGNÉS EN ROUGE, OÙ UN SUIVI PHYTOSANITAIRE A ÉTÉ RÉALISÉ SUR LES FRÊNES DANS LE CADRE DU PROJET MONGEFITOFOR. EN ARRIÈRE-PLAN, IMAGE SATELLITE DES ZONES TRANSFRONTALIÈRES ITALO-SUISSSES CONCERNÉES PAR LE PROJET (SOURCE : GOOGLE MAPS, 2023).

**FIGURE 8**  
ACQUISITION DES VARIABLES UTILES À LA CARACTÉRISATION DENDROMÉTRIQUE ET À L'ÉVALUATION DE L'ÉTAT DE SANTÉ GÉNÉRAL DU FRÊNE. SUR L'IMAGE, L'OPÉRATEUR ÉVALUE LA HAUTEUR DE L'ARBRE ET LA GRAVITÉ DES SYMPTÔMES DU FEUILLAGE, POTENTIELLEMENT ASSOCIÉS À LA CHALAROSE CAUSÉE PAR L'HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS.

Au cours des inspections, des échantillons biologiques ont été prélevés sur les tissus foliaires et/ou ligneux des frênes en végétation, ou sur la litière, en vérifiant dans ce dernier cas la présence d'apothécies attribuables au *H. fraxineus* sur le rachis de l'année précédente (**figure 9**). La présence et l'abondance des spores du pathogène dans l'air ont également été analysées à l'aide d'**échantillonneurs volumétriques** spéciaux situés sur certains sites spécifiques précédemment identifiés

(**figure 10**). Les échantillons ont ensuite été confiés aux **laboratoires de pathologie végétale forestière et de biotechnologie forestière** du département des sciences agricoles, alimentaires et forestières (DISAFA) de l'université de Turin, où ils ont été analysés à l'aide de **techniques de diagnostic microbiologique et moléculaire**. Les analyses ont permis de vérifier la présence du *H. fraxineus*, de quantifier son incidence et de tester sa capacité de sporulation (**encadré 4**).

9A



9B



**FIGURE 9**  
PRÉLEVEMENT D'ÉCHANTILLONS BIOLOGIQUES DANS LA FORÊT. L'ÉCHANTILLONNAGE A ÉTÉ RÉALISÉ EN PRÉLEVANT DES TISSUS FOLIAIRES ET/OU DE BOIS SUR DES FRÊNES EN VÉGÉTATION (A), OU EN INSPECTANT LA LITIÈRE À LA RECHERCHE DE RACHIS DE L'ANNÉE PRÉCÉDENTE AVEC LA PRÉSENCE D'APOTHÉCIÉS MORPHOLOGIQUEMENT IDENTIFIABLES À L'HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS (B).

**FIGURE 10**  
MONTAGE D'ÉCHANTILLONNEURS VOLUMÉTRIQUES POUR LA SURVEILLANCE DES SPORES D'HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS EN SUSPENSION DANS L'AIR (A) ET IMAGE DÉTAILLÉE DE L'ÉCHANTILLONNEUR (B). ALIMENTÉ PAR DES PANNEAUX SOLAIRES ET COUPLÉ À UN THERMOMÈTRE PLUVIOMÈTRE ET UN ANÉMOMÈTRE, L'ÉCHANTILLONNEUR ASPIRE L'AIR À INTERVALLES RÉGULIERS, CAPTURANT LES SPORES DE L'AGENT PATHOGÈNE ÉVENTUELLEMENT PRÉSENTES, QUI ADHÈRENT À UNE BANDE ROTATIVE PÉRIODIQUEMENT REMPLACÉE ET ANALYSÉE EN LABORATOIRE.

10A



10B



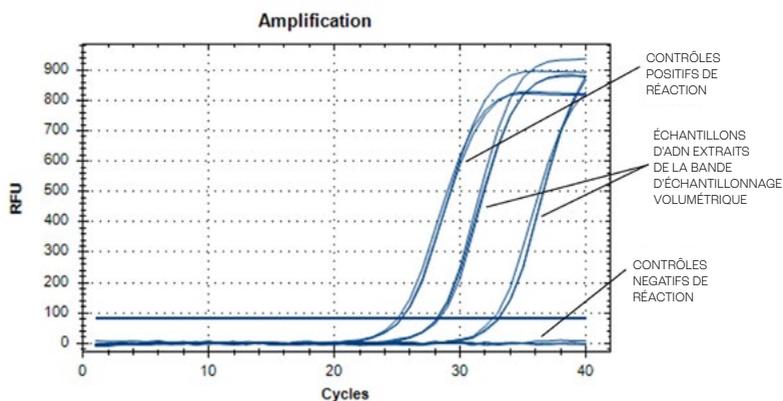
## BOX 4

### **Diagnostic du *Hymenoscyphus fraxineus* en laboratoire**

*L'Hymenoscyphus fraxineus* est un champignon ascomycète et donc un micro-organisme pour lequel le diagnostic ne peut pas être effectué simplement en forêt avec des méthodes expéditives, mais nécessite une analyse en laboratoire. Si l'observation des symptômes sur le terrain permet d'identifier la présence d'un problème phytosanitaire et de formuler quelques hypothèses sur ses causes possibles, le diagnostic de laboratoire permet de confirmer à la fois la présence de l'agent pathogène et son identité. Différents tests de diagnostic ont été réalisés dans le cadre du projet MONGEFITOFOR, certains avec des techniques classiques de microbiologie et de microscopie, y compris des tests d'isolement microbien. Après avoir prélevé des échantillons de tissus végétaux symptomatiques, ou apothécies, les techniciens de laboratoire travaillent dans un environnement stérile et placent certains fragments de l'échantillon en culture sur des substrats spécifiques, dans le but d'obtenir des cultures *in vitro* du micro-organisme pathogène. Les colonies obtenues peuvent être soumises à des analyses microscopiques ou moléculaires afin de déterminer l'identité du micro-organisme.

L'isolement microbien peut parfois s'avérer inefficace pour certains micro-organismes et, dans ce cas, il peut être utile de recourir à des techniques plus sophistiquées basées sur l'extraction et l'analyse de l'ADN, une technique qui peut être réalisée sur différents types d'échantillons (tissus de l'hôte ou éléments constitutifs du pathogène, tels que le mycélium ou les apothécies, spores capturées sur

la bande de l'échantillonneur volumétrique, etc. Des analyses ultérieures, telles que la PCR en temps réel (qPCR), permettent de vérifier la présence d'ADN d'*H. fraxineus* et de le quantifier. Dans le cadre du projet MONGEFITOFOR, les analyses PCR en temps réel (**Figure 11**) ont été essentielles pour diagnostiquer la présence, l'incidence, la distribution spatiale et la capacité de sporulation du *H. fraxineus*.



**FIGURE 11**  
EXEMPLES DE COURBES D'AMPLIFICATION OBTENUES À PARTIR DE L'ANALYSE PCR EN TEMPS RÉEL DE CONTRÔLES DE RÉACTION POSITIFS, D'ADN EX-

TRAIT D'ÉCHANTILLONS ENVIRONNEMENTAUX ET DE CONTRÔLES DE RÉACTION NÉGATIFS. LES ÉCHANTILLONS SÉLECTIONNÉS ONT RÉVÉLÉ LA PRÉSENCE D'ADN D'*HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS*.

## COMPRENDRE LES SYMPTÔMES DE LA CHALAROSE DU FRÊNE

La surveillance phytosanitaire du frêne réalisé dans le cadre du projet MONGEFITOFOR a permis d'évaluer l'état de santé général de cette espèce, en véri-

fiant la présence de symptômes attribuables à la chalarose causée par le champignon *H. fraxineus*. Les symptômes constatés dans la Vallée d'Aoste semblent correspondre non seulement aux indications de la littérature scientifique, mais aussi à la situation qui semble affecter les formations forestières abritant des frênes, du moins sur

la base de quelques enquêtes récentes menées dans cette région (cf. Ebone et al., 2023). Le suivi a permis d'identifier plusieurs types de symptômes sur les feuilles, les branches et les troncs des frênes, à la fois sur les jeunes arbres et les arbres adultes, comme décrit ci-dessous.

En fonction de l'évolution probable de la chalarose, on peut supposer qu'à un stade précoce de la maladie, l'un des symptômes est la **perte de turgescence** des feuilles, notamment celles situées dans les parties distales des branches, avec une **fanaison** progressive qui cependant, est un symptôme non spécifique, puisqu'elle peut être le résultat de plusieurs facteurs biotiques ou abiotiques non liés aux infections par *H. fraxineus*. Le plus souvent, on peut observer des **marbrures** sur les feuilles, provoquées par la mort de cellules et de parties entières du limbe, un phénomène techniquement appelé **nécrose** (figure 12). Les zones nécrosées, plus ou moins irrégulières et plus ou moins grandes, présentent généralement une **couleur sombre**. À la limite de la nécrose, ou dans les parties du limbe infectées mais non encore nécrosées, une décoloration et un **jaunissement** plus ou moins localisés ou diffus des feuilles peut se produire, un symptôme appelé **chlorose** (figure 12). Lorsque la partie du

limbe affectée par la nécrose est particulièrement importante, cela peut provoquer des **déformations** (figure 13). Les feuilles déformées apparaissent comme froissées en raison d'une croissance irrégulière. La nécrose peut également s'étendre aux pétioles et aux rachis qui deviennent bruns. Il n'est pas rare que les feuilles du frêne se dessèchent et restent sur les branches pendant un certain temps, pour arriver à une **phylloptose anticipée** (figure 14).

**FIGURE 12**

EUILLES DE FRÊNE SYMPTOMATIQUES, PRÉSENTANT DES TACHES NÉCROTIQUES ET UN JAUNISSEMENT CHLOROTIQUE SUITE À UNE INFECTION PAR HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS.

**FIGURE 13**

FEUILLES DE FRÊNE DÉFORMÉES PAR DES TACHES NÉCROTIQUES IMPORTANTES DUES À LA PRÉSENCE DU HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS.

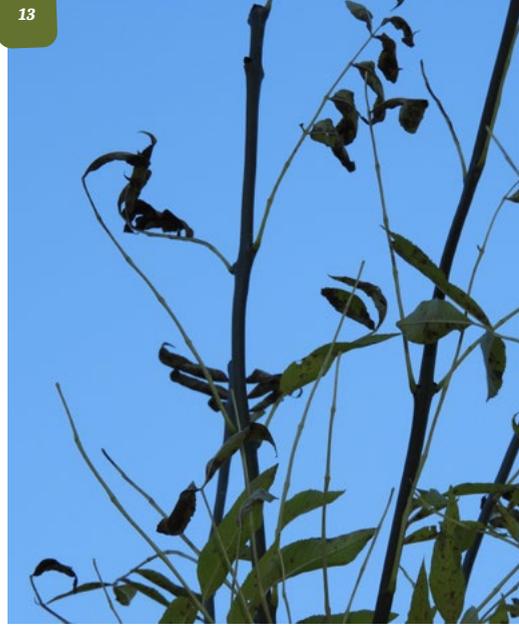
**FIGURE 14**

PHYLLOPTOSE ANTICIPÉE CHEZ DES FRÊNES PRÉSENTANT DES SYMPTÔMES DE CHALAROSE PROVOQUÉE PAR L'HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS. EN ÉTÉ, LES FEUILLES TOMBÉES PRÉMATURÉMENT SONT DÉJÀ VISIBLES DANS LA LITIÈRE SUITE À L'INFECTION PAR LE PATHOGÈNE.

12



13



14



Les branches peuvent également présenter une **nécrose cambiale**, le cambium étant un tissu vital dont la fonction principale est de permettre la croissance diamétrale des organes ligneux (**figure 15**). La mort localisée du cambium empêche la croissance diamétrale des branches affectées et donc provoque l'apparition de **dépansions** sur leur surface (**figure 15**). Par la suite, le même phénomène conduit à l'apparition de **chancres**, c'est-à-dire de fissures et de fentes dans l'écorce et les tissus sous-jacents, qui se développent parallèlement au sens de la branche (**figures 15 et 16**). En règle générale, la partie distale de la branche affectée par le cancer a tendance à se dessécher. Le tronc principal ou les drageons matures peuvent présenter une **décoloration** de l'écorce qui, dans des conditions normales, est vert olive chez les jeunes arbres, mais devient gris-brun chez les arbres matures, tandis que les frênes symptomatiques présentent des zones brunes avec des nuances brun-rouge (**figure 17**). Le tronc principal peut également présenter des **lésions cancéreuses** au niveau de l'agent pathogène du cambium.

**FIGURE 15**

BRANCHE DE FRÊNE SUR LAQUELLE UNE INCISION A ÉTÉ PRATIQUÉE, EN ENLEVANT L'ÉCORCE ET LA PARTIE LA PLUS EXTERNE DES TISSUS LIGNEUX SOUS-JACENTS. DANS LA PARTIE SUPÉRIEURE DE L'IMAGE, ON PEUT OBSERVER LA PRÉSENCE DU CAMBIUM, VISIBLE SOUS LA FORME D'UNE FINE COUCHE VERTE IMMÉDIATEMENT SOUS L'ÉCORCE (1). AU CENTRE DE L'IMAGE, ON OBSERVE UNE ZONE DÉPRIMÉE, SOUS LAQUELLE LE CAMBIUM N'EST PLUS VERT, MAIS ASSOMBRI PAR L'ALTÉRATION CAUSÉE PAR L'HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS (2). EN DESSOUS, ON PEUT VOIR LA PRÉSENCE DE CHANCRES, DES FISSURES LONGITUDINALES LE LONG DE LA BRANCHE (3).

**FIGURE 16**

SYMPTÔMES DE CANCER SUR UNE JEUNE BRANCHE DE FRÊNE VICTIME DE DÉPÉRISSEMENT SUITE À UNE INFECTION PAR HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS.

**FIGURE 17**

CHANGEMENTS DE COULEUR DU TRONC D'UN FRÊNE EN TRAIN DE SE DESSÉCHER.

15



16



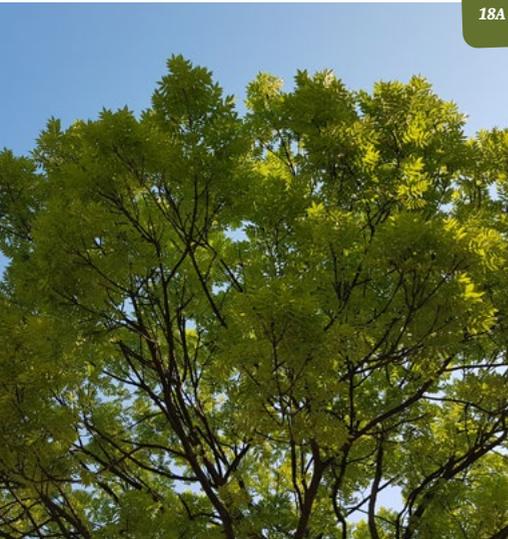
17



La phylloptose et les cancers provoquent l'apparition d'un symptôme de dépérissement connu sous le nom de **transparence du houppier** (**figure 18**) se traduisant par une **perte** progressive de la densité du feuillage qui, dans le cas des frênes infectés par le champignon *H. fraxineus*, a une évolution caractéristique (**figure 18**). En effet, comme nous l'avons déjà mentionné, le pathogène *H. fraxineus* provoque un phénomène connu sous le nom de **dieback**, un terme anglo-saxon intraduisible qui indique essentiellement une dessiccation progressive du feuillage lié à la phylloptose puis la mort (*die-*) des branches qui progresse à reculons (*-back*), en commen-

çant par l'extérieur du feuillage et en avançant progressivement vers l'intérieur (en termes non techniques, on parle parfois d'une "descente du feuillage" pour décrire ce phénomène) (**figure 18**). Les frênes dépérissants peuvent tenter de réagir en émettant de nouvelles pousses dont la prolifération au fil du temps provoque une altération importante de l'architecture du houppier (**figure 18**). L'évolution du dépérissement se termine souvent par la **mort de l'arbre**, qui reste debout, desséché, pendant des périodes plus ou moins longues (**figure 18**), jusqu'à sa chute. La **rupture mécanique** de l'arbre n'est pas une conséquence immédiate de l'action du *H. fraxineus*, mais se

18A

**FIGURE 18**

RECONSTITUTION DE L'ÉVOLUTION TYPIQUE DU DÉPÉRISSEMENT CAUSÉ PAR L'AGENT PATHOGÈNE HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS. UN FRÈNE NON INFECTÉ PRÉSENTE UN FEUILLAGE ASYMPTOMATIQUE, ÉPAIS ET VIGOREUX (A). APRÈS L'INFECTION, LES PREMIERS SYMPTÔMES SONT UN ÉCLAIRCISSEMENT PROGRESSIF DE LA COURONNE, AFFECTANT D'ABORD LES PARTIES DISTALES DES BRANCHES, PUIS L'EXTÉRIEUR DE LA COURONNE (B) DONT LA TRANSPARENCE AUGMENTE PROGRESSIVEMENT SUITE À UNE PHYLLOPTOSE ANTICIPÉE IMPORTANTE (C). L'ÉVOLUTION DE LA MALADIE PROVOQUE UN APPAUVRISSEMENT SIGNIFICATIF DE LA COURONNE, ET UN DESSÈCHEMENT DES RAMEAUX ET DES BRANCHES PRINCIPALES (D). L'ARCHITECTURE DU FEUILLAGE APPARAÎT ALTÉRÉE, AVEC UNE RÉDUCTION DES BRANCHES SECONDAIRES ET LA RÉAPPARITION CONCOMITANTE DE POUSSES ÉPICORMIQUES À PROXIMITÉ DES BRANCHES PRINCIPALES (E). À UN STADE AVANCÉ DE LA MALADIE, LE VOLUME DU FEUILLAGE EST EXTRÊMEMENT RÉDUIT ET SE CONCENTRE DANS LES PARTIES INFÉRIEURES ET INTÉRIEURES : C'EST CE QUE L'ON APPELLE LA "DESCENTE DU FEUILLAGE" (F). L'ISSUE DU DÉPÉRISSEMENT EST SOUVENT FATALE (G).

18B



18C



18D



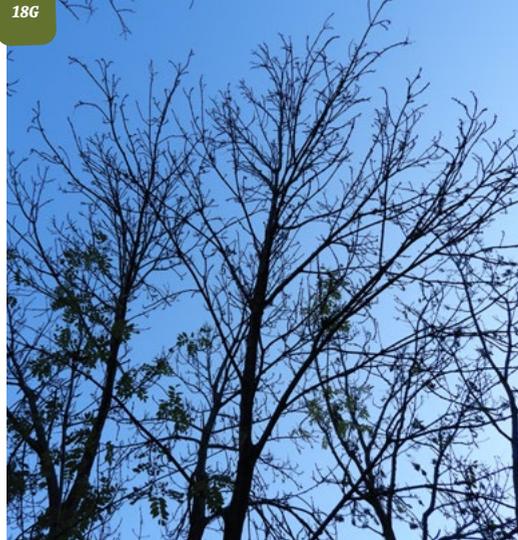
18E



18F



18G



produit à la suite de l'intervention d'autres facteurs tels que, par exemple, la dégradation des tissus ligneux par les champignons lignivores et les charges mécaniques dues au vent, aux précipitations ou à la pesanteur. La littérature scientifique indique cependant que les frênes, bien qu'appartenant à la même espèce, ne sont pas tous sensibles à la maladie de la même manière. Le suivi phytosanitaire réalisé dans le cadre du projet MONGEFITOFOR semble corroborer cette observation, puisqu'il n'est pas rare d'observer la coexistence d'arbres très malades et d'arbres totalement asymptomatiques. Cette différence marquée dans l'expression des symptômes, lors-

qu'elle est observée entre des arbres du même âge se trouvant à quelques mètres les uns des autres sur un site homogène en termes de conditions environnementales et stationnelles, peut être attribuable, de façon plausible, à des différences génotypiques plutôt qu'à une dynamique épidémiologique (par exemple, des infections survenant à des moments différents, une exposition différente à des facteurs de stress environnementaux), du moins dans la majorité des cas. Ce phénomène est connu sous le nom de **résistance** ou de **tolérance génétique** au pathogène et indique la possibilité pour les individus de ne pas contracter la maladie ou de manifester des symptômes net-

19



**FIGURE 19**  
FRÊNAIE D'INVASION COMPOSÉE DE JEUNES ARBRES POUSSANT DANS DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES ET CULTURELLES HOMOGÈNES. ON OBSERVE LA COEXISTENCE DE FRÊNES PRÉSENTANT LES SYMPTÔMES D'UNE SITUATION FORTEMENT COMPROMISE (PREMIER PLAN) ET D'AUTRES EN BON ÉTAT VÉGÉTATIF (ARRIÈRE-PLAN). CE PHÉNOMÈNE POURRAIT ÊTRE LIÉ À LA RÉSISTANCE OU À LA TOLÉRANCE GÉNÉTIQUE DES INDIVIDUS AU PATHOGENE HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS.

tement atténués (**figure 19**). Comme précédemment décrit, les apothécies de *H. fraxineus* diffèrent au niveau de la litière, mais il faut souligner qu'il existe plusieurs champignons ascomycètes pouvant former des structures reproductives morphologiquement similaires à celles du *H. fraxineus*, ce qui alimente le risque de **confusion entre les espèces**. De plus, si les apothécies sont déshydratées, peu développées ou trop vieilles, elles peuvent ne pas présenter leurs caractéristiques morphologiques spécifiques, ce qui ne facilite pas leur reconnaissance visuelle. Par exemple, dans le cadre du projet MONGEFITOFOR, des apothécies potentiellement attribuables au pathogène *H. fraxineus* ont été trouvées, mais après les avoir identifiées à l'aide de techniques moléculaires, elles se sont avérées appartenir à d'autres espèces non pathogènes (par exemple *Cyathicula fraxinicola*, *Hymenoscyphus scutula*). Rappelons que la majorité des espèces fongiques ne sont pas pathogènes, mais jouent un rôle **écologique** fondamental dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers, en contribuant au cycle des substances et des éléments organiques (comme les champignons saprotrophes), en créant des relations synergiques avec certaines espèces végétales (comme les champignons sym-

biotiques), ou en coexistant de manière neutre avec ces dernières sans leur causer de dommages (comme les champignons endophytes).

## **INCIDENCE, GRAVITÉ ET DISTRIBUTION DE LA CHALAROSE DU FRÊNE**

En examinant en détail les symptômes décrits dans le chapitre précédent, et notamment les symptômes manifestés par les frênes au niveau du feuillage, il a été possible de procéder à une estimation quantitative des niveaux d'incidence et de gravité de la chalarose du frêne dans la zone faisant l'objet d'un suivi phytosanitaire et de constater la présence généralisée de **nécroses** compatibles avec l'action du pathogène *H. fraxineus*. L'incidence de ce symptôme varie entre 3% et 92%, avec une valeur moyenne d'environ **34%**, soit environ 1/3 des feuilles échantillonnées affectées par des symptômes manifestes de nécrose dans le limbe. La **transparence du feuillage**, l'un des symptômes les plus indicatifs pour estimer l'impact de la chalarose sur la plante, était en moyenne d'environ **34%**, allant d'un minimum de 12% à un maximum de 68 % ; il s'agit d'une estimation quantitative du **pourcentage de**

**FIGURE 20**

FRÊNE ISOLÉ PRÉSENTANT DES SYMPTÔMES DE DÉPÉRISSEMENT (A) ; SUR LA PHOTO ON PEUT OBSERVER LA PARTIE PERDUE DU FEUILLAGE (B). LA LIGNE ROUGE INDIQUE LES VIDES CAUSÉS PAR LA PHYLLOPTOSE ET LE DESSÈCHEMENT DE LA PARTIE EXTERNE DE LA COURONNE, TANDIS QUE LES POINTS ROUGES INDIQUENT L'ÉCLAIRCISSEMENT NAISSANT OU AVANCÉ, PROGRESSANT VERS LE BAS ET VERS LES PARTIES LES PLUS INTERNES DE LA COURONNE. QUANTITATIVEMENT, LE POURCENTAGE DE TRANSPARENCE DU FRÊNE ICI REPRÉSENTÉ EST DE 45%



*feuillage perdu* en raison de la phylloptose anticipée et du dessèchement des branches (**figure 20**).

Au niveau du tronc, une décoloration à la base n'a été observée que sur 5 sites, tandis que des *lésions cancéreuses* ont été constatées dans toutes les forêts surveillées, bien qu'avec des moyennes faibles et un maximum de 2 lésions par arbre.

Dans l'ensemble, sur *tous les sites monitorés* des *symptômes de dépérissement* du frêne ont été détectés, bien que très différents en termes de caractéristiques stationnelles et de caractérisation dendrométrique. En

effet, les forêts monitorées se situent entre 785 mètres d'altitude et 1 480 mètres. La majorité d'entre elles (55%) se trouvent en haute vallée, le reste dans la moyenne (30%) et la basse vallée (15%), avec des dénivelés oscillant entre 0 et 100%. Les relevés dendrométriques ont montré que les frênes présents dans les zones du projet sont relativement jeunes, bien que les sites avec des arbres matures ne manquent pas. Les diamètres moyens à hauteur de poitrine varient de 5,99 ( $\pm$  2,04 cm) à 22,68 cm ( $\pm$  12,43 cm). Les données semblent donc suggérer que, même dans les zones transfrontalières italo-suisse, la chalarose du frêne est répandue et attaque des arbres de différentes classes d'âge sur des sites présentant différentes conditions stationnelles et environnementales. Le suivi phytosanitaire du frêne réalisé dans le cadre du projet MONGEFITOFOR a également révélé que dans la Vallée d'Aoste, la **chalarose du frêne** est non seulement présente mais **répandue**, affectant une grande partie de l'aire de distribution du frêne sur les collines et la basse montagne de la région. Les sites étudiés occupent en effet une vaste zone, s'étendant sur environ 60 km longitudinalement et 20 km latitudinalement, soit une zone topographique de 1200 km<sup>2</sup> avec une différence d'altitude

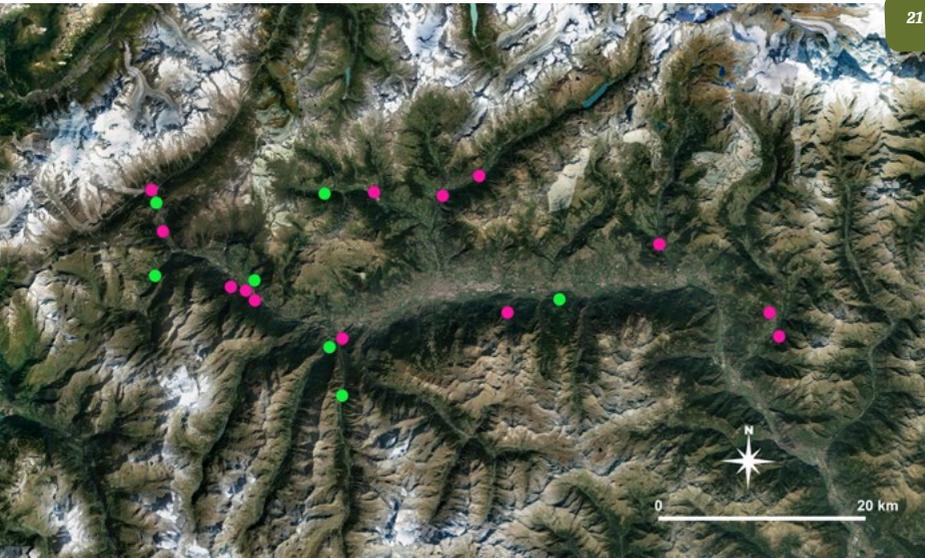
de 700 m.

## **PRÉSENCE, CAPACITÉ DE SPORULATION ET DISTRIBUTION SPATIALE DU PATHOGENE HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS**

Parallèlement à l'évaluation qualitative des symptômes du frêne et à l'estimation quantitative de l'impact de la maladie en termes d'incidence et de gravité, les activités du projet MONGEFITOFOR ont permis de diagnostiquer la présence du pathogène *H. fraxineus*, d'évaluer sa capacité de sporulation et de déterminer sa distribution spatiale. Les échantillons biologiques prélevés, y compris les apothécies, n'ont pas permis d'isoler des colonies du pathogène en laboratoire, un échec qui n'en implique cependant pas l'absence. En effet, certains champignons phytopathogènes établissent une relation si spécifique avec l'hôte qu'il est difficile de les séparer des tissus colonisés et de les cultiver sur des substrats artificiels, même si l'opération en laboratoire est réalisée conformément aux normes internationales les plus récentes (par exemple, le protocole spécifique pour *H. fraxineus* in-

clus dans une norme PM7 de l'Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes - OEPP). En revanche, le **diagnostic** réalisé à l'aide des **techniques moléculaires** précédemment décrites a révélé la **présence généralisée** du pathogène *H. fraxineus*, sur **65%** des **sites monitorés** (**figure 21**), avec une **incidence** (pourcentage d'arbres infectés) oscillant entre un minimum de **11%**, et un maximum pouvant atteindre **80%**. Il est intéressant de noter qu'une incidence croissante de *H. fraxineus* a été détectée en Vallée d'Aoste: plus faible en altitude (16 %), plus élevée à mi-altitude (35 %) et maximale (40 %) dans la val-

lée. Ce phénomène pourrait être lié à la dynamique épidémique (par exemple, le front d'invasion du pathogène suit une direction est-ouest d'origine du Piémont), ou dépendre des conditions environnementales et stationnelles, qui pourraient être plus favorables au pathogène dans la basse vallée. *H. fraxineus* a été diagnostiqué à partir d'échantillons de feuilles et de tissus ligneux, confirmant l'association entre les symptômes observés et la présence du pathogène. Les échantillonneurs volumétriques pour la surveillance des sporées aériennes de *H. fraxineus* ont montré que le pathogène est en mesure de spo-



ruler sur les sites faisant l'objet du suivi phytosanitaire, ce qui confirme que le champignon s'adapte aux conditions environnementales typiques des secteurs alpins du nord-ouest. L'automne semble être particulièrement favorable à la sporulation du pathogène, qui était plus abondant là où les frênes sont plus répandus.

Les résultats obtenus sont également très intéressants du point de vue pratique pour ce qui concerne les *options de suivi phytosanitaire*, pour lesquelles le projet MONGE-FITOFOR constitue une étude pilote pour les zones transfrontalières entre autres. En effet, en termes d'efficacité

diagnostique, les techniques basées sur la PCR en temps réel ont montré leur capacité à détecter le pathogène même lorsque les tests d'isolement microbien ont échoué. Il pourrait donc être avantageux, pour les futures campagnes de suivi, d'utiliser des approches de diagnostic moléculaire afin d'éviter de sous-estimer de manière significative l'incidence du pathogène.

**FIGURE 21**

CARTE DES SITES OÙ HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS A ÉTÉ DIAGNOSTIQUÉ SUITE AU SUIVI PHYTOSANITAIRE RÉALISÉ DANS LE CADRE DU PROJET MONGEFITOFOR. LES SITES OÙ L'AGENT PATHOGÈNE A ÉTÉ DÉTECTÉ SONT REPRÉSENTÉS EN FUCHSIA, LES AUTRES EN VERT. EN ARRIÈRE-PLAN, IMAGE SATELLITE DES ZONES TRANSFRONTALIÈRES ITALO-SUISSES CONCERNÉES PAR LE PROJET (SOURCE : GOOGLE MAPS, 2023).

## AUTRES PARASITES DU FRÊNE

Dans le cadre du suivi phytosanitaire, les chercheurs ne se sont pas limités à analyser les symptômes du frêne en relation avec la chalarose du *H. fraxineus*, mais ont également recherché la présence d'éventuels symptômes attribuables à d'autres agents pathogènes ou de dommages causés par des insectes phytophages.

En particulier, la pourriture du bois et la pourriture racinaire sont les maladies les plus susceptibles de provoquer des symptômes qui se recoupent au moins en partie avec ceux de la chalarose du frêne par *H. fraxineus*. Il faut toutefois tenir compte du fait que l'*H. fraxineus* entraîne généralement l'apparition de symptômes caractéristiques, notamment en raison de la "descente de la couronne" associée au dépérissement. En outre, il n'est pas rare que les **champignons lignivores** à l'origine des maladies susmentionnées apparaissent lorsque l'arbre est sénéscent ou déjà affaibli par l'action d'autres agents pathogènes, comme l'*H. fraxineus*. Pour diagnostiquer la présence éventuelle de champignons pathogènes lignivores, des échantillons de tissus de frêne positifs au *H. fraxineus* ont été soumis à une analyse mo-

léculaire plus poussée (Multiplex-PCR).

Les quatre pathogènes identifiés avec l'analyse par PCR multiplex sont les suivants : ***Laetiporus sulphureus*** dans 89% des échantillons testés, *Stereum* spp. dans 68%, ***Armillaria*** spp. dans 26% et *Pleurotus* spp. dans 5%. Le *Laetiporus sulphureus*, ou Polypore soufré, est un champignon basidiomycète, responsable de la pourriture brune qui infecte les arbres à feuilles caduques et les conifères. Les différentes espèces de champignons qui infectent aussi bien les feuillus que les conifères provoquant la pourriture blanche alvéolaire ou fibreuse, appartiennent au genre *Stereum*. Le genre *Armillaria* comprend des espèces connues pour leur capacité à dégrader le bois mort provoquant la pourriture blanche fibreuse précédemment mentionnée, mais aussi pour leur capacité à agir en tant que pathogènes (primaires ou affaiblissants). En effet, il est bien connu que les infections par *Armillaria* spp. sont particulièrement fréquentes sur des hôtes déjà affaiblis par des facteurs abiotiques ou biotiques. Enfin, le *Pleurotus* spp. est un basidiomycète saprotrophe, parfois responsable de la pourriture blanche sur les plantes vivantes. En termes de symptômes, cependant, aucun signe typique de la présence des pa-

thogènes susmentionnés n'a été détecté dans la forêt.

Les résultats semblent suggérer que *H. fraxineus* peut être associé à d'**autres agents pathogènes** et que, par conséquent, le dépérissement du frêne déclenché par les ascomycètes peut évoluer vers un syndrome plus complexe impliquant également des pourritures du bois et des pourritures racinaires.

## **INTERVENTIONS SYLVICOLES ET PHYTOSANITAIRES POUR LA GESTION DES PEUPELEMENTS DE FRÊNES DÉPÉRISSANTS**

La présence de plantes infectées par *H. fraxineus* présentant de graves symptômes, suggère l'adoption de mesures techniques appropriées pour compléter la gestion traditionnelle du frêne dans les plantations forestières multi-spécifiques ou monospécifiques, comme les frênaies d'invasion. Compte tenu de la variabilité synécologique, stationnelle et sylvicole qui caractérise les frênaies, indépendamment des criticités phytosanitaires existantes, il est impossible d'élaborer un protocole exhaustif couvrant les différents cas. Les connaissances acquises après un examen ap-

profondi de la littérature scientifique internationale et l'expérience accumulée dans le cadre du projet MONGEFITOFOR, grâce également à l'**échange** de compétences entre les partenaires du projet, ont cependant permis d'esquisser quelques **lignes directrices de gestion** pour préparer des **interventions sylvicoles** et **phytosanitaires** compatibles avec les fonctions et les services écosystémiques fournis par les frênaies. En particulier, la **conservation du frêne** est certainement un objectif prioritaire pour garantir la pérennité de l'espèce et des groupements végétaux dont elle fait partie, mais cet objectif ne peut se réaliser qu'après une évaluation minutieuse de l'état de santé de l'arbre, du peuplement dans son ensemble et des perspectives envisageables pour l'avenir.

En ce qui concerne les zones transfrontalières concernées par le projet MONGEFITOFOR, un schéma général d'intervention a été élaboré, tout en rappelant la nécessité d'évaluer au cas par cas les méthodes technico-opérationnelles les plus adaptées au site. Les lignes directrices doivent être considérées comme une boîte à outils, c'est-à-dire un ensemble d'outils pouvant être utilisés dans différents contextes, tout en conservant la flexibilité nécessaire à la gestion d'une espèce auxiliaire. Il convient de sou-

ligner que certaines des lignes directrices proposées sont le résultat d'observations empiriques et de conclusions tirées d'autres systèmes modèles, car il faudrait des dizaines d'années pour procéder à une évaluation expérimentale des différentes options. Les lignes directrices sont présentées sous forme de points : en partant du point 1, l'utilisateur évalue la congruence des scénarios décrits avec la situation observée dans la forêt et sélectionne au fur et à mesure l'option la plus appropriée. L'option choisie conduit au point suivant à considérer (→) et l'opérateur procède ainsi de suite jusqu'à arriver aux lignes directrices opérationnelles à adopter.

1. Évaluer si le frêne est en **bon état** (→2), ou si, et dans quelle mesure, l'espèce présente une souffrance avec des symptômes attribuables à la **chalarose** par *H. fraxineus* (→3);

2. Les interventions proposées si le frêne est en bon état dépendent des conditions environnementales et culturelles du site, comme l'indiquent les scénarios suivants.

Si les caractéristiques environnementales et culturelles du site sont compatibles avec les besoins autoécologiques du frêne et avec une perspective de conservation à long terme de

l'espèce, et si l'état général du peuplement semble équilibré, il peut être opportun d'opter pour le scénario suivant :

a. adopter une stratégie de **non-intervention** car une gestion active ne semble pas justifiée face à une situation conforme aux attentes, ou parce que les conditions technico-opérationnelles pour l'ouverture d'un chantier forestier rationnel ne sont pas réunies. Si, par contre, l'objectif est d'**augmenter l'abondance des frênes** et qu'il est possible de mettre en place un chantier forestier rationnel, les indications données dans le scénario (→2b);

En revanche, si les caractéristiques climatiques, édaphiques, écologiques, synécologiques ou structurelles ne correspondent pas tout à fait à la végétation optimale du frêne, trois possibilités d'intervention s'offrent à nous :

b. Mise en place d'**opérations sylvicoles standard** pour modifier les conditions stationnelles en faveur des besoins du frêne. Le site se prête à l'exécution rationnelle d'opérations sylvicoles techniquement et logistiquement durables (par exemple, présence de routes forestières). Les interventions (éclaircies, coupes successives,

établissement de noyaux artificiels de régénération) visent dans ce cas à **réguler la composition** spécifique, à modifier la **structure** horizontale et verticale et à atténuer la **concurrence** intra- et interspécifique, au profit des frênes libérés. Ces interventions agissent directement ou indirectement sur la disponibilité des facteurs écologiques essentiels (lumière, eau, nutriments, etc.) et doivent être mises en œuvre dans le but de **conserver le frêne** et en augmenter si possible la couverture, tout en maintenant une composition plurispécifique équilibrée;

**c.** Le frêne semble ne pas s'adapter aux caractéristiques du site et bien que les conditions stationnelles puissent probablement être modifiées par des opérations sylvicoles standard, celles-ci ne semblent pas être efficaces pour le frêne dans une perspective de conservation à long terme (par exemple, site trop aride, sol pas assez résistant). Si le site se prête à l'exécution rationnelle d'opérations sylvicoles, des interventions devraient alors être conçues et mises en œuvre pour guider le **peuplement** en favorisant les espèces indigènes plus adaptées aux conditions stationnelles.

**d.** Le site se situe dans l'un

des scénarios décrits aux points 2b ou 2c, mais ne se prête pas à l'établissement d'un site forestier rationnel. Dans ce cas, la **libre évolution** est indiquée.

**3.** En présence de frênes maulades, les interventions proposées varient en fonction du degré de couverture des frênes, de la répartition dans le peuplement des plantes dépérissantes et de la gravité des symptômes, comme l'indiquent les scénarios ci-dessous.

**a. Présence sporadique du frêne** n'atteignant pas 15 % de la couverture, sans noyaux significatifs de l'espèce. Les frênes présentent également des symptômes de dépérissement naissants, manifestes ou avancés. Dans ces conditions, même si le site se prête à l'ouverture d'un chantier forestier, la présence réduite du frêne et l'issue incertaine de l'évolution du dépérissement ne justifient pas des interventions culturales et phytosanitaires pour la conservation de l'espèce. Par conséquent, en fonction des conditions stationnelles, il est possible d'appliquer les lignes d'action (→**2c**) ou (→**2d**).

**b.** Les frênes représentent au moins **15% des espèces présentes** ou bien sont locale-

ment présents en groupes ou en **noyaux importants** de 5 à 10 individus ou souches. Les frênes présentent des **symptômes naissants** de dépérissement, la transparence de la couronne n'est pas excessive et se situe en moyenne autour de 20 %. En termes de gravité de la maladie, les différences entre les arbres ne semblent pas trop évidentes et l'impact de la maladie semble assez uniforme. Il n'y a pas de frênes morts ou, s'ils sont présents, ils sont rares et sporadiques. Dans ce cas, il est conseillé d'**attendre** 1 à 3 ans et de réévaluer la situation en fonction de l'évolution du dépérissement et des symptômes. Si, à ce moment-là, les conditions phytosanitaires ne se dégradent pas de manière significative (→2), sinon (→3c).

c. Les frênes représentent au moins **15% de la couverture** ou sont localement présents en groupes ou en **noyaux importants** de 5 à 10 individus ou souches. Mais dans ce cas, les **symptômes** de dépérissement sont **manifestes**, l'impact de la maladie est évident, la transparence de la couronne est en moyenne supérieure à 20 %, et des frênes gravement **compromis** sont systématiquement présents, certains d'entre eux étant presque complètement desséchés ou

morts. Néanmoins les symptômes sont hétérogènes parmi les frênes présents sur le site avec des **différences appréciables** en termes de gravité de la maladie. Il est possible d'identifier les **frênes** dominants ou ceux ayant des chances réelles de devenir dominants, avec des symptômes nettement meilleurs que ceux des frênes environnants (**frênes**). Les frênes+ sont des arbres asymptomatiques ou présentant des symptômes mineurs, dont la transparence de la couronne ne dépasse en aucun cas 25 %. Les interventions de gestion viseront donc à **préserver** et à améliorer l'état végétatif et cultural des frênes+ et seront mises en œuvre principalement selon le scénario discuté au point 2a ci-dessus. En effet, les frênes+ pourraient être asymptomatiques à cause de leur profil génétique et donc être **résistants** ou **tolérants** au pathogène *H. fraxineus*. Leur dissémination et l'amélioration de leur vigueur végétative assurent non seulement la préservation de la composante frêne présente sur le site, mais encouragent également sa régénération future. La descendance des frênes+ peut en effet hériter de traits génétiques favorables liés à la résistance ou à

la tolérance aux pathogènes. A long terme, en persévérant dans les pratiques de gestion en faveur des frênes+, on pourrait observer l'établissement de populations de moins en moins sensibles au *H. fraxineus* et ainsi **limiter l'impact** de la chalarose. Si on constate une faible régénération naturelle des frênes+ ou si la régénération présente montre des signes évidents de souffrance, il peut être utile de procéder à des éclaircissements ciblés afin de favoriser l'installation, l'enracinement et la vigueur des semis de frênes+. Toutefois, si l'ouverture des **houppiers** ou la plantation de **semis** se révèlent irréalisables, ou si, une fois adoptées, elles ne donnent pas les résultats escomptés, il est possible de proposer la plantation de **noyaux artificiels de régénération**. Les plants à utiliser pour ces interventions doivent appartenir à des frênes+ provenant d'autres sites et quoi qu'il en soit ne doivent présenter aucun symptôme de maladie au moment de la plantation. L'introduction de génotypes autochtones, mais non présents sur le site de plantation, augmente également la **variabilité** génétique des frênes du site, ce qui peut accroître leur **résilience**. Cependant, les interventions

culturelles visant à favoriser les frênes+ devront être accompagnées d'un **abattage phytosanitaire ciblé** des frênes qui, où qu'ils soient, dans le plan dominant ou dominé, sont fortement compromis par la maladie et présentent un niveau de dépérissement complet, avec une transparence du houppier de plus de 25%. Leur élimination vise principalement à **prévenir de nouvelles infections** en réduisant progressivement le substrat disponible pour la production d'apothécies de *H. fraxineus*, constitué principalement par les rachis. L'élimination des frênes-empêche l'accumulation d'autres rachis dans les années à venir, et permet de réduire la pression de l'inoculum sur le site. A long terme, une production réduite de spores infectieuses devrait améliorer progressivement l'état de santé du frêne. En outre, les frênes enlevés- ne peuvent plus transmettre des caractéristiques génétiques potentiellement défavorables à leur descendance, car elles sont corrélées à une éventuelle sensibilité accrue au *H. fraxineus*. Leur élimination contribue également à améliorer la stabilité du peuplement. S'il n'y a pas d'arbres présentant les caractéristiques

nécessaires pour être considérés des frênes,+ (→3d).

d. En l'absence de frênes présentant des caractéristiques adéquates pour permettre la conservation de l'espèce sur le site et compte tenu des symptômes d'une situation fortement compromise en raison de l'impact significatif du dépérissement, il faut envisager l'option de l'**évolution libre** ou bien procéder à un **abattage phytosanitaire** ciblé tel que décrit au point 3c, suivi par la plantation de **noyaux de régénération artificiels** avec des semis de frênes+ provenant d'autres sites. Il peut s'avérer nécessaire d'attendre quelques années entre l'enlèvement des frênes- et la plantation des noyaux, afin de permettre une dégradation progressive de la litière et ainsi réduire progressivement la production d'*H. fraxineus* apotecii.

Les lignes directrices décrites sont résumées dans le diagramme de la **figure 22**.

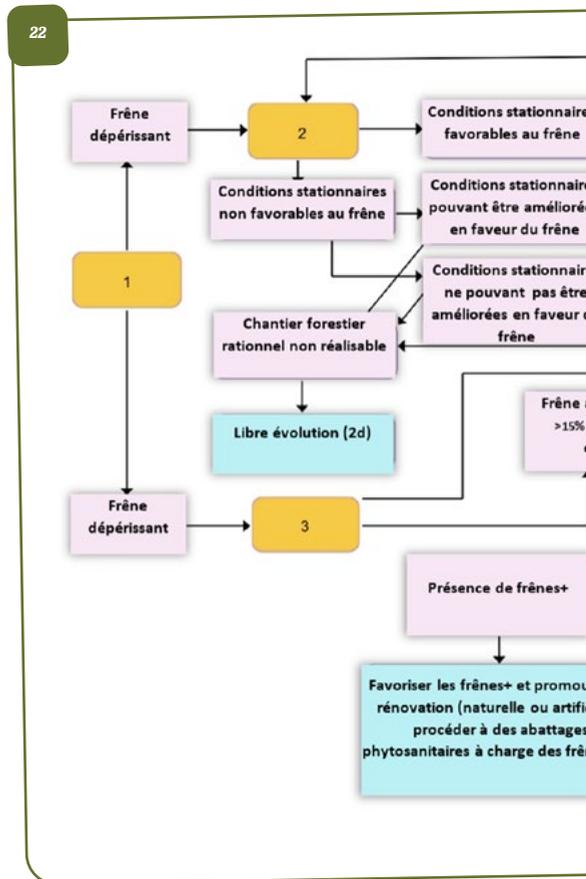
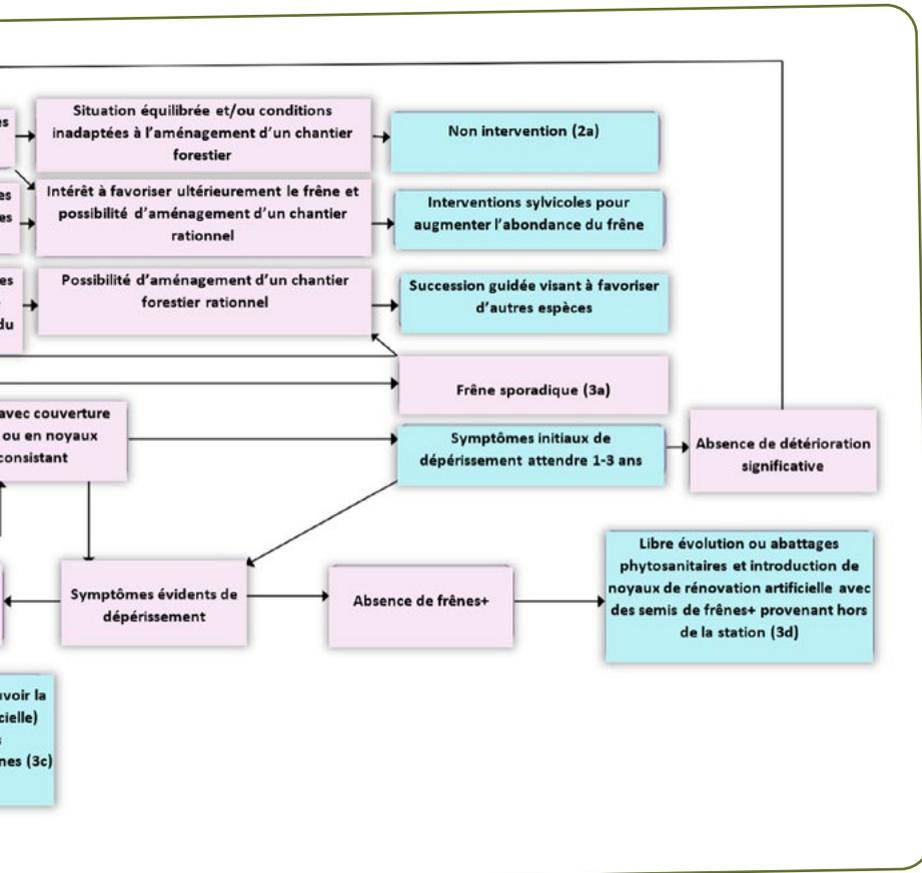


FIGURE 22

DIAGRAMME D'APPLICATION DES DIRECTIVES DE GESTION SYLVICOLE ET PHYTOSANITAIRE DU FRÊNE. LES CASES ORANGE CORRESPONDENT AUX DIFFÉRENTS ENSEMBLES DE SCÉNARIOS ALTERNATIFS ET D'ACTIONS POSSIBLES, LES CASES ROSES INDICENT LES CONDITIONS QUI DOIVENT ÊTRE REMPLIES À CHAQUE FOIS POUR ABOUTIR À UNE STRATÉGIE OPÉRATIONNELLE, CES DERNIÈRES ÉTANT RÉSUMÉES DANS LES CASES BLEUES. LES NUMÉROS INDICUÉS DANS LES CASES CORRESPONDENT AUX OPTIONS DÉCRITES EN DÉTAIL DANS LE TEXTE. POUR UTILISER LE SCHEMA, EN PARTANT DE LA CASE 1, SÉLECTIONNEZ À CHAQUE ÉTAPE LA FLÈCHE QUI MÈNE À LA CASE SUIVANTE QUI DÉCRIT LE MIEUX LA SITUATION OBSERVÉE DANS LA FORÊT.



Outre les lignes directrices, certains **aspects phytosanitaires** allant au-delà des scénarios stationnaires spécifiques doivent également être pris en compte.

En présence de frênes symptomatiques, il peut être nécessaire de surveiller l'évolution possible de la maladie et la présence d'autres parasites, comme les champignons responsables de la pourriture du bois et de la pourriture racinaire. En effet, les menaces qui pèsent sur la stabilité mécanique de l'arbre peuvent être importantes lorsque les frênes poussent dans des environnements artificiels ou sont exploités. Un **abattage phytosanitaire** ciblé peut alors s'avérer nécessaire pour **protéger les biens et les personnes** des dommages éventuels causés par la chute de l'arbre. En revanche, dans d'autres contextes, le même danger lié à la stabilité de l'arbre peut ne pas être pertinent, mais représenter un élément de la dynamique forestière de l'écosystème. C'est le cas, par exemple, des arbres destinés à constituer une nécromasse utile au cycle des substances organiques, ou à former des micro-habitats pour différentes espèces dans les forêts à vocation essentiellement écologique.

En ce qui concerne l'évolution de la chalarose ou l'apparition

de nouveaux foyers de la maladie, il convient de noter que certaines interventions proposées pour la gestion et la conservation des frênes peuvent ne pas obtenir le résultat escompté. Par exemple, il n'est pas exclu que les noyaux de régénération artificielle soient décimés par le pathogène *H. fraxineus* suite à une dynamique de l'épidémie impossible à prévoir (par exemple, l'avancée du front d'invasion, l'introduction accidentelle de sources d'inoculum infectieux) ou impossible à gérer (par exemple, production d'apothécies de l'agent pathogène au niveau de la litière).

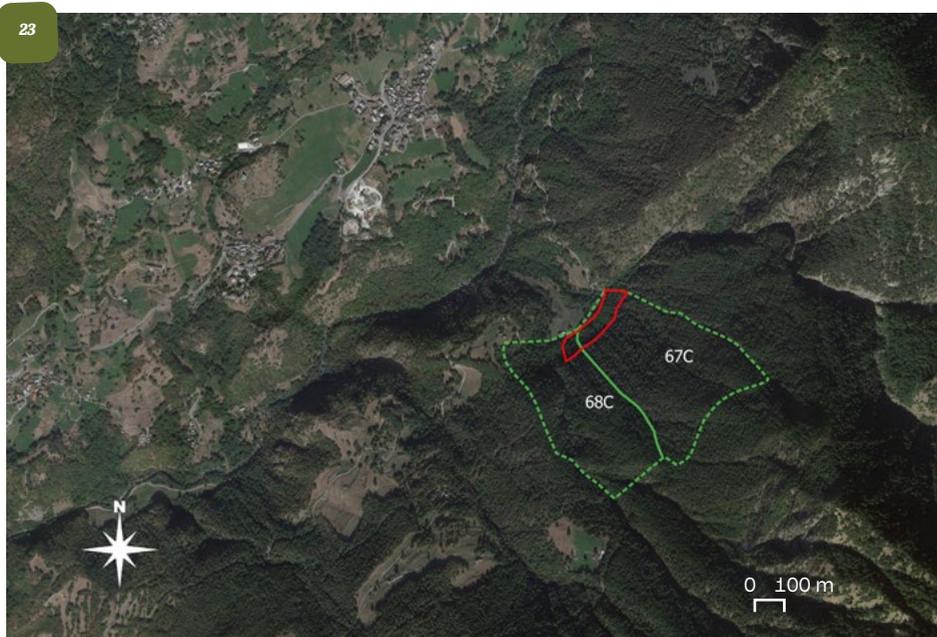
**FIGURE 23**

CARTE GÉNÉRALE DES PARCELLES (LIGNE VERTE POINTILLÉE) ET DE LA BANDE DE VÉGÉTATION DES FRÊNES (LIGNE ROUGE) SÉLECTIONNÉES SUR LE TERRITOIRE DE LA COMMUNE DE CHALLAND-SAINT-ANSELME POUR LA MISE EN ŒUVRE ET LA DÉMONSTRATION DE L'APPLICATION DES LIGNES DIRECTRICES POUR LA GESTION SYLVICOLE ET PHYTOSANITAIRE DES FRÊNES DÉPÉRISSANTS. EN ARRIÈRE-PLAN, IMAGE SATELLITE DE LA ZONE AFFECTÉE (SOURCE : GOOGLE MAPS, 2023).

## EXEMPLES D'APPLICATION : SITES PILOTES DE MONGEFITOFOR

Dans le cadre du projet MONGEFITOFOR, des *sites forestiers pilotes* ont été ouverts pour la mise en œuvre et la démonstration de l'application des *directives de gestion sylvicole* et *phytosanitaire* pour les peuplements de frênes affectés par la chalarose causée par le pathogène *H. fraxineus*. Les forêts du "Boc de La" et "Bois de Cretes" dans la municipalité de Chal-

land-Saint-Anselme ont notamment été sélectionnées, et des relevés dendrométriques, sylvicoles et phytopathologiques y ont été effectués au préalable. Les parcelles se trouvent sur un versant à moyenne altitude, environ 900 mètres et sont exposées au nord-ouest dans la partie située au-dessus d'une route non goudronnée permettant l'accès des véhicules. Le sommet de la parcelle située près de la route, direction NNO, se trouve aux coordonnées 402097, 5061665 (système de référence UTM WGS84) (**Figure 23**).



Sur les parcelles situées en amont de la route, une bande de végétation constituée d'une frênaie d'invasion (**figure 24**) longe la route, approximativement selon l'axe NE-SW, sur une longueur d'environ 250 m, une profondeur d'environ 60 m et une surface topographique indicative de 1,6 ha. La frênaie correspond à une forêt au stade de jeunes fourrés, entrecoupés de parties plus épaisses, avec quelques spécimens de plus

**FIGURE 24**  
FRÊNAIE D'INVASION SÉLECTIONNÉES POUR LES SITES FORESTIERS PILOTES.

grand diamètre, autour de 30-40 cm. Le frêne domine la partie NE du peuplement, tandis que vers le SO, il tend à se mélanger au pin sylvestre, au mélèze et à d'autres feuillus. À plus grande échelle, la frênaie d'invasion se situe presque entièrement dans une forêt mésalpine d'arbres feuillus, en bordure d'une aulnaie montagnarde à l'ouest et d'une frênaie-érablière au nord. Le peuplement peut donc être défini mixte, avec un plan

**FIGURE 25**  
GRAPHIQUE DE LA DISTRIBUTION EN POURCENTAGE DES ESPÈCES PRÉSENTES (A) ET DE LEUR DISTRIBUTION PAR CLASSES DE DIAMÈTRES (B) DANS LA ZONE OÙ ONT ÉTÉ OUVERTS LES SITES FORESTIERS PILOTES POUR LE FRÊNE DÉPÉRISANT.





## TABLEAU 2

Spécifications de la surface terrière et de la densité de formation de la forêt dans la zone où les sites forestiers pilotes ont ouverts pour le frêne en décomposition.

Specie	Surface terrière m2/ha	Densité de plantation/ha
AUTRES FEUILLUS (saule, bouleau, chêne pubescent, aulne blanc, tremble)	0,10	9
CHÂTAIGNIER	0,43	24
CERISIER	0,90	35
FRÊNE	12,07	907
MÉLÈZE	2,99	59
PIN SYLVESTRE	2,01	21
<b>TOTALE</b>	<b>18,51</b>	<b>1054</b>

Les interventions sylvicoles et phytosanitaires à effectuer sur le site ont été élaborées en adaptant les lignes directrices ci-dessus au cas spécifique. En détail, les principes décrits dans la section 3 ont été considérés comme compatibles avec la condition et l'état de santé du frêne et ont donc été mis en œuvre comme décrit ci-dessous.

Les relevés en forêt ont révélé que les frênes présentaient des symptômes de chalarose et constituaient au moins 15% de la couverture ou étaient localement présents en groupes de 5 à 10 individus lorsque le

peuplement était plus différencié en termes de composition spécifique. Les symptômes de chalarose étaient évidents tout comme l'impact de la maladie avec une transparence moyenne de la couronne de plus de 20% et un certain nombre de frênes gravement compromis. Pour le site de Challand-Saint-Anselme, les opérations de suivi phytosanitaire et les analyses approfondies en laboratoire ont révélé une transparence moyenne des houppiers de 44% et une incidence du *H. fraxineus* de 20%. Les symptômes étaient hétérogènes et il a été possible d'identi-

fier un grand nombre de frênes+ asymptotiques ou présentant des symptômes nettement meilleurs par rapport aux frênes environnants (frênes- ), avec une transparence de la couronne inférieure à 25%. Des interventions culturales ont donc été définies dans le but de conserver les frênes et d'améliorer leur état. Le site présentait en effet des caractéristiques éco-pédologiques adaptées à l'espèce et se prêtait à l'exécution rationnelle d'opérations sylvicoles techniquement et logistiquement durables en raison de la présence de routes forestières. Après le martelage forestier (**figure 26**), des éclaircissements ciblés ont été proposés pour réguler la densité du peuplement, en vue de réduire la concurrence intra- et interspécifique, au profit des frênes libérés. En outre, les frênes-, c'est-à-dire les arbres fortement compromis par la pourriture, avec une transparence de la couronne de plus de 25%, ont été soumis à un martelage forestier. Les frênes- martelés ont été éliminés par un abattage phytosanitaire ciblé, comme décrit ci-dessous.



**FIGURE 26**  
MARTELAGE FORESTIER, AVEC MARQUAGE DES ARBRES À ABATTRE À LA FOIS POUR RÉALISER DES INTERVENTIONS SYLVICOLES EN FAVEUR DES FRÊNES+ , ET EFFECTUER L'ABATTAGE PHYTOSANITAIRE DES FRÊNES-.

27



28



Du point de vue opérationnel, les sites pilotes ont été mis en place à des fins de démonstration et sont destinés à servir d'exemple pratique pour illustrer certaines interventions possibles (**figure 27**). Pour ce faire, la bande de végétation a été divisée en 3 zones (A, B et C), chacune représentant environ 1/3 de la superficie totale (environ 5 000 m<sup>2</sup> chacune). 15%, 40% et 60% des arbres respectivement des zones A, B et C ont été abattus (**figure 28**), en procédant du SO vers le NE (**tableau 3**).

Toutefois, des abattages supplémentaires ont été autorisés pour des raisons techniques et/ou de sécurité (par exemple, arbres évasés risquant de s'écraser, avec des troncs cassés ou représentant un obstacle le long de la ligne de chute des arbres martelés et sur lequel ces derniers auraient pu se bloquer), avec quoi qu'il en soit pas plus de 5 % du nombre total d'individus. A la fin des opérations d'éclaircissage (**figure 29**), les résidus ont été déchiquetés pour éviter d'alimenter les réserves potentielles d'inoculum de pathogènes.

**FIGURE 27**  
INSTALLATION, PÉRIMÉTRAGE ET SIGNALISATION DES SITES FORESTIERS PILOTES POUR LA GESTION SYLVICOLE ET PHYTOSANITAIRE DES FRÊNES DÉPÉRISSENTS.

**FIGURE 28**  
ABATTAGE DES ARBRES MARTELÉS LORS DE L'EXÉCUTION DES ÉCLAIRCISSEMENTS CULTURAUX ET PHYTOSANITAIRES PRÉVUS SUR LES SITES FORESTIERS PILOTES.

# TABLEAU 3

Caractéristiques des prélèvements après les éclaircissages effectués dans les différentes zones du site où les chantiers de sylviculture du frêne ont été ouverts.

	PLANTES ÉCHANTILLONNÉES	TOTAL DES PLANTES	PRÉLÈVEMENT SUR LE TOTAL DES PLANTES (%)	VOLUME ENLEVÉ (M <sup>3</sup> )	VOLUME TOTAL AVANT ÉCLAIRCISSEMENT (M <sup>3</sup> )	PRÉLÈVEMENT SUR LE VOLUME
<b>Zone A</b>						
<b>prélèvement 15%</b>	60	379	15,8%	20,85	35,74	58,3%
<b>Zone B</b>						
<b>prélèvement 40%</b>	250	562	44,5%	16,23	26,37	61,5%
<b>Zone C</b>						
<b>prélèvement 60%</b>	413	640	64,5%	26,18	38,54	67,9%

**FIGURE 29**  
ZONE DE CHANTIER À LA FIN DES OPÉRATIONS D'ÉCLAIRCISSEMENT CULTURAL ET PHYTOSANITAIRE. NOTEZ LES SOUCHES DES FRÊNES ENLE-

VÉS ET LES INDIVIDUS RELÂCHÉS DANS UNE FORMATION DONT LA DENSITÉ A ÉTÉ SIGNIFICATIVEMENT RÉDUITE PAR RAPPORT À LA SITUATION INITIALE (VOIR FIGURE 24).



Les zones A, B et C ont été divisées en deux sous-zones de taille égale (environ 2 500 m<sup>2</sup>) (**figure 30**). Les premières sous-zones (A1, B1 et C1, direction SO) n'ont pas fait l'objet d'autres interventions, tandis que dans les secondes (A2, B2 et C2, direction NE), 9 zones sans végétation (3 pour chaque sous-zone) d'une largeur de 5x5 m chacune ont été créées et 25 semis y ont été plantés avec un espacement de 50 cm (noyaux de régénération artificielle). Les différentes étapes de plantation de la régénération artificielle, ainsi que les autres opérations effectuées sur le site, ont été filmées afin de réaliser des vidéos thématiques de divulgation technique destinées aux opérateurs et aux parties prenantes du secteur (Figure 31). Les plants, d'une hauteur d'environ 50 cm, ont été prélevés sur des rejets de frênes+ provenant d'autres sites de la Vallée d'Aoste et fournis par une pépinière spécialisée gérée par le Département des Forêts de la Vallée d'Aoste.

**FIGURE 30**

ZONAGE DE LA BANDE VÉGÉTALE DE FRÊNES (LIGNE ROUGE). CHAQUE ZONE CORRESPOND À UN SITE PILOTE CARACTÉRISÉ PAR DIFFÉRENTES INTERVENTIONS SYLVICOLES ET PHYTOSANITAIRES. EN ARRIÈRE-PLAN, IMAGE SATELLITE DE LA ZONE AFFECTÉE (SOURCE : GOOGLE MAPS, 2023).

**FIGURE 31**

PLANTATION DE NOYAUX ARTIFICIELS DE RÉGÉNÉRATION DE FRÊNE, OÙ SONT PLANTÉS LES SEMIS. UN OPÉRATEUR FILME LES OPÉRATIONS AFIN DE RÉALISER DES VIDÉOS THÉMATIQUES TECHNIQUES ET DE DIVULGATION.



## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans le cadre du projet **MONGEFITOFOR**, des institutions locales et des organismes de recherche italiens et suisses, soutenus par un financement de l'Union européenne - Programme de coopération territoriale **INTERREG V-A Italie-Suisse 2014/2020**, ont déployé des efforts importants pour surveiller la santé des forêts transfrontalières et proposer des stratégies durables pour leur gestion et leur protection. En particulier, ce **manuel technico-scientifique de terrain** est consacré à la **chalarose du frêne** causée par l'**agent pathogène *Hymenoscyphus fraxineus*** et vise à résumer de manière pratique et concrète les résultats obtenus au cours du projet, en fournissant à l'utilisateur des **lignes directrices** d'intervention **sylvicole** et **phytosanitaire**.

Les résultats obtenus dans le cadre du suivi phytosanitaire et des analyses effectués ont permis de signaler pour la première fois la présence du *H. fraxineus* dans la Vallée d'Aoste, en quantifiant l'incidence et la gravité de la chalarose du frêne, une espèce forestière de grande importance écologique, environnementale, naturaliste et paysagère. La chalarose s'est avérée être répandue avec un impact significatif et doit donc être gérée par une

approche multidisciplinaire comprenant à la fois la **sylviculture** traditionnelle et des interventions **phytosanitaires** basées sur des preuves scientifiques solides. L'objectif principal du projet MONGEFITOFOR était de définir cette approche et, en même temps, de créer des outils appropriés pour la divulgation des **connaissances** et des **compétences** relatives à la gestion des frênes dépérissants, au profit des propriétaires, des gestionnaires et des administrateurs des ressources forestières, ainsi que des techniciens, des opérateurs du secteur et d'autres parties prenantes.

Le projet MONGEFITOFOR jette les bases d'une gestion forestière plus **durable** du frêne, en fournissant des outils techniques et scientifiques dont l'application peut contribuer à accroître la **résilience** du patrimoine forestier et des **écosystèmes** associés.

## REMERCIEMENTS

Ce manuel a été réalisé dans le cadre des activités du projet MONGEFITOFOR (Lignes directrices pour le suivi et la gestion des urgences phytosanitaires dans les forêts des Alpes centrales et occidentales - ID 540693), financé par l'Union européenne à travers le Programme de coopération territoriale INTERREG V-A Italie-Suisse 2014/2020.

Les auteurs remercient Mariana Giraud pour son aide au laboratoire, ainsi que les agents, les fonctionnaires et le personnel du Corps forestier de la Vallée d'Aoste qui ont participé aux activités de suivi phytosanitaire du frêne, en particulier Luigi Bionaz, Giacinta Bois, Gianluca Burgay, Alex Garda, Ettore Merlet, Corrado Montrosset et Alessandro Vuillermoz.

Nous remercions tout particulièrement les nombreuses parties prenantes qui ont contribué à soutenir le projet MONGEFITOFOR.



**BIBLIOGRAPHIE ESSENTIELLE**

- Bennetti, G. (1995). *Selvicoltura speciale*. Torino: UTET. ISBN 9788802048673
- Bennetti, G. (2005). *Atlante di selvicoltura. Dizionario illustrato di alberi e foreste*. Bologna: Edagricole. ISBN 9788850646654
- Camerano, P., Terzuolo, P.G., Varese, P. (2007). *I tipi forestali della Valle d'Aosta*. Arezzo: Compagnia delle Foreste.
- Del Favero, R. (2004). *I boschi delle regioni alpine italiane*. Padova: CLEUP. ISBN 9788867870820
- Ebone, A., Giannetti, F., Gonthier, P., Lione, G., Nicolotti, G., Petrella, F. Terzuolo, P.G. (2011). *Quercu-carpineti planiziali in deperimento: linee guida per la gestione*. Regione Piemonte Direzione Opere Pubbliche, Difesa del suolo, Economia Montana e Foreste – Settore Politiche Forestali. ISBN 9788896046043
- Ebone, A., Gonthier, P., Lione, G., Terzuolo, P.G. (2023). *Scheda diagnostica di campo per la segnalazione dei sintomi di deperimento del frassino (*Fraxinus excelsior*) potenzialmente riconducibili al fungo patogeno *Hymenoscyphus fraxineus**. Regione Piemonte - Direzione Ambiente, Energia e Territorio – Settore Foreste. ISBN 9788896046098
- Enderle, R., Stenlid, J., & Vasaitis, R. (2019). An overview of ash (*Fraxinus* spp.) and the ash dieback disease in Europe. *CABI Reviews* 14, 1-12. doi: 10.1079/PAVSN-NR201914025
- European and Mediterranean Plant Protection Organization EPPO (2013) PM 7/117 (1) *Hymenoscyphus pseudoalbidus*. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 43, 449-461. Doi: 10.1111/epp.12061
- Ferretti, F., Alberti, G., Badalamenti, E., Campagnano, T., Corona, P., Garbarino, M., La Mantia, T., Malandra, F., Maresi, G., Morresi, D., Piermattei, A., Pividori, M., Romano, R., Salvadori, C., Sibona, E., da Silveira Bueno, R., Sitzia, T., Urbinati, C., Vitali, A., Pelleri, F. (2019). *Boschi di neoformazione in Italia: approfondimenti conoscitivi e orientamenti gestionali. Rete Rurale Nazionale 2014-2020, Scheda n. 22.2 - Foreste, Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria*. Roma. ISBN 9788833850153
- Gellini, R., Grossoni, P. (1997). *Botanica forestale. Vol. 2: Angiosperme*. Padova: CEDAM. ISBN 9788813202606

- Gonthier, P., Giordano, L., Sillo, F., Martinis, R., Pasi, V., Rettoni, A.A., Tantardini, A. (2016). Sos cedri e frassini - Passaggio a Nord Ovest, *Acer*, 6, 25-29.
- Google 2023. Google Satellite, Map data ©2015 Google, accesso effettuato in data 05/05/2023.
- Kerr, G. & Cahalan, C. (2004). A review of site factors affecting the early growth of ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Forest Ecology and Management*, 188, 225-234. doi 10.1016/j.foreco.2003.07.016
- Lauben, K., Wagner, G., Gyğax, A. (2001). *Flora Helvetica*. Bern: Haupt Verlag. ISBN 9783258077000
- McKinney, L. V., Thomsen, I. M., Kjær, E. D., Nielsen, L. R. (2012). Genetic resistance to *Hymenoscyphus pseudoalbidus* limits fungal growth and symptom occurrence in *Fraxinus excelsior*. *Forest Pathology*, 42, 69-74. doi 10.1111/j.1439-0329.2011.00725.x
- Ongaro, S., Lione, G., Isocrono, D. (2022). Composition and conservation value of epiphytic lichen communities on common ash in north-western Alps: a first assessment. *Forests*, 13, 1288. doi 10.3390/f13081288
- Pignatti, S. (1998). *I boschi d'Italia: sinecologia e biodiversità*. Torino: UTET. ISBN 9788802052519
- QGIS software versione 3.10.0 - A Coruña (2023). QGIS Development Team, QGIS Association. <http://www.qgis.org>.
- QGIS plugin QuickMapServices versione 0.19.11.1. (2023).
- Rigling, D., Hilfiker, S., Schöbel, C., Meier, F., Engessen, R., Scheidegger, C., Stofer, S., Senn-Irlet, B., Queloz, V. (2016). Le dépérissement des pousses du frêne. Biologie, symptômes et recommandations pour la gestion. Notice pour le praticien - Institut Fédéral de Recherches WSL - Birmensdorf, 57, 1-8.
- Skovsgaard, J. P., Wilhelm, G. J., Thomsen, I. M., Metzler, B., Kirisits, T., Havrdová, L., Enderle, R., Dobrowolska, D., Cleary, M., Clark, J. (2017). Silvicultural strategies for *Fraxinus excelsior* in response to dieback caused by *Hymenoscyphus fraxineus*. *Forestry* 90, 455-472. doi: 10.1093/forestry/cpx012



Novembre 2023

Imprimé par Tipolitografia Botalla s.r.l. - Gaglianico (BI) - Italie

Le manuel a été réalisé dans le cadre du projet MONGEFITOFOR (Lignes directrices pour le suivi et la gestion des urgences phytosanitaires dans les forêts des Alpes centrales et occidentales - ID 540693), financé par l'Union européenne à travers le Programme de coopération territoriale INTERREG V-A Italie-Suisse 2014/2020.

# Interreg

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

ITALIA SVIZZERA - ITALIE SUISSE - ITALIEN SCHWEIZ



UNIONE EUROPEA



## MONGEFITOFOR

Région Autonome  
Vallée d'Aoste



Regione Autonoma  
Valle d'Aosta

