



**MANUELS MONGEFITOFOR**

**SURVEILLANCE  
ET GESTION DE  
CERTAINES MALADIES DU  
CHÂTAIGNIER  
DANS LES ZONES ALPINES  
TRANSFRONTALIÈRES**

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

## **SURVEILLANCE ET GESTION DE CERTAINES MALADIES DU CHÂTAIGNIER DANS LES ZONES ALPINES TRANSFRONTALIÈRES**

Série : «MANUELS MONGEFITOFOR»

### **Auteurs**

Guglielmo Lione <sup>(1)</sup>, Simone Prospero <sup>(2)</sup>, Luca Dovigo <sup>(3)</sup>,  
Chiara Ferracini <sup>(1)</sup>, Roberto Martinis <sup>(4)</sup>, Silvia Ongaro <sup>(3)</sup>,  
Martina Pellicciaro <sup>(1)</sup>, Andrea Rettoni <sup>(4)</sup>, Ivan Rollet <sup>(3)</sup>,  
Paolo Gonthier <sup>(1)</sup>

### **Coordination scientifique**

Paolo Gonthier <sup>(1)</sup>, Chiara Ferracini <sup>(1)</sup>, Simone Prospero <sup>(2)</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> Institut fédéral suisse de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Suisse.

<sup>(3)</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>(4)</sup> Studio Associato Planta, Via Chiesa 19, 10090 Rosta (TO), Italie.

### **Forme de citation recommandée**

Lione G., Prospero S., Dovigo L., Ferracini C., Martinis R., Ongaro S., Pellicciaro M., Rettoni A., Rollet I., Gonthier P. (2023). Surveillance et gestion de certaines maladies du châtaignier dans les zones alpines transfrontalières. Série: «Manuels MONGEFITOFOR». Région Autonome de la Vallée d'Aoste. ISBN 9791280561824

# INDEX

3	Préface
4	Le projet MONGEFITOFOR
5	Le châtaignier : aperçu général de l'espèce
8	Synecologie et caractérisation des forêts de châtaigniers
12	Fonctions et services écosystémiques des châtaigneraies
17	Aspects sylvicoles et de gestion
18	Aperçu général des principales maladies du châtaignier
20	Le chancre de l'écorce du châtaignier
32	Maladie de l'encre du châtaignier
36	Maladies associées au <i>Gnomoniopsis castaneae</i>
39	La surveillance phytosanitaire du châtaignier dans la Vallée d'Aoste
42	Incidence, gravité et distribution spatiale des maladies du châtaignier et des pathogènes cibles
49	Surveillance de la maladie de l'encre du châtaignier en Suisse
51	Interventions sylvicoles et phytosanitaires pour la gestion des taillis de châtaigniers atteints de chancre de l'écorce
56	Exemples d'application : sites pilotes de MONGEFITOFOR
65	Stratégies pour gérer la maladie de l'encre
68	Conclusions et perspectives
69	Remerciements
70	Bibliographie essentielle



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 Ita-

lie-Suisse 2014/2020. Plusieurs problèmes phytosanitaires critiques concernant le châtaignier ont été affrontés dans le cadre du projet, notamment le chancre de l'écorce, la maladie de l'encre et d'autres maladies causées par le champignon *Gnomoniopsis castaneae*. Ce manuel présente les résultats de la surveillance phytosanitaire visant à étudier la santé du châtaignier et à proposer des stratégies opérationnelles pour sa gestion dans les environnements forestiers des zones alpines transfrontalières. Ce manuel a en effet été réalisé grâce aux connaissances acquises dans la zone transfrontalière, 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, et 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 châtaignier et des forêts dans lesquelles il est présent.

*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 dans la **production** de

bois, mais aussi dans 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 des dernières années (**encadré 1**). Il s'agit notamment du **chancre de l'écorce**, de la **maladie de l'encre** et de certaines **maladies** causées par le champignon *Gnomoniopsis castaneae* sur les **châtaigniers**, auxquels est consacré ce **manuel technico-scientifique de terrain**, destiné à aider non seulement les propriétaires, les gestionnaires et les administrateurs des ressources forestières, mais aussi les techniciens et les opérateurs du secteur qui souhaitent 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 la surveillance 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 CHÂTAIGNIER : APERÇU GÉNÉRAL DE L'ESPÈCE

Le genre *Castanea* comprend 13 espèces d'arbres réparties dans les deux hémisphères à la suite d'une propagation naturelle ou anthropique. Au niveau international, les espèces les plus représentatives et les plus importantes sur le plan économique sont *Castanea sativa* Mill. (**châtaignier** européen, ci-après dénommé simplement châtaignier), *C. crenata* Sieb. et Zucc. (châtaignier du Japon), *C. mollissima* Blume (châtaignier

de Chine) et leurs hybrides. Particulièrement **multifonctionnel** et capable de fournir une variété considérable de services écosystémiques en fonction du contexte, le châtaignier est particulièrement apprécié pour la production de **fruits comestibles** (châtaignes et marrons) et d'**as-sortiments de bois** à usages multiples.

Pour mieux identifier l'espèce, il faut nécessairement tenir compte de son contexte. En effet, le châtaignier est une espèce dont les multiples valeurs s'expriment de façon différente dans les **milieux agraires, agroforestiers** et **forestiers**. Dans un

contexte fortement anthropique dont l'objectif est la production de denrées agro-alimentaires, le châtaignier est effectivement un **arbre fruitier** soumis à un grand nombre de pratiques culturales, agronomiques et phytosanitaires spécifiques. Dans ce cas, le châtaignier est élevé à **haut fût** et fait souvent l'objet de greffages pour améliorer la qualité, la quantité et les rendements de production (**figure 1**). En forêt, on préfère les **taillis** de châtaignier (**figure 2**), où les arbres de haut fût (s'ils sont présents) sont constitués de **baliveaux** (**figure 3**). Les coupes en taillis de châtaigniers sont depuis toujours destinées à la production de bois pour les poteaux, tandis que les baliveaux sont des châtaigniers épargnés par une ou plusieurs coupes en taillis non seulement pour pouvoir obtenir des assor-

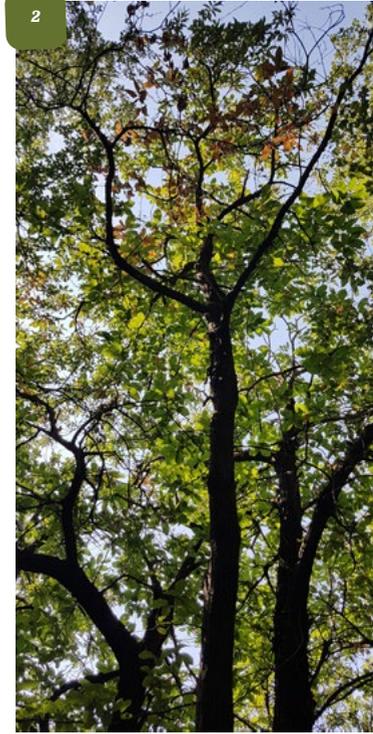
timents de bois plus importants que ceux provenant de rejets de souche ou de drageons de taillis, mais également pour faciliter la **régénération naturelle** du peuplement. En principe, on pourrait aussi compter les futaies, résultant de taillis de châtaignier au fût haut et droit ou de la greffe de variétés présélectionnées, mais en fait celles-ci sont extrêmement rares et totalement absentes dans les zones transfrontalières italo-suisse. Toutefois, les châtaigniers à haut fût sont présents dans différents peuplements forestiers auxquels l'espèce en question est associée, généralement à l'état sauvage et souvent en tant qu'élément accessoire ou sporadique.



**FIGURE 1**  
CHÂTAIGNIER GÉRÉ EN TAILLIS. SOUCHES EN PÉRIODE DE REPOS VÉGÉTATIF DANS UNE FORÊT ESSENTIELLEMENT DE CHÂTAIGNIERS (A). DÉTAIL D'UNE SOUCHE AVEC QUATRE DRAGEONS MATURES EN VÉGÉTATION (B).

**FIGURE 2**  
JEUNES CHÂTAIGNIERS CULTIVÉS EN TAILLIS. LE BALIVEAU CENTRAL EST DOMINANT ET A CONDITIONNÉ LA CROISSANCE DES DEUX AUTRES BALIVEAUX OÙ LA CROISSANCE DU FÛT EST DÉTERMINÉE PAR LA RECHERCHE LA LUMIÈRE.

**FIGURE 3**  
GRAND CHÂTAIGNIER. CHÂTAIGNERAIE TRADITIONNELLE A VOCATION FRUITIÈRE, OÙ L'ON PEUT OBSERVER DES ARBRES DE HAUTEUR ET DE DIAMÈTRE CONSIDÉRABLES DURANT LE REPOS VÉGÉTATIF (A). GRAND CHÂTAIGNIER DE HAUTE TAILLE EN PLEINE FRUCTIFICATION, CULTIVÉ DANS UNE CHÂTAIGNERAIE RATIONNELLE, OÙ LES ARBRES SONT MAINTENUS À UNE TAILLE BASSE ET OÙ DES INTERVENTIONS CULTURALES ET AGRONOMIQUES SONT RÉGULIÈREMENT PRATIQUÉES POUR OPTIMISER LA PRODUCTION DE FRUITS EN TERMES DE QUALITÉ ET DE QUANTITÉ DES CHÂTAIGNES ET DES MARRONS (B).



Compte tenu du contexte **forestier** et du champ d'application de ce manuel, ce qui suit se réfère aux **taillis**, aux **baliveaux des taillis** et aux arbres de **haut fût**, **spontanés** et **accessoires** que l'on trouve dans d'autres formations floristico-végétatives des zones transfrontalières italo-suisse. Le châtaignier peut atteindre une hauteur de 25 à 30 m, et son diamètre peut dépasser plusieurs mètres pour les spécimens anciens, vétérans ou particulièrement longévifs. Les fleurs du châtaignier, un arbre caractérisé par une biologie et une morphologie florales particulières, sont réparties en chatons mâles ou bisexuels différenciés par le même individu et dont l'anthèse se produit au printemps, principalement entre la deuxième quinzaine de mai et la première quinzaine de juillet. Les châtaignes, akènes comestibles protégés par une enveloppe épineuse (la bogue), mûrissent de fin août à novembre. Le châtaignier est une espèce aux **semences dites récalcitrantes**, qui, pour le stockage, se révèlent inaptes à une déshydratation même modérée et ne supportent ni une atmosphère confinée ni des températures très basses (par exemple, humidité de 5 à 10 % et température inférieure à 5 °C). La teneur en eau des semences conditionne leur capacité germinative, menacée lorsque la teneur en eau

est inférieure à 20-40%. C'est la raison pour laquelle, le stockage de la récolte au printemps ne peut se faire qu'en présence de conditions d'humidité adéquates (par exemple en plaçant les graines dans un substrat humide comme le sable ou la tourbe, à l'abri du soleil et du vent). Le châtaignier est doté d'une **capacité pollinatrice par drageons caulinaires**, qui se poursuit indéfiniment tout au long de la vie de l'arbre, ce qui rend l'espèce particulièrement adaptée au taillis. Si la souche est coupée au ras du sol, les drageons ont la possibilité de se développer en s'enracinant, en émettant des racines en toute autonomie. Cette capacité, prononcée et prolongée, de produire des drageons vigoureux, est l'une des principales caractéristiques qui font du châtaignier une espèce particulièrement **compétitive** par rapport aux autres essences forestières. En effet, le châtaignier a souvent tendance à former des peuplements monospécifiques. Le système racinaire du châtaignier est **robuste** avec une bonne capacité à explorer le sol et, bien qu'il ne soit pas particulièrement profond, il assure un **ancrage** solide de l'arbre dans le sol. Le tronc est généralement droit, trapu et robuste, et donc particulièrement apprécié à des fins de production. Du point de vue autoécologique, le châtaignier est considéré

comme une espèce typique des vallées et des collines, qui n'hésite cependant pas à coloniser l'étage montagnard si les conditions sont favorables. Considéré comme une espèce *thermophile*, il a besoin d'une période d'au moins six mois avec des températures moyennes supérieures à 10°C pour se développer. En termes d'apport eau par les *précipitations*, le châtaignier étant une espèce qui *crain*t la *sécheresse* a besoin d'une pluviométrie supérieure à 600 mm par an. En ce qui concerne le climat, l'espèce préfère les régions au climat *atlantique*, et est rarement présent dans les régions au climat continental. Du point de vue de l'écopédologie, le châtaignier est particulièrement exigeant, car il a tendance à choisir des *sols* neutres, peu acides et *acides*, meubles et avec une bonne capacité d'*aération*. Bien que le châtaignier s'adapte rarement aux sols carbonatés, cela peut se produire localement, à condition que le site soit caractérisé par des précipitations élevées. En ce qui concerne les besoins nutritionnels (en particulier l'azote et le potassium), le châtaignier peut être considéré comme une espèce exigeante. En termes de besoins de lumière, le châtaignier est une espèce dite *héliophile tolérante*, bien que les jeunes semis supportent assez bien l'ombre. Les exigences *autoécologiques* du

châtaignier peuvent se résumer à l'aide d'une série d'indices quantitatifs, soulignant ses caractéristiques principales (**Tableau 1**).



# TABLEAU 1

Description sommaire de l'autoécologie du châtaignier. Pour chaque facteur environnemental correspond un indice de Landolt (1 à 5, valeurs extrapolées de Lauber et Wagner, 2001) avec la description correspondante

Facteur environnemental	Indice	Description
Besoins en eau	3	A besoin de sols moyennement humides
Acidité du sol (pH)	2	Préfère les sols au pH moyennement acide (3,5-5,5)
Besoins nutritionnels	2	Pousse sur des sols pauvres ou moyennement pauvres en nutriments, entre les extrêmes représentées par les espèces pionnières et nitrophiles
Lumière	3	Cette espèce n'est ni sciaphile, ni strictement héliophile et s'adapte donc à des conditions de luminosité intermédiaires
Température	5	Pousse de préférence dans des stations aux températures chaudes typiques du sud de l'Europe
Continentalité	2	S'adapte aux régions soumises au climat atlantique et tolère mal les gelées tardives et les écarts importants de température

## SYNÉCOLOGIE ET CARACTÉRISATION DES PEUPELEMENTS FORESTIERS À BASE DE CHÂTAIGNIERS

Le châtaignier forme souvent des *peuplements monospécifiques*, ou dans lesquels il tend à être l'une des espèces les plus abondantes, bien qu'il puisse être présent dans différents ensembles floristico-végétatifs comme élément accessoire ou sporadique. Au niveau typolo-

gique, si l'on exclut les châtaigneraies fruitières, les zones transfrontalières italo-suisse abritent principalement des châtaigneraies mésoneutrophiles à *Salvia glutinosa* avec d'autres feuillus comme le frêne, l'érable, le cerisier et le noisetier, et des châtaigneraies acidophiles à *Teucrium scorodonia* associé au chêne, hêtre et bouleau. Les forêts susmentionnées présentes de nombreuses variantes avec la présence, plus ou moins abondante, de robinier faux-acacia,

chêne pubescent, pin sylvestre ou mélèze, pour n'en citer que quelques-uns. Lorsque le châtaignier est à l'état pur, en particulier là où les sols ont tendance à avoir un pH plus acide, le sous-bois est pauvre avec une biodiversité végétale réduite, bien que ces conditions soient particulièrement propices à la régénération naturelle de l'espèce, qui se trouve dans une situation de compétition interspécifique réduite. En effet, la graine peut germer facilement car l'akène est en contact direct avec le sol sans être gêné par la présence d'une strate herbacée ou arbustive qui pourrait inhiber la germination ou empêcher l'enracinement des semis (**Figure 4**).

**FIGURE 4**

L'ABSENCE OU LA RARETÉ DU COUVERT HERBACÉ ET ARBUSTIF FACILITE LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE DU CHÂTAIGNIER, EN PERMETTANT AUX GRAINES D'ENTRER PLUS FACILEMENT EN CONTACT AVEC LE SOL, DE GERMER ET DE DONNER NAISSANCE À DES SEMIS VIGoureux.



## FONCTIONS ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES DES CHÂTAIGNERAIES

Les peuplements ou formations forestières avec le châtaignier comme espèce dominante ou abondante, remplissent un large éventail de *fonctions* et fournissent plusieurs *services écosystémiques*, notamment :

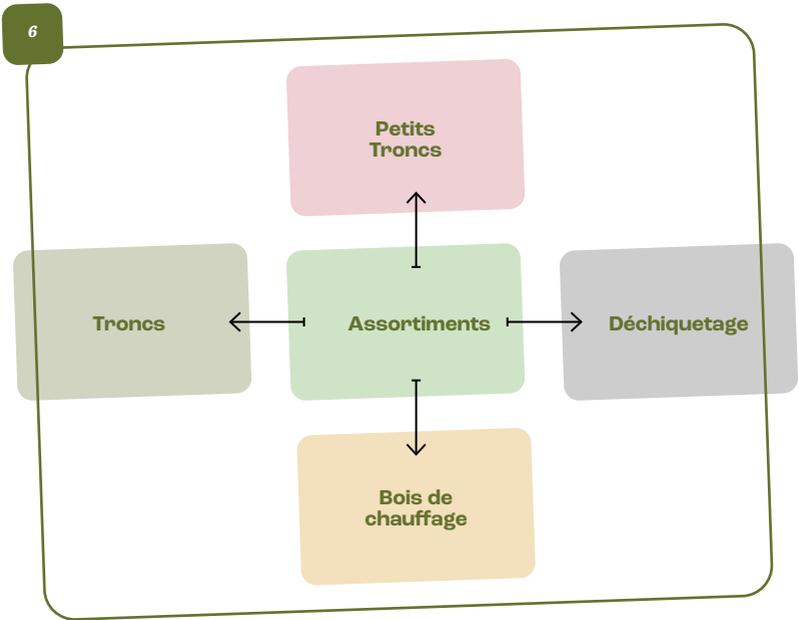
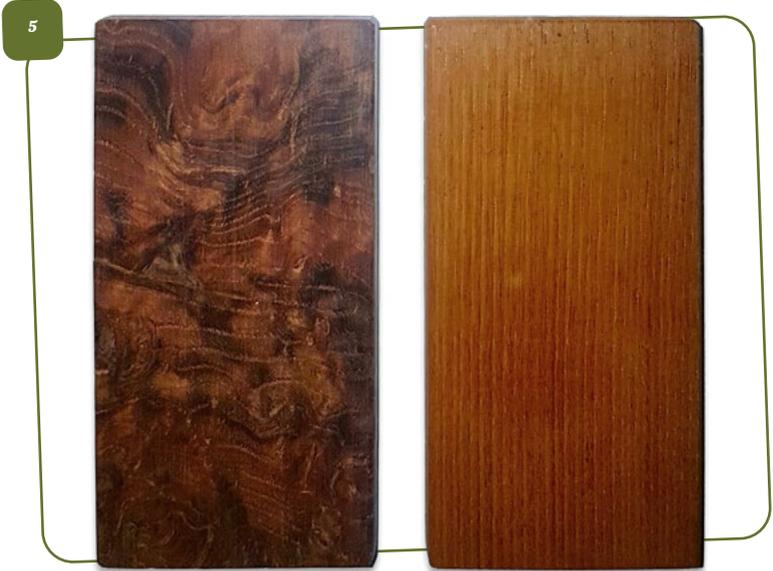
- la production de différents *assortiments ligneux* ;
- la production de *sous-produits non ligneux* ;
- la *protection hydrogéologique* et la consolidation des coteaux ;
- la fourniture de services liés aux fonctions écologiques et environnementales (par exemple, le piégeage du dioxyde de carbone atmosphérique et des *stocks de carbone*, la contribution aux cycles biogéochimiques) ;
- des formations qui jouent un rôle important en tant qu'éléments du *paysage*, offrant des espaces appropriés pour le *tourisme* et les loisirs.

La propension du châtaignier à remplir les différentes fonctions et à fournir les services écosystémiques qui en découlent est largement conditionnée par le fait d'être soumis à un mode de gouvernance comme le taillis, sous ses différentes formes, où les interventions sylvicoles sont orientées vers des *objectifs productifs*. La demande en bois de châtaignier est en effet im-

portante et les caractéristiques technologiques du bois, ainsi que la croissance rapide de l'espèce, peuvent ouvrir des perspectives intéressantes. Le *bois de châtaignier* (figure 5) est un bois précieux du point de vue esthétique et pour ses propriétés physico-mécaniques. Il s'agit d'un bois avec une différenciation claire entre l'aubier et le cœur, durable car riche en matières extractibles (en particulier les *tanins*), tendre à mi-dur, mais facile à travailler, avec une densité de 580 kg/m<sup>3</sup>. La *loupe* de châtaignier, obtenue à partir du bois situé à la base des arbres de grand fût, est particulièrement rare, mais très prisée sur le marché pour ses valeurs esthétiques et utilisée pour la production de meubles de grande valeur, ou découpée pour obtenir des panneaux décoratifs. Les principaux assortiments de bois pouvant être récoltés dans les taillis et les baliveaux sont schématisés dans la Figure 6.

**FIGURE 5**  
BOIS DE CHÂTAIGNIER. SPÉCIMENS DE XYLOTHÈQUE : À GAUCHE, UNE SECTION DE LOUPE DE CHÂTAIGNIER, PARTICULIÈREMENT APPRÉCIÉE POUR SES VALEURS ESTHÉTIQUES ; À DROITE, UNE SECTION LONGITUDINALE TYPIQUE.

**FIGURE 6**  
PRINCIPAUX ASSORTIMENTS LIGNEUX DU CHÂTAIGNIER.



Les grumes de châtaignier s'obtiennent à partir de drageons d'un diamètre maximal de 25 cm à hauteur de poitrine et sont utilisées en menuiserie et dans l'industrie du meuble, tandis que les grumes provenant de troncs d'arbres d'un diamètre plus important, jusqu'à 40 cm à hauteur de poitrine, sont utilisés pour réaliser des produits plus raffinés. En fonction des besoins du marché, les grumes peuvent être transformées en **placages tranchés, sciés ou déroulés**. Traditionnellement le bois de châtaignier est utilisé pour la fabrication de poutres, de planches, de **poteaux** de différentes tailles (par exemple, pour le mobilier urbain dans les parcs et les jardins, pour l'agriculture, pour l'ingénierie naturelle), de douves, de perles, de bardeaux et autres produits dérivés similaires. Le bois de châtaignier fait également l'objet d'une redécouverte orientée vers sa **valorisation** technologique, visant à créer des produits en bois innovants tels que des panneaux en bois massif avec des joints miniatures, ou des poutrelles creuses assemblées avec des colles époxy ou polyuréthane. Le bois de trituration a peu de valeur et est utilisé pour la production de panneaux ou l'extraction de tanins. Les petits assortiments qui ne conviennent pas à la transformation typique des grumes, ou les grosses gru-

mes présentant des défauts majeurs (forme anormale, nœuds excessifs, festonnage ou autres) sont destinés à la trituration. Le tanin extrait est utilisé dans des processus industriels particuliers dans les marchés de niche de la peinture, le tannage et la chimie. L'utilisation du châtaignier comme bois de chauffage est limitée et uniquement locale, car la présence de tanins et le fait qu'il ne soit pas facile à sécher rendent l'espèce inadaptée à ce type d'utilisation. Outre la fourniture d'assortiments ligneux, le taillis de châtaigniers permet la récolte directe ou indirecte de **produits non ligneux**, dont les **châtaignes**, mais qui n'ont rien à voir, en termes de quantités et de qualité, avec celles des châtaigneraies fruitières. Le châtaignier alimente également certaines filières importantes comme celle de la production de miel, le **miel** de châtaignier étant très apprécié par les consommateurs pour son profil organoleptique particulier. Le châtaignier est également une espèce associée aux ectomycorhizes établissant des symbioses avec divers **champignons** basidiomycètes **comestibles**. En outre, les forêts de châtaigniers sont des habitats propices à la fructification d'une vaste gamme de champignons appréciés sur le marché et par les consommateurs pour leurs valeurs gastronomiques,

notamment l'*Amanita Césarée* ou bon ovule et les «cèpes» (*Boletus edulis* et d'autres espèces du même genre).

Bien que le taillis ne soit pas la forme de gouvernance forestière la plus adaptée à la consolidation des coteaux, les taillis de châtaigniers sont en fait des formations qui contribuent à **protéger** les coteaux et les escarpements de **l'érosion** et de la **perte de sol**. En effet, les houppiers et les troncs interceptent les précipitations, régulent l'écoulement des eaux et réduisent le ruissellement de surface, tandis que les systèmes racinaires retiennent le sol en remplissant leur fonction d'ancrage des souches et des baliveaux (**figure 7**).

**FIGURE 7 - TAILLIS DE CHÂTAIGNIERS MÉLANGÉS À D'AUTRES FEUILLUS SUR UN COTEAU RAIDE. DANS CE CONTEXTE, LA FONCTION DE PROTECTION CONTRE LE RISQUE D'ÉROSION ET DE PERTE DE SOL EST FONDAMENTALE.**



Le châtaignier et les forêts où il est présent, non seulement contribuent à protéger les habitations, les infrastructures et autres objets contre les risques liés aux chutes de pierres, aux glissements de terrain et aux avalanches, mais sont en même temps un élément clé du *paysage forestier* caractéristique des collines et des montagnes des zones transfrontalières italo-suisse. Il n'est pas rare que ces peuplements s'insèrent dans des contextes où la forêt est un endroit apprécié par les touristes, les randonneurs, les cyclistes et les familles, surtout à l'époque de la fructification et de la chute des marrons et des châtaignes. Compte tenu de la longévité de l'espèce, des souches ou baliveaux peuvent eux-mêmes devenir des éléments attractifs présentant un certain intérêt paysager, comme c'est le cas pour des spécimens de vieux *arbres* ou d'*arbres très anciens* (Figure 8), lesquels constituent généralement des *réservoirs de biodiversité*.

Bien que les châtaigneraies ne figurent pas parmi les formations forestières les plus riches en biodiversité végétale, elles sont considérées comme des *habitats* importants pour la conservation de la faune, qui comprend les amphibiens, les reptiles, les oiseaux, les mammifères et les

micromammifères, pour n'en citer que quelques-uns.



La sylviculture du *taillis de châtaignier* est consolidée par la pratique, corroborée par l'expérience et codifiée par la littérature et les manuels classiques, qui reposent sur de solides bases technico-scientifiques. Les possibilités d'intervention varient essentiellement en fonction de l'âge et de l'état du peuplement, et se différencient entre taillis au stade juvénile, au stade mûr, taillis au-delà de la courte-rotation et taillis balivable.

Le *taillis au stade juvénile* est constitué de souches dont les drageons ont au maximum 15 ans. Dans ce contexte, la compétition intraspécifique est très importante et il faut intervenir rapidement et de façon assez intense, dans le but de favoriser les drageons potentiellement les plus prometteurs, avant qu'une compétition excessive ne soit préjudiciable aux accroissements diamétriques des futurs sujets.

Les drageons de *taillis au stade mûr* ont environ 20 à 30 ans. Dans ce cas, si l'on n'a pas l'intention de procéder immédiatement à la coupe d'exploitation finale, il est possible d'attendre tout en procédant à des éclaircissements immédiats pour favoriser les individus les plus prometteurs.

**FIGURE 8**  
VIEUX CHÂTAIGNIER. LE TRONC CREUX EST LE RÉSULTAT DE L'ACTION DES CHAMPIGNONS RESPONSABLES DU CHANCRE DANS LA PARTIE CENTRALE AYANT PROVOQUÉ LES CAVITÉS VISIBLES À L'EXTÉRIEUR (CHANCRE APPARENT). LES ARBRES VIEUX OU TRÈS ANCIENS, SOUVENT RÉSERVOIRS DE BIODIVERSITÉ, PEUVENT REPRÉSENTER DES ÉLÉMENTS CARACTÉRISTIQUES DU PAYSAGE FORESTIER ET AGRO-FORESTIER DES RÉGIONS TRANSFRONTALIÈRES ITALO-SUISSES.

Le **taillis au-delà de la courte-rotation** (généralement entre 16 et 30 ans) est défavorable pour le peuplement où un processus de libre évolution est vraisemblablement en cours suite à l'abandon de la station. Le scénario envisageable dépend de l'état général du peuplement, sur lequel on peut intervenir par un déblaiement, ou par des éclaircissements visant à favoriser les individus encore prometteurs, si ceux-ci sont présents en quantité suffisante.

Le **taillis balivable** implique une approche composite. D'une part, il faut valoriser les baliveaux dont le port et la vigueur végétative justifient leur mise en circulation et leur culture pour l'avenir ; d'autre part, il est nécessaire de favoriser les drageons les plus prometteurs. Si les conditions stationnelles et culturales le permettent, on peut procéder à des éclaircissements sélectifs, mais si l'état du peuplement est compromis, on peut opter pour un abattage de régénération.

Lorsque le peuplement est monospécifique ou que le châtaignier est nettement prépondérant, mais qu'il existe d'autres essences forestières adaptées aux conditions du site, il est possible d'intervenir afin de favoriser l'évolution du peuplement vers une **composition plurispécifique** plus équilibrée.

Les indications sylvicoles gé-

nérales contenues dans ce chapitre sont valables pour les peuplements où le châtaignier ne présente aucunes altérations évidentes imputables à des problèmes phytosanitaires. En présence de symptômes de maladies, ou par mesure de précaution pour éviter leur apparition, il est en effet conseillé de compléter les bonnes pratiques sylvicoles par d'autres interventions ciblées pour protéger et sauvegarder la santé du peuplement. Le projet MONGE-FITOFOR, en surveillant et en étudiant les criticités phytosanitaires du châtaignier et en s'appuyant sur une base scientifique solide, vise donc à définir des **lignes directrices** possibles pour la **gestion forestière** à appliquer là où des maladies ou des infestations d'insectes imposent une sylviculture orientée vers la **protection des plantes**.

## **APERÇU GÉNÉRAL DES PRINCIPALES MALADIES DU CHÂTAIGNIER**

Historiquement, le châtaignier est connu pour être **sensible** à un certain nombre de maladies infectieuses, notamment le **chancre de l'écorce** causé par le champignon ascomycète *Cryphonectria parasitica* (Murrill) M.E. Barr. et la **maladie de l'encre** causée par le

chromista *Phytophthora cambivora* (Petri) Buisman et *P. cinnamomi* Rands. Ces deux maladies peuvent provoquer des dommages considérables aux vergers et aux taillis de châtaigniers, avec souvent des taux de mortalité élevés. Outre ces deux maladies historiques du châtaignier, de nouveaux problèmes phytosanitaires sont apparus récemment. L'un des principaux est représenté par *Gnomoniopsis castaneae* Tamietti, un champignon ascomycète qui, depuis les années 2000, est non seulement le principal agent de la pourriture du châtaignier dans le monde entier, mais est aussi potentiellement responsable du **chancre de l'écorce** et parfois de la **nécrose des feuilles**. Le châtaignier peut également être affecté par d'autres maladies infectieuses qui, bien que localement et sporadiquement importantes, ne sont généralement pas considérées comme des menaces pour l'espèce. Il s'agit notamment de la **septoriose**, une maladie foliaire causée par le champignon ascomycète *Mycosphaerella maculiformis* (Pers.) J. Schröt, de la **pourriture des racines** provoquée par des champignons basidiomycètes appartenant au genre *Armillaria*, et de la **pourriture du tronc** causée par des champignons basidiomycètes, notamment *Daedalea*

*quercina* (L.) Pers, *Fistulina hepatica* (Schaeff.) With et *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill.

L'état sanitaire des taillis et des châtaigneraies est encore plus complexe suite à l'apparition de vastes **dépérissements** signalés de plus en plus fréquemment depuis le début des années 2000 dans le nord-ouest de l'Italie. Outre certains insectes ayant fortement affecté le châtaignier au cours de la même période, notamment la *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera Cynipidae), le **cynips du châtaignier**, une **guêpe** asiatique qui développe la **galle** du châtaignier, de fréquentes tempêtes de grêle violentes ont également été signalées dans les mêmes zones, probablement à la suite du changement climatique en cours. Alors que les infestations de *D. kuriphilus* et ses dommages ont été considérablement réduits grâce à des campagnes de lutte biologique efficaces, les **maladies** attribuables aux **chromistes** et aux **champignons phytopathogènes** ainsi que les effets du **changement climatique** représentent une **menace persistante** pour la stabilité des **écosystèmes** où le châtaignier est présent ou dominant. C'est pourquoi la surveillance phytosanitaire réalisée dans le cadre du projet MONGEFITOFOR s'est prin-

principalement concentrée sur le chancre de l'écorce, la maladie de l'encre et les maladies associées à *G. castaneae*. Néanmoins, les symptômes des peuplements sélectionnés ont été surveillés afin de vérifier l'existence éventuelle d'autres maladies qui pourraient représenter une menace significative pour les zones transfrontalières italo-suisse.

### LE CHANCRE DE L'ÉCORCE DU CHÂTAIGNIER

*Le chancre de l'écorce du châtaignier* est une **maladie infectieuse** causée par le champignon ascomycète *Cryphonectria parasitica*, un **pathogène**, signalé pour la première fois en Europe dans les années 1930, qui s'est rapidement répandu sur tout le continent et dans presque toute l'aire de répartition du châtaignier. À l'heure actuelle, rares sont les pays européens où *C. parasitica* n'est pas présent. L'introduction accidentelle puis la propagation de *C. parasitica* ont suscité beaucoup d'inquiétude et de préoccupation sur le continent européen, car ce pathogène avait déjà été à l'origine de l'**extinction** presque complète du châtaignier d'Amérique (*Castanea dentata* [Marsh.] Borkh.) aux

États-Unis. On estime en effet que *C. parasitica* s'est propagé à travers les États-Unis sur une superficie de 3,6 millions d'hectares à un rythme d'environ 30 km par an, provoquant la mort de 3,5 milliards de châtaigniers américains entre 1904, date du premier signalement de la maladie à New York, et 1950 environ. Bien que l'impact de la maladie sur le châtaignier européen n'ait pas été aussi dramatique, le chancre de l'écorce est considéré comme l'un des principaux **ravageurs** de cette espèce, avec des taux de **mortalité** élevés.

Les symptômes des châtaigniers infectés sont facilement reconnaissables et la maladie se manifeste et progresse également de façon caractéristique et étroitement liée au cycle biologique de l'agent pathogène. Les **premiers symptômes** sont visibles sur le **tronc**, les **branches** ou les **rameaux** de l'arbre. En présence de **plaies** ou de **plaies superficielles**, des brèches s'ouvrent dans l'écorce qui permettent à l'**inoculum infectieux** du pathogène de pénétrer. *C. parasitica* est en effet un **pathogène** typique des blessures, c'est-à-dire un micro-organisme pouvant infecter l'hôte suite à la présence de blessures qui exposent les tissus sous-l'écorce, que celles-ci soient d'origine naturelle (frottement entre organes ligneux, lésions

causées par la faune sauvage, conséquences d'un impact de grêle) ou anthropique (greffage, élagage, coupe, impacts suite à des opérations culturales sur les sites forestiers) (**figure 9**). L'inoculum infectieux du pathogène qui pénètre par les blessures de l'écorce est principalement constitué de spores. En effet, *C. parasitica* produit des pseudo-tissus (*stroma*) qui se présentent comme de minuscules excroissances vésiculaires arrondies et punctiformes, visibles à l'œil nu et mesurant entre 0,5 et 2 mm. Au niveau de ces «*pustules*» de *couleur jaune-orange* ou *rougeâtre* caractéristique (**figure 10**), *C. parasitica* différencie des structures spéciales qui libèrent des *spores*.



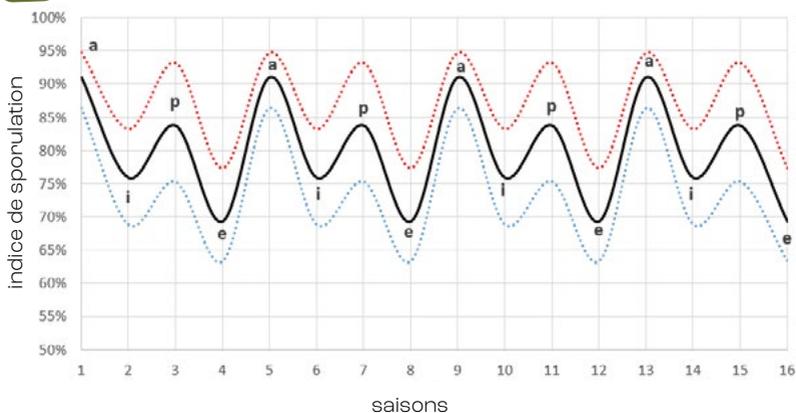
**FIGURE 9**  
LES BLESSURES ET LES LÉSIONS SUR LES TRONCS ET LES BRANCHES DE CHÂTAIGNIER SONT PROPICES À LA PÉNÉTRATION DE L'INOCULUM INFECTIEUX DE *CRYPTHONECTRIA PARASITICA* QUI VA AINSI COLONISER LE CAMBIUM. SUR L'IMAGE UNE BLESSURE PROVOQUÉE PAR FROTTEMENT MÉCANIQUE SURVENUE ACCIDENTELLEMENT LORS DE TRAVAUX DE CULTURE SUR UN SITE FORESTIER.

**FIGURE 10**  
*CRYPTHONECTRIA PARASITICA*: STROMAS VISIBLES SOUS FORME DE COUSSINETS ARRONDIS ÉMERGEANT DE L'ÉCORCE DE L'ORGANE LIGNEUX INFECTÉ. AU NIVEAU DU STROMA, LE CHAMPIGNON PRÉSENTE DES STRUCTURES REPRODUCTIVES ET MULTIPLICATIVES CHARGÉES DE LA PRODUCTION ET DE LA LIBÉRATION D'ASCOSPORES ET DE CONIDIES.

Il peut s'agir d'*ascospores* d'origine sexuelle, libérées par les périthèces du champignon, ou de *conidies* à reproduction

agamique, libérées par les pycnides. Les ascospores sont principalement transportées par l'*air*, tandis que la disper-

11



12



**FIGURE 11**  
ÉVOLUTION TEMPORELLE DE LA PRESSION D'INOCULUM DE *CRYPHONECTRIA PARASITICA* DANS LES SECTEURS ALPINS DU NORD-OUEST (EN NOIR) TIRÉE DES DONNÉES RAPPORTÉES DANS LA LITTÉRATURE (LIONE ET AL. 2022). LE GRAPHIQUE MONTRE LA SIMULATION DE LA TENDANCE SUR 4 ANS (16 SAISONS CONSÉCUTIVES,

1 À 16 EN ABSCSSE). UN TAUX DE SPORULATION EMPIRIQUE EST INDIQUÉ POUR CHAQUE SAISON (A : AUTOMNE ; I : HIVER ; P : PRINTEMPS ; E : ÉTÉ) (EN ORDONNÉE). LES MAXIMA DE L'AUTOMNE ET DU PRINTEMPS, ET LES MINIMA DE L'ÉTÉ ET DE L'HIVER SONT ÉVIDENTS. LES COURBES ROUGES ET BLEUES INDIQUENT L'INCERTITUDE DE LA SIMULATION (INTERVALLES DE CONFIANCE À 95%).

**FIGURE 12**  
SYMPTÔMES DE L'INFECTION DE *CRYPHONECTRIA PARASITICA* SUR UN DRAGEON DE CHÂTAIGNIER. L'INCISION DE L'ÉCORCE ET DES TISSUS SOUS-JACENTS PERMET DE DÉCOUVRIR LE CAMBIUM, QUI APPARAÎT COMME UN TISSU VITAL VERT VIF (1). LA MÊME INCISION, PRACTIQUÉE PLUS À GAUCHE, MONTRE AU CONTRAIRE LA NÉCROSE DU CAMBIUM CAUSÉE PAR L'INFECTION ET L'ASSOMBRISSEMENT DU CAMBIUM QUI EN RÉSULTE (2). AU NIVEAU DE LA NÉCROSE DU CAMBIUM, ON PEUT VOIR LE MYCÉLIUM DE COULEUR CRÈME DE *C. PARASITICA* (3). À L'EXTÉRIEUR, RIEN DE TOUT CELA N'EST VISIBLE, ALORS QUE DES DÉCOLORATIONS ROUGEÂTRES SUR L'ÉCORCE (4) ET DES LÉSIONS CANCÉREUSES (5) SONT ÉVIDENTES LÀ OÙ LE TRONC DÉPÉRIT. LES FIGURES SUIVANTES ILLUSTRONT PLUS EN DÉTAIL LES SYMPTÔMES DÉCRITS.

sion des conidies est facilitée par l'**eau de pluie**, mais les deux facteurs jouent un **rôle épidémiologique** extrêmement important. En effet, les arbres sains contractent la maladie essentiellement à travers les spores qui favorisent la propagation du pathogène. Une étude récente (Lione *et al.* 2022, voir Bibliographie essentielle) a révélé que dans les Alpes du Nord-Ouest, la production de spores de *C. parasitica* a lieu tout au long de l'année. Cependant, l'évolution de la pression d'inoculum (spores libérées par le pathogène) montre la présence de deux pics, l'un au printemps et l'autre en automne, suivis d'un minimum en été et d'un minimum en hiver (**figure 11**). Lorsque le nombre de jours de pluie avec des précipitations comprises entre 1 et 10 mm/jour augmente au cours d'une semaine, la pression d'inoculum a également tendance à augmenter à la fin de cette semaine. Étant donné que le **risque d'infection** sur un site donné dépend de la pression de l'inoculum, dans les **secteurs alpins du nord-ouest**, celle-ci est **maximale** au **printemps**, en **automne** et pendant les **semaines pluvieuses**. Outre les spores, le **mycélium** peut également être une source d'inoculum infectieux, bien que la transmission de la maladie par le mycélium soit moins fréquente et se vé-

rifie principalement à la suite d'interventions anthropogéniques (par exemple, greffage à l'aide de matériel de propagation infecté ou sur des portegreffes infectés, utilisation d'outils de coupe contaminés). Lorsque l'inoculum pénètre dans la plaie et déclenche l'infection, le mycélium du pathogène se développe et colonise le **faisceau cribro-vasculaire**. Anatomiquement, le cambium est une assise libéro-ligneuse située sous l'écorce et constituée de quelques couches de cellules vivantes permettant à l'arbre de croître diamétralement, en produisant de nouveaux tissus et en remplissant ainsi une fonction indispensable à la vie de l'arbre. Le mycélium de *C. parasitica* affecte la structure et la fonctionnalité du cambium dont il absorbe les nutriments. *C. parasitica* agit selon un mécanisme propre aux **agents pathogènes nécrotrophes**, c'est-à-dire en tuant les cellules et les parties de tissu vivant avec lesquelles le mycélium entre en contact à travers la production d'**enzymes** et de **phytotoxines**. La **mort du cambium** au niveau des parties du tissu colonisées par le mycélium se traduit par un symptôme techniquement appelé **nécrose**, à savoir un **assombrissement** marqué du tissu en question, qui du vert vif typique vire au brun ou au brun noirâtre. Le **mycélium** de l'agent

pathogène est également reconnaissable, par son aspect de feutre de **couleur crème** et ses bords en forme d'éventail. Cependant, étant donné la position du cambium, ni la nécrose ni la présence du mycélium ne sont visibles à l'œil nu car ils sont sous l'écorce. Il faut donc retirer l'écorce après l'avoir incisée avec un instrument tranchant, pour pouvoir observer le symptôme dans le tissu du cambium et vérifier la présence du mycélium de *C. parasitica* (**figure 12**).

Cependant, l'infection provoque également une série de **symptômes visibles**, qu'il est possible d'observer directement dans la forêt. Les premiers symptômes de la maladie sont visibles sur la surface des organes ligneux, sur lesquels apparaissent des **zones abîmées** où l'écorce semble concave suite à la perte de fonctionnalité du cambium (**figure 13**). Par la suite, **l'écorce change de couleur**, avec des taches **orange** ou **rouge brique** (**figure 14**).

Les contraintes de croissance générées par la nécrose partielle du cambium provoquent l'apparition du symptôme le plus caractéristique de la maladie, à savoir le **chancre**, qui se traduit par l'apparition de **lésions** sur l'écorce et les tissus sous-jacents, visibles sous forme de lésions longitudinales plus ou moins profondes et de **fissures**,

autour desquelles l'**écorce** apparaît **effilochée** avec des plaques ou des bandes de rhytidome soulevées. Nous pouvons observer deux **types** principaux de **chancre** sur les châtaigniers, le **chancre mortel** (**figure 15**), avec des lésions généralement plus proéminentes, marquées et sillonnées, et le chancre cicatrisé.

**FIGURE 13**

DRAGEON DE CHÂTAIGNIER SUR LEQUEL ON PEUT OBSERVER UNE ZONE FORTEMENT CONCAVE PAR RAPPORT AU RESTE DE L'ÉCORCE PAR RAPPORT AU RESTE DE L'ÉCORCE TOUT AUTOUR. LA DÉPRESSION (SURLIGNÉE EN JAUNE) EST UNE CONSÉQUENCE DE L'INACTIVATION DU CAMBIUM CAUSÉE PAR L'INFECTION DE *CRYPHONECTRIA PARASITICA*.

**FIGURE 14**

CHÂTAIGNIER PRÉSENTANT DES MODIFICATIONS DE LA COULEUR DE L'ÉCORCE, SOUS FORME DE TACHES ORANGE OU ROUGE BRIQUE, DONT L'APPARITION EST UN SYMPTÔME INDUIT PAR *CRYPHONECTRIA PARASITICA*.



A la base d'un chancre mortel, il y a une prolifération de pousses épicorniques qui se dessèchent rapidement. La **partie distale** de l'organe affecté manifeste des symptômes de souffrance au-dessus du point où le chancre se développe, comme le flétrissement, le dépérissement et la chute prématurée des feuilles (**phylloptose anticipée**), qui précèdent le **dessèchement** et la **mort de la branche**, de la **pousse**, du **drageon** ou de l'**arbre** affecté (**figure 16**). Dans le cas d'un chancre létal, aucun dépôt évident de tissu cicatriciel n'est observé. En revanche, dans le cas d'un **chancre cicatrisé** (**figure 17**), les symptômes sont atténués : les lésions sont moins marquées et tendent à se répartir superficiellement, il n'y a pas d'émission de pousses à la base du chancre et l'arbre a la possibilité de contraster physiologiquement l'agent pathogène. Cette réaction se traduit par le **dépôt d'un cal cicatriciel**, grâce auquel l'évolution de la maladie ne provoque pas le dessèchement de l'organe atteint, à moins qu'il ne s'agisse de jeunes branches, de drageons ou de greffons d'un diamètre particulièrement réduit. Le chancre mortel peut à son tour se distinguer en fonction du **niveau de cicatrisation**, mais pour simplifier l'exposé dans ce manuel, nous parlerons plus simplement de chancre cicatrisé.





16A



16B



16C

#### FIGURE 15

DES CHANCRES DE L'ÉCORCE MORTELS SONT APPARUS SUR DES DRAGEONS DE CHÂTAIGNIER À LA SUITE D'UNE INFECTION PAR *CRYPHONECTRIA PARASITICA*. LES LÉSIONS PROFONDES ET SILLONNÉES QUI S'ÉTENDENT LE LONG DE LA PARTIE AFFECTÉE DE L'ORGANE LIGNEUX SONT VISIBLES. À LA BASE DU CHANCRE REPRÉSENTÉ SUR L'IMAGE DE GAUCHE, ON PEUT VOIR LES POUSSES ÉPICORMIQUES ÉMISES PAR L'ARBRE ET QUI SE SONT DESSÉCHÉES SOUS L'ACTION DU PATHOGÈNE. LA PROLIFÉRATION DE CES POUSSES VÉGÉTATIVES EST UN PHÉNOMÈNE QUE L'ON PEUT OBSERVER DE MANIÈRE RÉCURRENTÉ EN PRÉSENCE DE CHANCRES MORTELS.

#### FIGURE 16

CHÂTAIGNIERS PRÉSENTANT DES SYMPTÔMES AU NIVEAU DE LA COURONNE ASSOCIÉS À LA PRÉSENCE DE CHANCRES DE L'ÉCORCE MORTELS CAUSÉS PAR *CRYPHONECTRIA PARASITICA*. LA PARTIE DISTALE DES BRANCHES SE DESSÈCHE AU-DESSUS DU POINT OÙ LES LÉSIONS CANCÉREUSES SONT APPARUES (A). LES BRANCHES ET LES RAMEAUX SE DESSÈCHENT À CAUSE DES CHANCRES ET L'ARBRE RÉAGIT AVEC UNE PROFUSION DE POUSSES VÉGÉTATIVES ET DE POUSSES ÉPICORMIQUES (B). LE CHÂTAIGNIER SE DESSÈCHE ET MEURT EN RAISON DE LA GRAVITÉ DE LA MALADIE (C).

17A

**FIGURE 17**

CHANCRES CICATRISÉS DE L'ÉCORCE SUR DES DRAGEONS DE CHÂTAIGNIER SUITE À UNE INFECTION PAR *CRYPHONECTRIA PARASITICA*. LES LÉSIONS DE L'ÉCORCE ET DES TISSUS SOUS-JACENTS SONT PEU PROFONDES ET ON PEUT OBSERVER LA RÉACTION DE L'ARBRE, QUI DÉPOSE UN TISSU CICATRICIEL ABONDANT EN RÉACTION À L'INFECTION. EN CONSÉQUENCE, L'ÉCORCE EST PLUS OU MOINS ONDULÉE SELON LE NIVEAU DE CICATRISATION, MAIS NE S'EFFILOCHE PAS SENSIBLEMENT. À LA BASE DU CHANCRE, NOUS N'OBSERVONS PAS D'EXCROISSANCES DE RAMEAUX ÉPICORMIQUES, UN TRAIT DISTINCTIF DE LA PLUPART DES CHANCRES MORTELS. DANS CERTAINS CAS, UN GONFLEMENT DU DRAGEON PEUT ÊTRE OBSERVÉ À PROXIMITÉ DU CHANCRE NON MORTEL.

17B



17C



On sait que les chancres, mortels ou non, sont associés à deux types différents de souches de *C. parasitica*, à savoir les souches **virulentes** et **hypovirulentes**. Les souches hypovirulentes provoquent des chancres cicatrisés et présentent des caractéristiques génotypiques et phénotypiques qui les différencient nettement des souches virulentes, ces dernières étant associées à des chancres mortels. Les souches hypovirulentes de *C. parasitica* sont en effet des «agents pathogènes affaiblis» parce qu’elles ont été infectées par un virus appelé *Cryphonectria hypovirus 1 (CHV1)*. Le virus CHV1 atténue la virulence de *C. parasitica* ; en conséquence, ces souches provoquent des chancres avec des symptômes sensiblement atténués et dont l’évolution n’est généralement pas mortelle. Du point de vue de la morphologie, les cultures *in vitro* des souches hypovirulentes de *C. parasitica* sont blanchâtres avec une sporulation réduite par rapport aux souches virulentes (**figure 18**) généralement orangées.

**FIGURE 18**  
DIFFÉRENCES PHÉNOTYPIQUES ENTRE LES SOUCHES VIRULENTES ET HYPOVIRULENTES DE *CRYPHONECTRIA PARASITICA*. CULTURE *IN VITRO* D’UNE SOUCHE VIRULENTE DU PATHOGENE DONT LE MYCÉLIUM N’A PAS ÉTÉ INFECTÉ PAR *CRYPHONECTRIA HYPOVIRUS 1 (CHV1)* : LA COLONIE APPARAÎT DE COULEUR ORANGE ET LA PRODUCTION DE CONIDIES EST ABONDANTE (A). LA SECONDE IMAGE MONTRE UNE SOUCHE HYPOVIRULENTE DE *C. PARASITICA* INFECTÉE PAR *CHV1* : LA COLONIE EST BLANCHÂTRE ET LA PRODUCTION DE CONIDIES EST RÉDUITE (B).



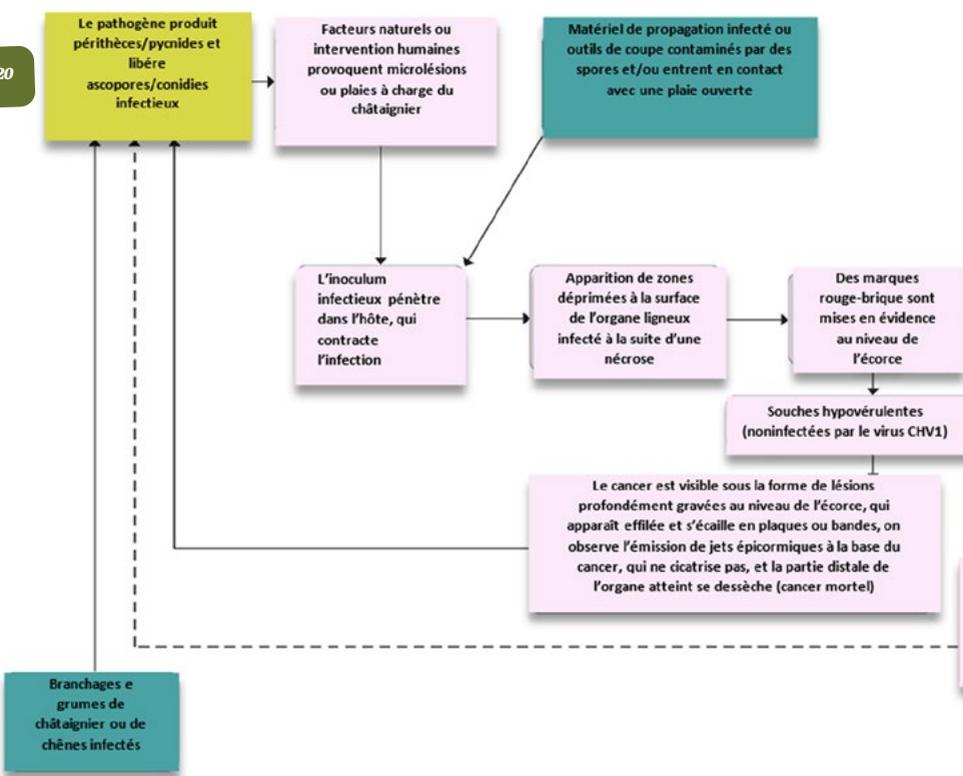


19

**FIGURA 19**  
BRANCHE DE CHÂTAIGNIER INFECTÉE PAR CRYPHONECTRIA PARASITICA PRÉLEVÉ DANS LA LITIÈRE. ON PEUT OBSERVER LE STROMA DU CHAMPIGNON, QUI SE PRÉSENTE SOUS LA FORME DE MINUSCULES COUSSINETS ROUGEÂTRES RÉPARTIS SUR LA SURFACE DE L'ÉCORCE. LES RAMEAUX ET LA COUVERTURE VÉGÉTALE CONSTITUENT UN RÉSERVOIR POTENTIEL POUR L'INOCULATION DU PATHOGÈNE.

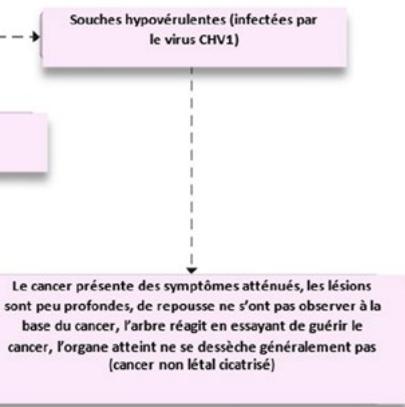
Le CHV1 peut être transmis de souches hypovirulentes infectées par le virus à des souches virulentes non infectées.

20



Lors de la transmission du virus, les souches virulentes subissent un processus de conversion qui les rend hypovirulentes. Ce phénomène (connu sous le nom d'*hypovirulence exclusive*) repose sur des *mécanismes biologiques complexes*, à la base des directives de contrôle *biologique et sylvicole* pour lutter contre le chancre de l'écorce de *C. parasitica* (voir le chapitre dédié et l'**encadré 3**). Au niveau du chancre, qu'il soit mortel ou non, l'agent pathogène produit les structures multiplicatives et/ou reproductives qui libéreront les spores responsables de nouvelles infections. Cependant, il faut rappeler qu'en tant

que pathogène non obligatoire, le champignon peut également survivre comme saprotrophe et produire des spores suite à la colonisation de substrats constitués de *souches* et de *branches de châtaigniers* au sol (**figure 19**). Le *cycle biologique* de *C. parasitica* se termine généralement par la production de stromates et de structures reproductives ou multiplicatives est (**figure 20**). Par ailleurs, *C. parasitica* peut infecter des arbres ou coloniser des souches et des branches de *chêne*, sur lesquels le pathogène ne provoque pas de dégâts significatifs, mais qui peuvent constituer un *réservoir d'inoculum infectieux*.



**FIGURE 20**  
SCHÉMA SIMPLIFIÉ DU CYCLE BIOLOGIQUE DE *CRYPHONECTRIA PARASITICA* ET DE SA RELATION AVEC LES SYMPTÔMES ET L'ÉVOLUTION DU CHANCRE DE L'ÉCORCE DU CHÂTAIGNIER. LA CASE VERTE INDIQUE LE DÉBUT CONVENTIONNEL DU CYCLE, LES CASES BLEUES TOUTES LES VARIANTES ENTRANTES, ET LES CASES ROSES DÉCRIVENT LES DIFFÉRENTES PHASES. LES FLÈCHES INDIQUENT LA SUCCESSION DES ÉVÉNEMENTS, LES HACHURES DISTINGUENT CERTAINES PARTICULARITÉS LIÉES AUX SOUCHES HYPOVIRULENTES DE L'AGENT PATHOGÈNE.

## MALADIE DE L'ENCRE DU CHÂTAIGNIER

*La maladie de l'encre* peut être considérée comme l'un des *principaux ravageurs* du châtaignier en Europe, où elle est signalée au Portugal, en Espagne et en Italie depuis au moins le XVIIIe siècle. Au XXe siècle, cette maladie a été en partie sous-estimée, principalement en raison de l'apparition et de la propagation rapide du chancre de l'écorce du châtaignier. Cependant, dans les années 1990, il semblerait qu'elle soit redevenue un sujet d'actualité, car les signalements de recrudescence et de nouveaux foyers ont considérablement augmenté. Aujourd'hui, la maladie de l'encre est principalement répandue dans le sud de l'aire de répartition du châtaignier (Espagne, Portugal, France, Suisse, Italie, Grèce, Roumanie, Macédoine, Turquie) même si des pays plus au nord comme l'Allemagne, la Grande-Bretagne et la République tchèque sont également de plus en plus touchés.

Les arbres atteints de la maladie de l'encre présentent un *éclaircissement de la couronne*, la présence de petites feuilles (*microphyllie*) et un *dépérissement* important et rapide. Au niveau du collet et

à la base du tronc des arbres, une *nécrose corticale* apparaît généralement accompagnée d'un écoulement de liquide noirâtre, d'où le nom de la maladie. Lorsqu'on enlève l'écorce, on observe un *flambage* caractéristique, avec une zone qui s'étend des racines jusqu'au collet où le cambium prend une *couleur noirâtre* (figure 21). L'ensemble du *système racinaire* étant touché, les arbres atteints de la maladie de l'encre ne peuvent pas émettre de nouveaux drageons, contrairement aux châtaigniers ayant contracté le chancre de l'écorce.

La maladie de l'encre est principalement causée par deux espèces d'oomycètes du genre *Phytophthora*, à savoir *P. cinnamomi* et *P. x cambivora*, des micro-organismes semblables aux champignons, mais étroitement liés aux algues brunes et aux diatomées. Les deux espèces *vivent dans le sol* où elles forment un réseau de *cellules filamenteuses* (hyphes). Dans des conditions météorologiques favorables, après de fortes pluies, elles peuvent produire des spores asexuées biflagellées (*zoospores*) qui ont la capacité de se déplacer activement dans la solution circulante du sol. Lorsque les zoospores atteignent les racines d'un châtaignier, elles perdent leurs flagelles, germent et déclenchent

une **infection** qui en général provoque la **pourriture mortelle des racines**. Dans des conditions défavorables (par exemple, des périodes de sécheresse), le *P. cinnamomi* peut également former un autre type de spores asexuées (*chlamydospores*), importantes pour sa survie à long terme. *P. cinnamomi* et *P. x cambivora* peuvent également se reproduire sexuellement et produire des oospores. *P. cinnamomi* et *P. x cambivora* **ne sont pas des espèces européennes**, la première est probablement originaire de Papouasie-Nouvelle-Guinée, tandis que l'origine exacte de *P. x cambivora*

est encore inconnue, et se sont rapidement répandues dans le monde entier à travers le commerce international de **matériel végétal infecté**. Les deux agents pathogènes peuvent s'attaquer à un très grand nombre de plantes hôtes. Avec un éventail de plus de 5000 espèces végétales, *P. cinnamomi* est l'une des 100 **espèces envahissantes** les plus dangereuses au monde. Outre les châtaigniers, il provoque en Europe des dégâts considérables sur les chênes-lièges (*Quercus suber*) et les chênes verts (*Quercus ilex*) dans la «dehesa», l'écosystème forestier méditerranéen typique du

**FIGURE 21**  
SYMPTÔMES TYPIQUES DE LA MALADIE DE L'ENCRE DU CHÂTAIGNIER. ÉCLAIRCISSEMENT ET DESSÈCHEMENT DE TOUTE LA COURONNE (A) ET NÉCROSE SOUS-CORTICALE NOIRÂTRE AU NIVEAU DU COLLET (B).

21A



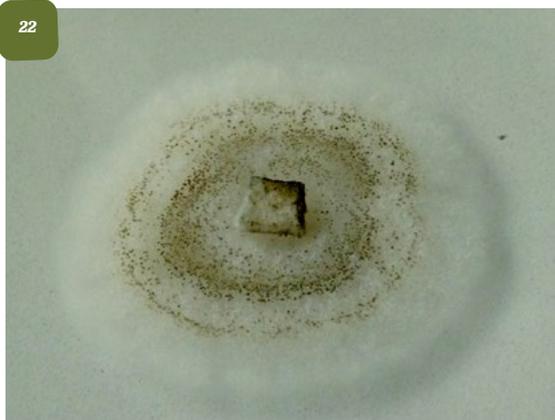
21B



sud-ouest ibérique. En Europe centrale, *P. x cambivora* est de plus en plus souvent signalé sur le hêtre (*Fagus sylvatica*). Le principal facteur limitant la propagation de ces deux pathogènes en Europe semble être la température, puisque le *P. cinnamomi* notamment est très sensible au froid et sa présence n'a pas encore été signalée dans des régions avec des températures minimales inférieures à 1,4 °C. Dans une châtaigneraie touchée par la maladie de l'encre, le sol est contaminé par l'un ou les deux pathogènes et penser d'éradiquer complètement la maladie n'est pas réaliste. Les stratégies de lutte visent donc à **réduire l'incidence de la maladie** et à **empêcher sa propagation**, en utilisant une méthode relativement simple et généralement réalisable qui consiste à **améliorer le drainage du sol**, grâce à la création par exemple de **canaux** pour évacuer les eaux de surface. En effet, les sols humides où l'eau stagne ou s'écoule lentement favorisent la formation et la propagation des zoospores qui peuvent se déplacer activement dans l'eau. En particulier après de fortes pluies, ces zoospores se développent en masse et sont disséminées sur une grande surface par l'eau de pluie, avec un risque d'infection accru. Il faut éviter à tout prix de transporter de la **terre contaminée** (simplement par les

semelles des chaussures ou les pneus des véhicules forestiers), en particulier pendant et immédiatement après les pluies. Les châtaigniers asiatiques étant moins sensibles à la maladie de l'encre, les hybrides euro-asiatiques pourraient constituer une alternative viable au châtaignier européen dans des situations spécifiques (par exemple, dans les châtaigneraies fruitières). Quoi qu'il en soit, les semis et autres matériels de propagation doivent être achetés uniquement chez des pépiniéristes professionnels et après avoir minutieusement contrôlé le matériel susmentionné.

22



**FIGURE 22**  
CULTURE IN VITRO DU CHAMPIGNON ASCOMYCÈTE PHYTOPATHOGÈNE *GNOMONIOPSIS CASTANEA*.



**FIGURE 23**  
POURRITURE DU MARRON CAUSÉE PAR *GNOMONIOPSIS CASTANEA*. LE SYMPTÔME LE PLUS TYPIQUE EST UNE POURRITURE PROVOQUANT LA DÉGRADATION DE L'ENDOSPERME, DONT LA COULEUR VIRE AU BRUN (A), MAIS LE CHAMPIGNON PEUT ÉGALEMENT PROVOQUER LA DÉSHYDRATATION DU FRUIT, QUI TEND À PRENDRE UNE CONSISTANCE CRAYEUSE ET UNE COULEUR BLANCHÂTRE (B).

## MALADIES ASSOCIÉES AU GNOMONIOPSIS CASTANEAEE

Depuis le début des années 2000, les producteurs de châtaignes de certains pays comme l'Italie et la Suisse ont commencé à se plaindre d'une augmentation significative des pertes de produits dans leurs vergers de châtaigniers en raison d'une incidence élevée de la pourriture du châtaignier. Les symptômes observés avant et après la récolte au niveau de l'endosperme ne coïncidaient pas exactement avec les symptômes des agents les plus courants de la pourriture des fruits, notamment les champignons ascomycètes *Ciboria batschiana* (Zopf) N.F., *Phoma* spp. et *Phomopsis* spp. En outre, les essais d'isolement bactérien réalisés à plusieurs reprises ont permis d'obtenir des colonies dont les caractéristiques macro- et micromorphologiques particulières ne correspondaient pas à celles des espèces fongiques généralement associées à la pourriture des châtaignes. D'autres études et des investigations plus approfondies ont révélé que l'agent causal de la recrudescence de la pourriture des fruits était une espèce encore inconnue de champignon ascomycète, décrite pour la première fois en 2012 sous le

nom de *Gnomoniopsis castaneae* (figure 22), également connue sous le nom de *G. smithogilyvi*. Depuis, les signalements de l'agent pathogène n'ont cessé de se multiplier en Europe, en Asie, en Océanie et en Amérique. L'aire de répartition géographique actuelle du pathogène n'est pas encore entièrement connue, tandis que son aire d'origine est totalement inconnue. Cependant, vu l'impact et les niveaux d'incidence et de gravité que la **pourriture du châtaignier** (figure 23) causée par *G. castaneae* a provoqués jusqu'à présent, la communauté scientifique et les experts du secteur s'accordent à dire que ce pathogène est l'une des principales menaces pour la culture des fruits du châtaignier à l'échelle intercontinentale.

La pourriture des fruits est un sujet qui dépasse le cadre de ce manuel, car elle n'est pas strictement liée à la sylviculture et aux principaux services écosystémiques fournis par les forêts de châtaigniers gérées par des taillis. Cependant, *G. castaneae* n'est pas seulement un agent responsable de la pourriture du châtaignier, mais a également été associé à d'autres maladies, y compris des **chancres de l'écorce**. Bien que les connaissances sur la relation entre *G. castaneae* et les chancres de l'écorce soient encore largement insuffisantes à l'heure

actuelle, certaines indications suggèrent que les chancre causés par le pathogène ne sont pas très différents de ceux causés par *C. parasitica*, à tel point que dans de nombreux cas, *G. castaneae* a été isolé de manière inattendue lors de campagnes de surveillance phytosanitaire ciblant *C. parasitica*. Des tests réalisés en milieu contrôlé au moyen d'inoculations artificielles ont mis en évidence la pathogénicité de *G. castaneae* et sa capacité à reproduire des symptômes de nécrose des tissus sous- l'écorce et de cancer. Pour ce qui concerne la forêt cependant, nous ne disposons pas encore d'une estimation fiable de l'impact cancérigène supposé de *G. castaneae*, difficile à effectuer dans la pratique en raison de plusieurs facteurs. Tout d'abord, faire une distinction entre les chancre causés par *G. castaneae* et *C. parasitica* peut s'avérer particulièrement compliqué si on se limite à examiner les symptômes. En outre, *G. castaneae* est un champignon particulièrement polyvalent, capable de coloniser les châtaignes et les tissus des arbres verts en tant qu'**endophyte**, c'est-à-dire un organisme vivant à l'intérieur d'un végétal sans pour autant en être le parasite. Une situation encore plus complexe en raison du fait que *G. castaneae* est également un **champignon saprotrophe**, capable de

coloniser des substrats provenant de substance organique d'origine végétale présente dans la litière. Par conséquent, même en isolant *G. castaneae* à partir de tissus de châtaigniers symptomatiques, il serait hasardeux d'établir un lien de cause à effet entre la présence du champignon et le symptôme. En effet, *G. castaneae* pourrait être présent dans les tissus sous l'écorce en tant qu'endophyte, en tant que pathogène latent (c'est-à-dire un champignon capable de passer de l'état d'endophyte à celui d'agent pathogène), ou bien après l'action de *C. parasitica*. L'étude scientifique et expérimentale de l'étiologie du chancre de *G. castaneae* dépasse le cadre du projet MONGEFITOFOR, mais il est essentiel de surveiller la présence du pathogène dans les zones transfrontalières italo-suisse afin d'en détecter la présence, d'en connaître l'incidence et la répartition géographique. Actuellement, parmi les quelques comparaisons disponibles, un signalement montre une incidence de 39% de *G. castaneae* sur des branches de châtaignier symptomatiques, limitée à certains sites du Cachemire indien. En ce qui concerne l'association entre *G. castaneae* et la **nécrose des feuilles**, les connaissances disponibles sont tout aussi limitées et jusqu'à présent aucun signalement significatif sur cette

question n'a été trouvé dans la littérature.

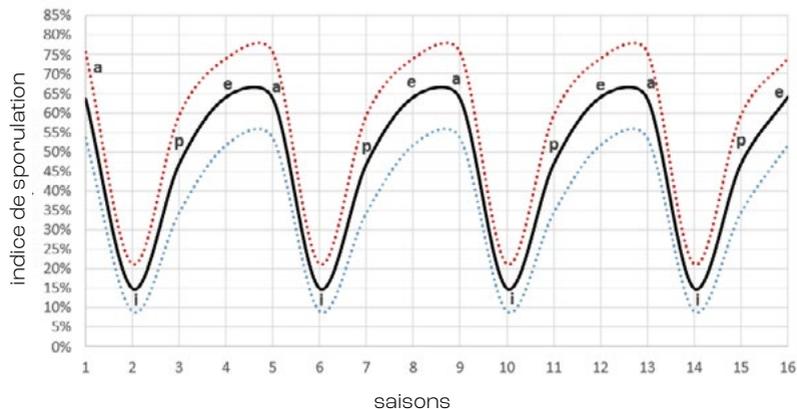
En ce qui concerne le **cycle biologique, l'épidémiologie et l'écologie** de *G. castaneae*, on sait que le champignon produit les structures reproductrices de la forme sexuée sur les épines des bogues de châtaignes au sol. En revanche, les structures reproductrices de la phase asexuée sont produites sur la surface des bogues de châtaignes ou sur les éventuelles galles de *D. kuriphilus*. Les ascospores et les conidies infectent le châtaignier par voie florale pendant l'anthèse, provoquant la pourriture du châtaignier, le cycle se terminant par la chute des

bogues. Cependant, on ne peut pas exclure l'existence d'autres modes d'infection, notamment en ce qui concerne le chancre. Dans les zones alpines du nord-ouest, la pression de l'inoculum (entendue comme la **production d'ascospores** et de **conidies**) indique que *G. castaneae* est capable de libérer un inoculum infectieux tout au long de l'année. Bien qu'aucune véritable tendance saisonnière ne soit évidente comme dans le cas de *C. parasitica*, la production d'inoculum de *G. castaneae* atteint son minimum en hiver, alors que pendant les autres saisons, les valeurs sont statistiquement comparables (**figure 24**).

**FIGURE 24**  
ÉVOLUTION SAISONNIÈRE DE LA PRODUCTION DE SPORES DE GNOMONIOPSIS CASTANEAEE DANS LES SECTEURS ALPINS DU NORD-OUEST (EN NOIR) TIRÉE DES DONNÉES RAPPORTÉES DANS LA LITTÉRATURE (LIONE ET AL. 2021). LE GRAPHIQUE MONTRE LA SIMULATION DE LA TENDANCE SUR 4 ANS (16 SAISONS CONSÉCUTIVES, 1 À 16 EN ABS-CISSE). POUR CHAQUE SAISON (A : AUTOMNE ; I :

HIVER ; P : PRINTEMPS ; E : ÉTÉ), UN TAUX DE SPORULATION EMPIRIQUE (EN ORDONNÉE) EST REPRÉSENTÉ, INDICANT LA PRESSION DE L'INOCULUM. LES MINIMA HIVERNAUX SONT ÉVIDENTS, TANDIS QUE LE PRINTEMPS, L'ÉTÉ ET L'AUTOMNE PRÉSENTENT DES VALEURS STATISTIQUEMENT COMPARABLES. LES COURBES EN ROUGE ET EN BLEU INDICENT L'INCERTITUDE DE LA SIMULATION (INTERVALLES DE CONFIANCE À 95 %).

24



Du point de vue écologique, il semblerait que les *températures plus douces* non seulement favorisent une *incidence plus élevée* de la pourriture des fruits, mais représentent également un facteur important pour une *pression d'inoculum* infectieux plus élevée de *G. castaneae*. L'*augmentation de la pression de l'inoculum* est également positivement corrélée aux *rafales de vent* affectant une station donnée.

## **SURVEILLANCE PHYTO-SANITAIRE DU CHÂTAIGNIER DANS LA VALLÉE D'AOSTE**

Dans le cadre du projet MONGEFITOFOR, une campagne systématique de *surveillance phytosanitaire du châtaignier* a été menée dans la Vallée d'Aoste à travers une série de *relevés forestiers*, accompagnées de la collecte d'*échantillons biologiques* ensuite *analysés en laboratoire*. En ce qui concerne les maladies du châtaignier décrites précédemment et les pathogènes cibles *C. parasitica*, *G. castaneae* et *Phytophthora* spp., leur présence, leur répartition et leur impact n'étaient pas connus pour le côté italien des zones transfrontalières limitrophes de la Suisse. Pour obtenir des informations précises

sur ce sujet, certaines activités ont été menées dans le cadre du projet MONGEFITOFOR, en particulier :

- évaluer qualitativement et quantitativement les *symptômes* du châtaignier dans les taillis représentatifs des zones transfrontalières italo-suisse ;
- *diagnostiquer* la présence, estimer l'incidence et déterminer la distribution spatiale des agents pathogènes ciblés ;
- vérifier la présence éventuelle d'autres problèmes phytosanitaires.

Afin de sélectionner les sites sur lesquels effectuer la surveillance, une caractérisation préliminaire des taillis de châtaigniers a été effectuée sur la base du recensement des types de forêts et des données du Corps forestier de la Vallée d'Aoste. D'autres opérations de sélection ont été faites en adoptant une série de critères visant à combiner les exigences technico-scientifiques avec les aspects logistiques et administratifs, en privilégiant les sites :

- situés sur toute l'aire de répartition naturelle du châtaignier dans la Vallée d'Aoste, aussi bien dans le sens latitudinal que dans le sens longitudinal;
- situés à des altitudes représentatives de celles où pousse le châtaignier dans la région;
- équilibrés pour ce qui concerne l'exposition du versant;

- situés sur des versants avec différents dénivelés;
- desservis par des routes donc accessibles;
- de préférence de propriété publique ou appartenant à un consortium.

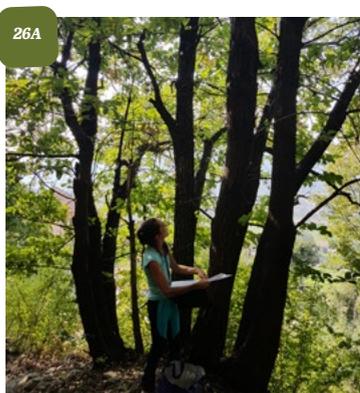
La surveillance de l'état de santé du châtaignier dans la région de la Vallée d'Aoste a été réalisée sur une période de deux ans (2020-2021) avec des analyses de terrain pendant l'été sur 21 sites spécialement sélectionnés (**figure 25**).

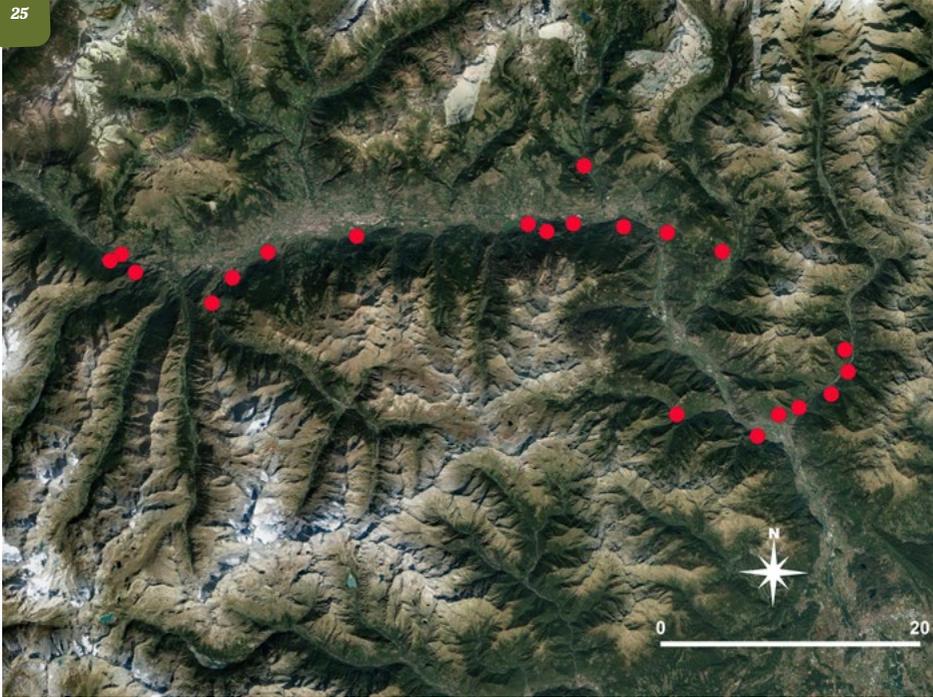
Une caractérisation des sites a été effectuée pour acquérir des variables dendrométriques et phytopathologiques pertinentes (**figure 26**) avec notamment une analyse visuelle de la symptomatologie, en vérifiant sa cohérence avec les connaissances tirées de la littérature scientifique internationale.

Des échantillons biologiques ont été prélevés sur les tissus ligneux (**figure 26**) des châtaigniers en végétation et sur les châtaignes présentes au niveau de la litière, et ont ensuite été envoyés 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*. Ces analyses ont permis de

vérifier la présence des pathogènes ciblés et de quantifier leur incidence (**encadré 2**).

**FIGURE 25**  
CARTE DES SITES OÙ UNE SURVEILLANCE PHYTOSANITAIRE A ÉTÉ RÉALISÉE SUR LES CHÂTAIGNIERS DANS LE CADRE DU PROJET MONGEFITOFOR. SUR LA CARTE, LES SITES SONT SURLIGNÉS EN ROUGE. EN ARRIÈRE-PLAN, IMAGE SATELLITE DES ZONES TRANSFRONTALIÈRES ITALO-SUISSES CONCERNÉES PAR LE PROJET (SOURCE : GOOGLE MAPS, 2023).





**FIGURE 26**  
 ACQUISITION DES VARIABLES UTILES À LA CARACTÉRISATION DENDROMÉTRIQUE ET À L'ÉVALUATION DE L'ÉTAT DE SANTÉ GLOBAL DU CHÂTAIGNIER. L'OPÉRATEUR MESURE LES DIAMÈTRES DES DRAGEONS DE SOUCHE ET ÉVALUE LA SÉVÉRITÉ DES SYMPTÔMES ASSOCIÉS AUX PATHOGÈNES CIBLÉS, TOUT EN VÉRIFIANT LA PRÉSENCE D'AUTRES CRITICITÉS ÉVENTUELLES (A). PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLONS DE TISSUS LIGNEUX À PROXIMITÉ DES CHANCRÉS (B). PRÉLÈVEMENT DE COLLIERS POUR VÉRIFIER LA PRÉSENCE D'ÉVENTUELS SYMPTÔMES LIÉS À LA MALADIE DE L'ENCRE (C).

## INCIDENCE, GRAVITÉ ET RÉPARTITION DES MALADIES DU CHÂTAIGNIER ET DES AGENTS PATHOGÈNES CIBLES

Les taillis de châtaigniers surveillés dans la Vallée d'Aoste se trouvent entre 380 m et 1380 m d'altitude, la plupart (67%) dans la basse vallée, le reste dans la moyenne (9%) et la haute vallée (24%), avec des dénivelés variant entre 3% et 78%. Les études dendrométriques ont montré que les châtaigniers présents dans les zones du projet ont tendance à être matures ou très anciens, bien qu'il y ait également des sites avec des drageons plus jeunes. Les diamètres moyens des drageons à hauteur de poitrine se situent approximativement entre 30 et 35 cm, mais localement des diamètres beaucoup plus importants ont été enregistrés en raison de la présence de baliveaux résultant du mélange de taillis et d'anciennes châtaigneraies fruitières abandonnées. En revanche, des diamètres moyens légèrement supérieurs à 10-15 cm ont été constatés sur certains sites de taillis plus récents.

L'analyse approfondie des symptômes décrits dans les chapitres précédents a permis d'évaluer l'état de santé du châtaignier dans les zones du

projet côté italien, où la présence, l'incidence et la gravité des différentes maladies associées aux *pathogènes cibles* *C. parasitica*, *G. castaneae* et *Phytophthora* spp. n'étaient pas connues avant le début du projet MONGEFITOFOR.

Dans l'ensemble, des *symptômes de chancre de l'écorce* du châtaignier ont été constatés *sur tous les sites contrôlés*, bien que très différents en termes de caractéristiques stationnelles, culturelles et dendrométriques. Les données semblent donc suggérer que, même dans les zones transfrontalières italo-suisse, le chancre de l'écorce du châtaignier a frappé un grand nombre d'arbres de différentes classes d'âge et enracinés sur des sites aux conditions environnementales et de gestion différentes. Des symptômes de chancre de l'écorce ont été trouvés à la fois sur les *drageons* et les *semis, ainsi que des chancres mortels et des chancres cicatrisés* observés avec les symptômes caractéristiques attribuables au *C. parasitica* (**figure 28**).

## ENCADRÉ 2

### Diagnostic en laboratoire

L'observation des symptômes sur le terrain permet d'identifier l'existence d'un problème phytosanitaire et de formuler quelques hypothèses sur ses causes possibles, mais le diagnostic en laboratoire permet de s'assurer de la présence du pathogène et de confirmer son identité. Dans le cadre du projet MONGEFTOFOR, les analyses de laboratoire ont été effectuées principalement en utilisant les techniques classiques de microbiologie et de microscopie, y compris des essais d'isolement bactérien. Après la collecte d'échantillons de tissus végétaux, les opérateurs travaillent dans un environnement stérile, sous une hotte biologique, et placent quelques fragments de l'échantillon en culture sur des substrats agarisés spéciaux. L'objectif est d'obtenir des cultures in vitro de micro-organismes pathogènes (figure 27). Les colonies de champignons ou de chromista ainsi obtenues sont ensuite soumises à des analyses microscopiques ou moléculaires (par exemple, PCR, PCR en temps réel) pour déterminer leur identité au niveau de l'espèce.



**FIGURE 27**  
QUELQUES PHASES DES TESTS DE LABORATOIRE EFFECTUÉS SUR DES ÉCHANTILLONS BIOLOGIQUES DE TISSUS DE CHÂTAIGNIERS. LES IMAGES MONTRENT QUELQUES MOMENTS DE L'EXÉCUTION DES TESTS D'ISOLEMENT BACTÉRIEN VISANT À DIAGNOSTIQUER LES



PATHOGÈNES CIBLÉS. OPÉRATIONS RÉALISÉES DANS UN ENVIRONNEMENT STÉRILE, SOUS UNE HOTTE BIOLOGIQUE, POUR METTRE EN CULTURE QUELQUES FRAGMENTS DE TISSUS SUR DES SUBSTRATS AGARISÉS (A). BOÎTES DE PETRI AVEC COLONIES FONGIQUES DÉVELOPPÉES À PARTIR DES FRAGMENTS DE TISSUS MIS EN CULTURE (B).

Le pourcentage de *branches* et de rameaux *desséchés calculé* montrent une moyenne globale de 35 %, avec une valeur minimale de 4 % et une valeur maximale de 64 %. Dans l'ensemble, les pourcentages de dessèchement des branches étaient similaires entre la basse et la haute vallée, avec 30 % pour la première et 36 % pour la seconde. Par contre, dans la moyenne vallée, les dessèchements sont en moyenne de 62%. Toutefois seuls deux des 21 sites surveillés se trouvent dans la moyenne vallée, ces chiffres n'ont donc pas une valeur statistique particulière.

La *gravité du chancre* a été estimée en adoptant un système de classes, en considérant les 5 premiers mètres de hauteur de l'arbre à partir du collet et en évaluant la présence de 0-1, 2, 3, 4, 5 ou plus de chancres (classes 1, 2, 3, 4 et 5 respectivement). En moyenne, le *score* des sites contrôlés était de 4, avec un minimum de 1,6 et un maximum de 5. La basse vallée a enregistré le même score avec des valeurs moyennes de 3,7, tandis que des valeurs plus élevées ont été enregistrées dans la haute vallée (4,4) et la moyenne vallée (4,8). Il semble donc y avoir une *corrélation positive* (confirmée par un coefficient de Pearson de 0,71 statistiquement significatif) *entre l'incidence du dessèchement des branches* et la *gra-*

*vité du chancre*, comme on peut s'y attendre compte tenu de la biologie du pathogène et de son interaction avec l'hôte infecté, interaction qui est connue pour déterminer l'évolution de la maladie.

Le diagnostic effectué en laboratoire à partir d'échantillons biologiques de tissus sous l'écorce collectés sur le terrain a révélé la *présence* de *C. parasitica* sur 10 sites des 21 concernés (soit une *incidence de 48 %*) et de *G. castaneae* sur 17 sites (soit une incidence de 81 %). Parmi ceux-ci, la présence des deux pathogènes, 2 (9,5%) exclusivement de *C. parasitica*, 9 (43%) exclusivement de *G. castaneae* a été enregistrée sur 8 sites (38%), tandis que pour les 2 sites restants (9,5%) aucun isolat de l'une ou l'autre espèce n'a été obtenu. Les cartes de la distribution spatiale de *C. parasitica* et de *G. castaneae* produites sur la base des résultats décrits ci-dessus sont présentées ci-dessous (*figure 29*).

**FIGURE 28**  
XEMPLS REPRESENTATIFS DE LA SYMPTOMATOLOGIE ASSOCIÉE AU CHANCRE DE L'ÉCORCE RÉSULTANT DE LA SURVEILLANCE PHYTOSANITAIRE DES DRAGEONS DE CHÂTAIGNIERS ET DES BALIVEAUX DANS LES TAILLIS CÔTÉ ITALIEN. PRÉSENCE DE CHANCRES MORTELS (AU PREMIER PLAN) ET DE CHANCRES CICATRISÉS (ARRIÈRE-PLAN) SUR LES JEUNES POUSSÉS DANS LES TAILLIS (A). TACHES ROUGE BRIQUE CONCAVES ET LÉSIONS CANCÉREUSES NAISANTES SUR L'ÉCORCE D'UN JEUNE DRAGON (B). PULVÉRISATIONS DE CRYPHONECTRIA PARASITICA SUR DES BRANCHES SYMPTOMATIQUES (C).

28A



28B



28C



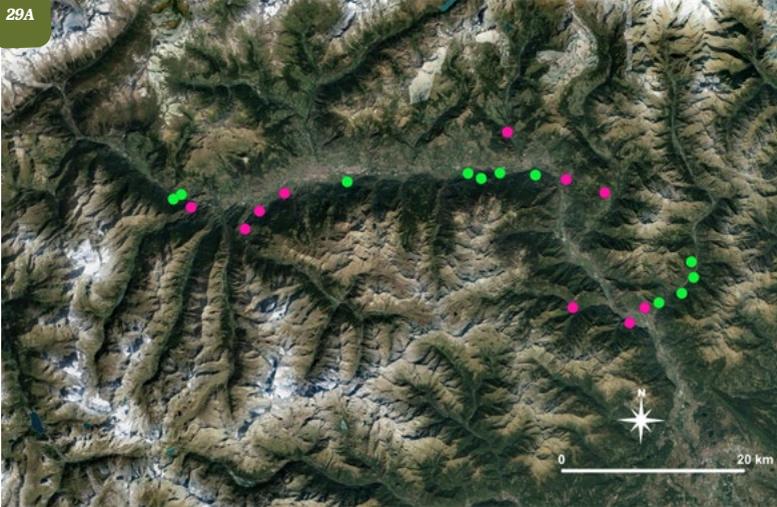
Au *niveau des sites* où la présence des pathogènes a été constatée, leur *incidence* (pourcentage d'arbres infectés) était en moyenne de **62%** pour *C. parasitica* et de **57%** pour *G. castaneae*, avec dans les deux cas des minima et des maxima de **20-25%** et **100%**. Les données semblent suggérer que les deux pathogènes sont présents et répandus sur l'aire de répartition du châtaignier du côté de la Vallée d'Aoste des secteurs transfrontaliers italo-suisse. Cependant, comme mentionné ci-dessus, l'incidence de *G. castaneae* ne permet pas en soi de mesurer de façon fiable l'impact du chancre potentiellement associé. En effet, pour *G. castaneae*, il est impossible de distinguer, sur le plan diagnostique, le statut de champignon phytopathogène de celui de micro-organisme endophyte. Cependant, il est intéressant de noter que sur un bon nombre de sites (43%) où des symptômes de chancre de l'écorce ont été observés, les opérateurs ont pu isoler *G. castaneae*, mais pas *C. parasitica*. Il est impossible de savoir si ce résultat est une conséquence de l'étiologie du chancre, des phénomènes de compétition interspécifique ou des processus de succession des communautés fongiques associées aux chancres. La présence de *G. castaneae* a également été analysée dans les châtaignes

et les résultats de l'analyse en laboratoire ont révélé que 11 sites sur 21 (52%) avaient des fruits pourris infectés. Dans l'ensemble, *G. castaneae* semble être un pathogène présent et abondant, représentant un *facteur de risque potentiel* pour la culture du châtaignier à bois et à fruits dans les secteurs alpins transfrontaliers et qui devrait faire l'objet d'une *surveillance accrue à l'avenir*.

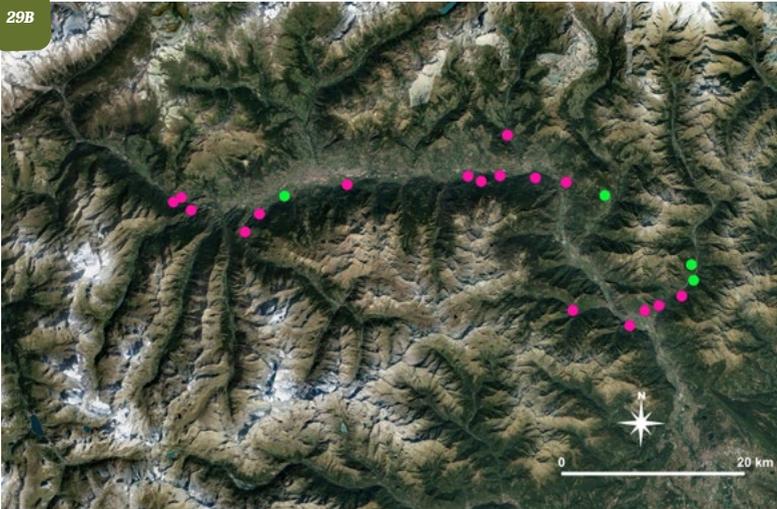
En ce qui concerne *Phytophthora* spp. aucune situation présentant une symptomatologie attribuable à la maladie de l'encre n'a été détectée, à la seule exception de deux stations situées près de Saint-Marcel et de Saint-Denis. Cependant, une analyse approfondie des arbres affectés et les tentatives d'isolement bactérien qui ont suivi n'ont pas fourni de preuves diagnostiques concluantes confirmant la présence de ces agents pathogènes.

La surveillance phytosanitaire du châtaignier réalisée dans le cadre du projet MONGEFITOFOR a ainsi permis de constater à quel point le *chancre de l'écorce* et les champignons phytopathogènes *C. parasitica* et *G. castaneae* sont non seulement présents mais également très répandus dans la Vallée d'Aoste, affectant une grande partie de l'aire de répartition du châtaignier dans les plaines, les collines et les régions de basse

29A



29B



**FIGURE 29**  
 CARTES DES SITES OÙ *CRYPTONECTRIA PARASITICA* (A) ET *GNOMONIOPSIS CASTANEA* (B) ONT ÉTÉ DIAGNOSTIQUÉS À LA SUITE DE LA SURVEILLANCE PHYTOSANITAIRE EFFECTUÉE DANS LE CADRE DU PROJET MONGEFITOFOR.

LES SITES OÙ LES PATHOGÈNES ONT ÉTÉ OBSERVÉS 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).

montagne de la vallée. Les sites étudiés occupent en effet une vaste zone et s'étendent sur environ 57 km longitudinalement et 21 km latitudinalement, couvrant virtuellement une zone topographique de près de 1200 km<sup>2</sup> avec un dénivelé de 1000 m.

Cependant, il faut souligner que la santé du châtaignier semble être assez dynamique et il n'est pas exclu que l'apparition ou la recrudescence de certaines maladies soit liée aux anomalies météorologiques de plus en plus fréquentes enregistrées au cours de ces dernières années. Des études récentes ont souligné, par exemple, le rôle joué par les phénomènes météorologiques, tels que les **orages de grêle**, qui favorisent les infections par *C. parasitica*. En effet, la grêle est un agent capable de provoquer des lésions sur les tissus de l'écorce qui, en exposant le cambium sous-jacent, facilitent la pénétration du pathogène et l'apparition des symptômes de la maladie (**figure 30**).

Il est intéressant de mentionner qu'à la date de la rédaction de ce manuel (juin 2023), de nombreux signalements ont été faits concernant le dépérissement important des châtaigniers près de Pont-Saint-Martin. Ces signalements ont été vérifiés par le Corps forestier de la Vallée d'Aoste et surveillés par des

**drones** équipés d'une caméra vidéo et d'un appareil photo adapté aux prises de vue aériennes. Bien qu'il soit nécessaire d'effectuer des investigations diagnostiques supplémentaires dans un avenir proche pour mieux comprendre l'étiologie de ces dépérissements, leur apparition soudaine semble indiquer que les opérations de **surveillance phytosanitaire continue, capillaire et constante** du territoire sont fondamentales pour la **protection du patrimoine forestier** transfrontalier. Ce principe est l'une des pierres angulaires que le projet MONGEFITOFOR laisse derrière lui, et il appartiendra aux acteurs du contexte forestier et environnemental de relever ce défi et tous les autres défis qui se présenteront à court et à long terme (**figure 31**).

30



## SURVEILLANCE DE LA MALADIE DE L'ENCRE DU CHÂTAIGNIER EN SUISSE

La *maladie de l'encre* du châtaignier a été officiellement signalée pour la première fois en 1943, du côté suisse des zones transfrontalières italo-suissees couvertes par le projet MONGEFITOFOR (dans le canton du Tessin). Cependant, ce n'est qu'à partir de 2014 qu'un relevé systématique de la répartition de la maladie a été mené sur mandat de la section forestière cantonale, et poursuivi dans les années 2019-2021 dans le cadre du projet «La maladie de l'encre du châtaignier est-elle favorisée par le changement climatique ?» financé par l'Office fédéral de l'environnement (Programme pilote d'adaptation au changement climatique, phase II). Grâce au projet **MONGEFITOFOR**, cette campagne de surveillance a pu être menée à terme dans le Tessin et dans le Val Bregaglia (Grisons)

**FIGURE 30**

BRANCHE DE CHÂTAIGNIER TOUCHÉE PAR LA GRÊLE PRÉSENTANT DES SYMPTÔMES NAISSANTS DE CHANCRE DE L'ÉCORCE (TACHES ROUGE BRIQUE) À PROXIMITÉ DES LÉSIONS PROVOQUÉE PAR L'ÉVÉNEMENT MÉTÉOROLOGIQUE.

**FIGURA 31**

BRANCHE DE CHÂTAIGNIER TOUCHÉE PAR LA GRÊLE PRÉSENTANT DES SYMPTÔMES NAISSANTS DE CHANCRE DE L'ÉCORCE (TACHES ROUGE BRIQUE) À PROXIMITÉ DES LÉSIONS PROVOQUÉE PAR L'ÉVÉNEMENT MÉTÉOROLOGIQUE.

31A



31B



avec une série de relevés forestiers, accompagnés de la collecte d'échantillons de sol ensuite analysés en laboratoire. Un sondage réalisé auprès des services forestiers cantonaux a permis d'identifier les châtaigneraies potentiellement touchées par la maladie. Des échantillons de sol ont ensuite été prélevés sur les arbres symptomatiques et analysés en laboratoire pour confirmer la présence de *Phytophthora* spp. à l'aide de la technique des plantes appâts (figure 32).

Les échantillonnages réalisés de 2014 à 2021 **ont confirmé** la présence de la **maladie de l'encre** du châtaignier dans les Alpes du sud de la Suisse avec au total, 25 foyers identifiés, la plupart d'entre eux causés par ***P. cinnamomi***. Dans la vallée du Bergell (Castasegna), cependant, seul ***P. x cambivora*** a été identifié (Figure 33). Dans le canton du Tessin, les foyers ne sont pas uniformément répartis sur le territoire mais sont regroupés dans la région de Locarno (de Brissago à Brione et Terre de Pedemonte) et dans la région de Lugano (Valle del Vedeggio). Dans ces deux régions, la présence d'infrastructures artificielles, notamment des zones résidentielles, des zones industrielles et des voies de communication (chemins de fer, routes, autoroutes), est particulièrement importante. Les taillis vieillissés et les vieilles fo-

rêts de châtaigniers ont été touchés par la maladie de l'encre, quel que soit le type de gestion mis en œuvre ou l'état d'abandon.

**FIGURE 32**  
ISOLEMENT DE PHYTOPHTHORA SPP. AVEC LA TECHNIQUE DES PLANTES APPÂTS. DES ÉCHANTILLONS DE SOL PRÉLEVÉS À LA BASE DES MARRONNIERS SYMPTOMATIQUES ONT ÉTÉ PLACÉS DANS DES CUVETTES EN PLASTIQUE ET IMMÉRÉS DANS L'EAU. DES FEUILLES DE RHODODENDRON ONT ENSUITE ÉTÉ AJOUTÉES COMME APPÂTS POUR PHYTOPHTHORA SPP, PUIS, SUR LES ÉVENTUELLES LÉSIONS QUI SE SONT DÉVELOPPÉES SUR CES FEUILLES, DES COLONIES DE PHYTOPHTHORA SPP. ONT ÉTÉ ISOLÉES, CULTIVÉES IN VITRO ET IDENTIFIÉES.



## INTERVENTIONS SYLVICOLES ET PHYTOSANITAIRES POUR LA GESTION DES TAILLIS DE CHÂTAIGNIERS ATTEINTS PAR LE CHANCRE DE L'ÉCORCE

Vu la présence de plantes infectées par *C. parasitica*, le rôle potentiel de *G. castaneae* comme champignon cancérigène et l'existence d'une symptomatologie compromise, il semble nécessaire d'adopter des mesures techniques appropriées pour compléter les pratiques traditionnelles de gestion des taillis de châtaigniers. Les connaissances acquises après une analyse approfondie de la littérature scientifique internationale et l'expérience acquise dans le cadre du projet MONGEFITOFOR, grâce également à l'échange de compétences entre les partenaires du projet, ont permis de définir un certain nombre de **lignes directrices** pour la gestion des **interventions sylvicoles** et **phytosanitaires** en accord avec les fonctions et les services écosystémiques fournis par les taillis de châtaigniers. En particulier, la **préservation de peuplements vigoureux de châtaigniers ou avec des châtaigniers** est certainement un objectif prioritaire, mais qui ne peut être atteint qu'après avoir ana-

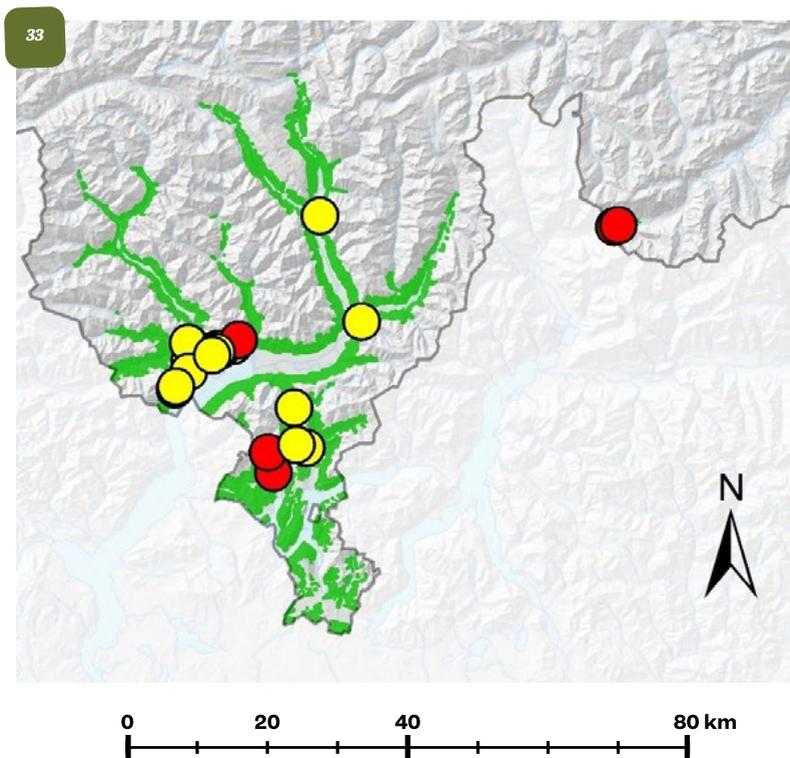
lysé scrupuleusement la santé de l'arbre, du peuplement dans son ensemble et les perspectives d'avenir prévisibles. Une gestion sylvicole pratiquée en l'absence de mesures appropriées et cohérentes avec l'écologie et l'épidémiologie des agents pathogènes associés au chancre de l'écorce est vouée à un résultat modeste qui, dans la pratique, risque d'être bien en deçà des attentes légitimes. S'il est possible de mettre en œuvre une **lutte biologique contre *Cryphonectria parasitica*** basée sur le phénomène d'**hypovirulence exclusive** (encadré 3), cette option semble **peu praticable** en sylviculture en raison de contraintes technico-opérationnelles, logistiques et économiques. En effet, la lutte biologique contre *C. parasitica* est une intervention complexe, pratiquée localement dans des contextes particuliers caractérisés par une rentabilité élevée (par exemple, les châtaigneraies de grande valeur) ou une valeur de conservation (par exemple, la création variétale).

Bien que, pour les raisons susmentionnées, la lutte biologique au sens strict du terme, ne soit souvent pas réalisable dans un taillis de châtaigniers, il est néanmoins possible d'exploiter le phénomène biologique de l'hypovirulence exclusive en adoptant des interventions

spécifiques, à savoir *élagage*, *éclaircissage* et *taille* visant à *éliminer mécaniquement les chancres mortels* tout en *préservant les chancres cicatrisés* présents sur le site. Étant donné que les chancres mortels sont causés par des souches virulentes de *C. parasitica*, tandis que les autres chancres sont as-

sociés à des souches hypovirulentes, éliminer les chancres mortels équivaut à une tentative d'éradication partielle des souches virulentes présentes sur le site. En procédant de la sorte, la population de souches virulentes tend à se réduire, tandis que celle des souches

**FIGURE 33**  
RÉPARTITION ACTUELLE DE LA MALADIE DE L'ENCRE DU CHÂTAIGNIER DANS LES ALPES DU SUD DE LA SUISSE (CANTONS DU TESSIN ET DES GRISONS). EN JAUNE, LES FOYERS DUS À *PHYTOPTHORA CINNAMOMI* ET EN ROUGE CEUX DUS À *P. X. CAMBIVORA*.



# ENCADRÉ 3

## Lutte biologique contre *Cryphonectria parasitica*

Le virus CHV1 mentionné dans les chapitres précédents est techniquement une molécule ARN double (ARNdB), qui peut être transmise par anastomose hyphale sous le contrôle d'un système de compatibilité végétative homozygote impliquant 5 à 7 marqueurs génétiques (marqueurs v-c). Si deux isolats ont des allèles identiques à tous les marqueurs, l'ARNdB peut être transférée et, à la suite de ce transfert, une souche virulente devient hypovirulente. Ce phénomène, connu sous le nom d'hypovirulence exclusive, est à la base des stratégies de lutte biologique contre le chancre de l'écorce du châtaignier. Pour que l'intervention soit efficace, l'une des stratégies les plus consolidées comprend les étapes suivantes: I) identification locale des chancres mortels et des chancres cicatrisés; II) prélèvement local d'échantillons symptomatiques et isolement en laboratoire de *C. parasitica* associé aux différents chancres; III) réalisation de tests microbiologiques et moléculaires pour identifier les souches virulentes, les souches hypovirulentes et les groupes de compatibilité végétative; IV) sélection des souches hypovirulentes présentant le taux le plus élevé de compatibilité végétative avec les souches virulentes locales; V) multiplication de l'inoculation des souches hypovirulentes sélectionnées; et VI) inoculation artificielle dans les châtaigneraies sur les chancres mortels (figure 34). Sachant que pour le virus CHV1 la transmission horizontale se fait par anastomose hyphale, alors que la transmission verticale ne se fait que par conidies, et seulement avec un pourcentage variable de cas, il est évident que la conversion de souches virulentes en souches hypovirulentes est un processus biologique qui prend beaucoup de temps. En effet, les résultats de la lutte biologique commencent à être utilisables au moins dix ans après l'intervention. Choisir la lutte biologique impose évidemment un certain nombre de contraintes, car elle nécessite des analyses lourdes du point de vue technique et économique, des laboratoires bien équipés et un personnel hautement spécialisé, ainsi que la possibilité opérationnelle de réaliser les inoculations sur des branches et des troncs de châtaigniers qui ne sont pas toujours faciles d'accès.

34



**FIGURE 34**  
INOCULATION ARTIFICIELLE DE SOUCHES HYPOVIRULENTES DE *CRYPHONECTRIA PARASITICA* À DES CHANCRES MORTELS POUR METTRE EN ŒUVRE LA LUTTE BIOLOGIQUE SUR LE TERRAIN.

**entraver les échanges gazeux.** Ces mastics peuvent en effet créer un «**effet de chambre humide**», et un environnement saturé d'humidité favorable à la germination des spores ou au **développement du mycélium des champignons phytopathogènes** (figure 35).

Après les interventions sylvicoles, il faudra également **enlever les houppiers et les branches** du site, y compris ceux des chênes présents, des substrats sur lesquels le *C. parasitica* est capable de produire un inoculum infectieux ; par ailleurs, leur élimination de la zone d'intervention (éventuellement en les **réduisant en copeaux**) peut être utile pour réduire la pression de l'inoculum et, par conséquent, le risque d'infection.

Si l'on envisage de planter des **noyaux de régénération artificielle** parce que les conditions sont défavorables à la régénération naturelle du châtaignier, ou parce que l'on souhaite introduire le châtaignier dans des zones spécifiques pour augmenter les espèces indigènes présentes sur le site, il est recommandé de procéder à une **inspection phytosanitaire** approfondie du matériel de propagation, qui est de toute façon nécessaire dans le cas des pépinières de châtaigniers, précisément pour éviter la propagation

de *C. parasitica*. L'inspection est essentielle non seulement pour éviter de planter des jeunes semis qui pourraient rapidement succomber à la maladie, mais aussi pour protéger le peuplement existant contre toute **recrudescence du chancre de l'écorce**. Transporter le matériel végétatif infecté sur un site peut entraîner l'**introduction de souches** virulentes de *C. parasitica* appartenant à des **groupes de compatibilité végétative** qui n'y sont pas présents, ce qui réduit drastiquement la probabilité que ces souches soient naturellement converties en hypovirulentes.

La **fertilisation** peut également être une intervention utile, à effectuer avec le désherbage **mécanique**, pour augmenter la **vigueur végétative** des **semis** plantés dans les noyaux de régénération artificiels. Certaines observations empiriques suggèrent que les produits à base de **silicate de potassium** pourraient également garantir une protection limitée contre *C. parasitica*, mais il faut souligner que des études approfondies et des études spécifiques sur ce sujet sont encore en cours.

Quelles que soient les opérations prévues sur le site forestier (plantation de semis, coupe de terre végétale, concentration, transport ou autre), celles-ci doivent être réalisées en **l'absence de précipitations** sur

le site au **cours des 7 jours précédant les interventions**. En cas de précipitations, il est conseillé de suspendre les opérations et de ne les reprendre qu'après au moins 7 jours sans pluie (surtout si celles-ci sont comprises entre 1 et 10 mm par jour). En effet au bout d'une semaine de précipitations, la pression de l'inoculum de *C. parasitica* augmente considérablement, ce qui accroît sensiblement le risque d'infection. Réaliser des interventions lorsque l'abondance des spores présentes sur le site est réduite équivaut à **diminuer le risque** que de nouvelles infections affectent le peuplement.

Outre ces directives, certains **aspects phytosanitaires** relatifs à la sécurité et à la stabilité mécanique des baliveaux et des souches doivent également être pris en compte. En présence de châtaigniers symptomatiques et gravement atteints, il faut également surveiller l'évolution possible de la maladie et la présence d'autres parasites, comme les champignons responsables de la charlarose et la pourriture des racines. En effet, la stabilité mécanique d'un châtaignier qui pousse dans des environnements anthro-

pisés ou exploités d'une autre manière, peut être gravement menacée. Un **abattage phytosanitaire** ciblé peut alors s'avérer nécessaire pour **protéger les biens et les personnes** des dommages éventuels causés par la chute et le renversement de l'arbre.

En ce qui concerne *G. castaneae*, il n'existe pas encore de preuves scientifiques permettant de définir des stratégies sylvicoles

35



**FIGURE 35**  
UTILISATION D'UN MASTIC NON ADAPTÉ CONTRE LES INFECTIONS FONGIQUES PHYTOPATHOGÈNES. EN FORMANT UN FILM ÉPAIS ET NON TRANSPIRANT, LE MASTIC A CRÉÉ UN ENVIRONNEMENT HUMIDE FAVORABLE AU

DÉVELOPPEMENT DE *CRYPHONECTRIA PARASITICA* ET D'AUTRES CHAMPIGNONS. EN RETIRANT LE MASTIC, ON PEUT EN EFFET VOIR L'ÉPAIS FEUTRE MYCÉLIEN QUI SE TROUVE EN DESSOUS.

opérationnelles dont l'efficacité est prouvée ou plausible. Mais il faut savoir que la prophylaxie des infections par *C. parasitica*, en principe, ne se heurte pas à la prévention des infections par *G. castaneae*. Parmi les mesures proposées, désinfecter les outils de coupe et réduire les blessures accidentelles aux arbres sont également une option valable contre ce pathogène.

### EXEMPLES D'APPLICATION : SITES PILOTES DE MONGEFITOR

Dans le cadre du projet MONGEFITOR, 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* des taillis de châtaigniers affectés par le chancre de l'écorce du châtaignier. Les sites pilotes se trouvent sur deux parcelles communales non contiguës, à environ 500 m à vol d'oiseau l'une de l'autre, sur le territoire de la commune de Fontainemore, Hameau Boussolusa (parcelle 21) et Hameau Tetas (parcelle 13), à une altitude d'environ 1 000 mètres. Les parcelles s'étendent sur un versant de coteau de moyenne altitude exposé à l'ouest, se caractérisent par des dénivelés importants et par la présence d'affleurements rocheux ou de terrasses avec des murs en pierres sèches. Les deux

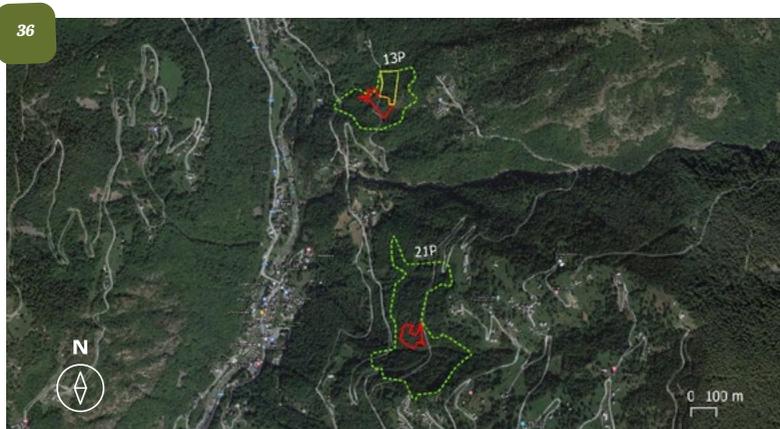
parcelles sont traversées par des chemins carrossables goudronnés avec des glissières de sécurité et des murs contre terre dotés d'ouvertures pour pouvoir accéder aux peuplements. Le châtaignier n'est présent que sur une petite partie des parcelles susmentionnées, à proximité des coordonnées 411598, 5056426 (parcelle 13), et 411776, 5055508 (parcelle 21) (système de référence UTM WGS84) (**figure 36**).

Dans l'ensemble, le châtaignier sur les noyaux identifiés sur les parcelles, est attribuable à la forme de gouvernance en taillis simple, avec la présence sporadique de baliveaux. Le taillis est vieilli, à l'abandon, mais non suranné, et se caractérise par la présence de souches avec un nombre variable de drageons, de différents diamètres en fonction des parties du peuplement considérées. Le châtaignier alterne avec divers feuillus typiques de l'érablière-taillis-frênaie et la présence sporadique de conifères. 15,2% des châtaigniers présentent des symptômes de chancre de l'écorce ; parmi ceux-ci, 89,6% ont des chancres mortels, tandis que les 10,4% restants sont atteints de chancres cicatrisés. Les chancres mortels ont été observés dans 52,0% des cas sur des plantes vivantes, mais avec des symptômes évidents de détresse et de dessèchement de la couronne, et dans 37,6% des cas restants sur des châtaigniers morts. Plus précisément, d'un point de vue strictement fo-

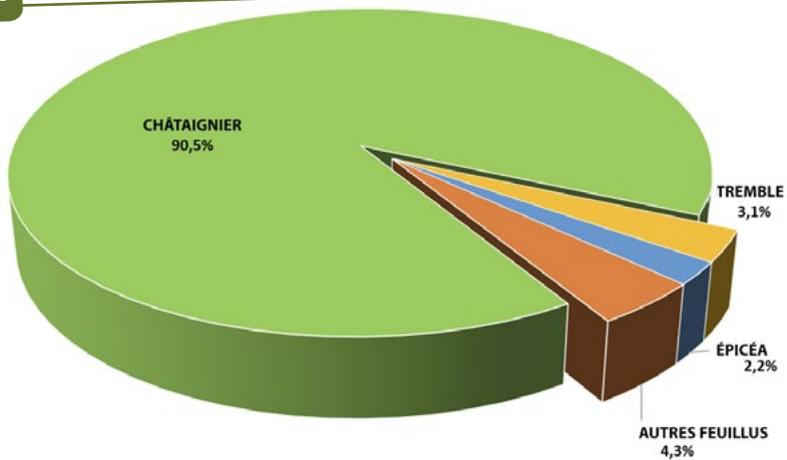
restier, la parcelle 13 de la localité de Tetras relève des types forestiers attribuables respectivement à la châtaigneraie acidophile à *Teucrium scorodonia* et à la frênaie-érablière d'invasion. La surface terrière est légèrement supérieure à la moyenne observée dans des formations similaires, notamment en raison du nombre élevé de drageons de châtaigniers. La composition spécifique, la distribution par classes diamétrales et les spécifications concernant la surface terrière

et la densité de la formation forestière en question sont détaillées ci-dessous (**figure 37 et tableau 2**). En ce qui concerne la parcelle 21 du Hameau Boussolusa, elle se caractérise par la présence de peuplements qui relèvent des types de châtaigneraie mésoneutrophile à *Salvia glutinosa*, une variante avec invasion de dicotylédones et frênaies-érablière à tilleul d'invasion. La surface terrière est supérieure à la moyenne observée dans des formations similaires, en raison du nombre élevé de drageons de châtaignier et de la présence abondante d'autres dicotylédones. Comme pour la parcelle précédente, la composition spécifique, la répartition par classes diamétriques et les spécifications concernant la surface terrière et la densité de la formation forestière en question sont détaillées ci-dessous (**figure 38 et tableau 3**).

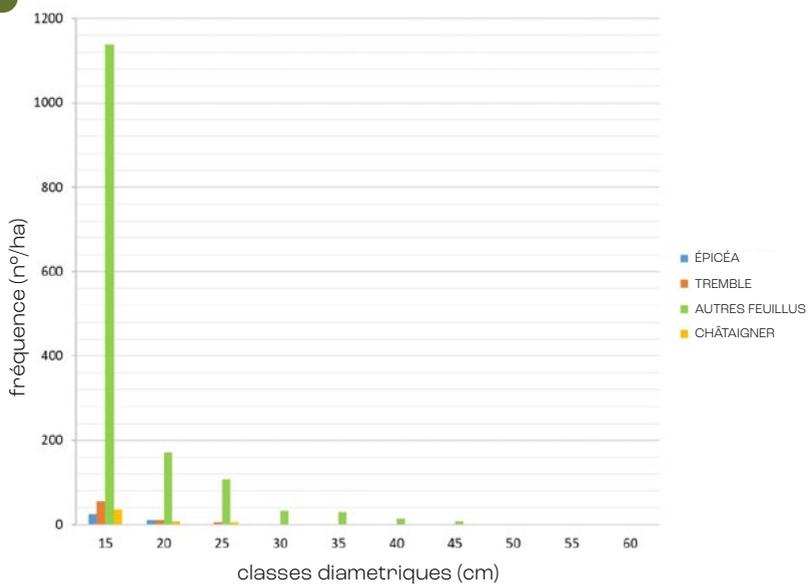
**FIGURE 36**  
CARTE GÉNÉRALE DES PARCELLES (LIGNE VERTE EN POINTILLÉ) ET DES BANDES DE VÉGÉTATION ESSENTIELLEMENT DE CHÂTAIGNIER (LIGNE ROUGE), ATTRIBUABLES À LA FRÊNAIE-ÉRABLIÈRE (LIGNE JAUNE), SÉLECTIONNÉES SUR LE TERRITOIRE DE LA COMMUNE DE FONTAINEMORE POUR LA MISE EN ŒUVRE ET LA DÉMONSTRATION DE L'APPLICATION DES LIGNES DIRECTRICES POUR LA GESTION SYLVICOLE ET PHYTOSANITAIRE DES TAILLIS DE CHÂTAIGNIER AFFECTÉS PAR LE CHANCRE DE L'ÉCORCE. EN ARRIÈRE-PLAN, IMAGE SATELLITE DE LA ZONE AFFECTÉE (SOURCE : GOOGLE MAPS, 2023).



37A



37B



**FIGURE 38**  
GRAPHIQUE DE LA RÉPARTITION EN POURCENTAGE DES ESPÈCES PRÉSENTES (A) ET DE LEUR DISTRIBUTION PAR CLASSES DIAMÉTRALES (B)

SUR LA PARCELLE 13 DE LA LOCALITÉ DE TETAS, OÙ UNE PARTIE DES SITES FORESTIERS PILOTES RELATIFS AU CHÂTAIGNIER ONT ÉTÉ MIS EN PLACE.

## TABLEAU 2

Spécifications concernant la surface terrière et la densité de la formation forestière sur la parcelle 13 de la localité de Tetas, où une partie des sites forestiers pilotes de châtaigniers ont été mis en place

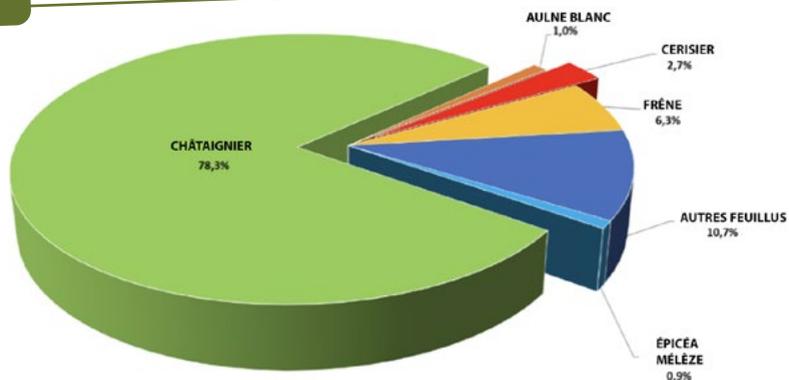
Espèces	Surface terrière m <sup>2</sup> /ha	Densité de plantation/ha
<b>CHÂTAIGNIER</b>	28,03	1498
<b>AUTRES FEUILLUS</b> (érable sycomore, bouleau, frêne, sorbier)	1,10	71
<b>TREMBLE</b>	1,00	51
<b>ÉPICÉA</b>	0,55	36
<b>TOTAL</b>	<b>30,68</b>	<b>1656</b>

Les sites pilotes ont été mis en place pour illustrer certaines des principales lignes directrices définies pour la gestion des taillis atteints de chancre de l'écorce, et notamment :

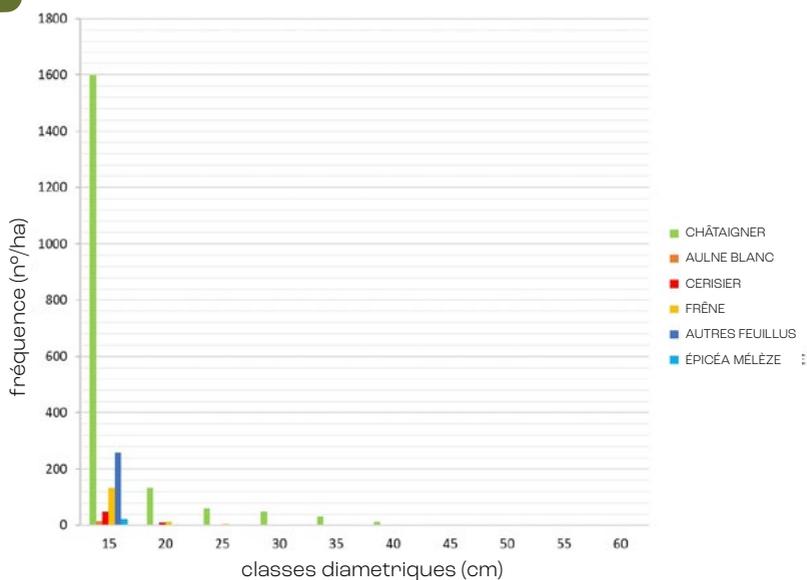
- **martelage forestier (figure 39)** visant à effectuer la **coupe phytosanitaire** ultérieure (**figure 40**) pour éliminer les drageons avec des chancres mortel et libérer ceux avec des chancres cicatrisés présents sur le site. Sur la parcelle 13 du Hameau Tetas, 313 plantes et drageons ont été enlevés sur un total de 911 plantes (soit 36,4%), ce qui correspond à un volume enlevé de 36,44 m<sup>3</sup> sur un total de 68,16 m<sup>3</sup> avant l'intervention (soit 53,5% en volume).

Sur la parcelle 21 du Hameau Boussolusa, 444 plantes et drageons ont été prélevés sur un total de 1218 plantes (soit 36,8%), ce qui correspond à un volume prélevé de 28,96 m<sup>3</sup> sur un total de 57,33 m<sup>3</sup> présent avant l'intervention (soit 50,5% en volume);

38A



38B



**FIGURE 38**  
GRAPHIQUE DE LA RÉPARTITION EN POURCENTAGE DES ESPÈCES PRÉSENTES (A) ET DE LEUR DISTRIBUTION PAR CLASSES DIAMÉTRALES (B)

DANS LA PARCELLE 21 DU HAMEAU BOUSSO-LUSA OÙ UNE PARTIE DES SITES FORESTIERS PILOTES RELATIFS AU CHÂTAIGNIER ONT ÉTÉ MIS EN PLACE.

## TABLEAU 3

Spécifications concernant la surface terrière et la densité de la formation forestière sur la parcelle 21 du Hameau Boussolusa où une partie des sites pilotes de forêts de châtaigniers ont été mis en place.

Espèces	Surface terrière m <sup>2</sup> /ha	Densité de plantation/ha
<b>CHÂTAIGNIER</b>	31,09	1886
<b>AUTRES FEUILLUS</b> (bouleau, hêtre, chêne pubescent, sorbier)	2,92	258
<b>FRÊNE</b>	2,14	152
<b>CERISIER</b>	1,38	66
<b>AULNE</b>	0,63	24
<b>ÉPICÉA MÉLÈSE</b>	0,25	22
<b>TOTAL</b>	<b>38,41</b>	<b>2408</b>

- **désinfection** minutieuse de la **chaîne de la tronçonneuse (figure 41)** et des autres outils de coupe destinés à entrer en contact avec les tissus de l'arbre à l'aide d'une solution contenant des sels d'ammonium quaternaire ;
- désinfection des plaies avec un produit à base de cuivre (**figure 42**) ;
- **déchiquetage** des branches, **enlèvement** des **copeaux de bois** du site (**figure 43**) ;
- **inspection phytosanitaire** minutieuse des semis en pépi-

nière, puis leur **plantation** et leur **fertilisation (figure 44)**. Ces opérations visent à créer des **noyaux de régénération artificiels** afin d'augmenter l'abondance des châtaigniers dans des zones dominées par d'autres feuillus. L'inspection des semis vise à éviter de planter du matériel végétatif infecté et à éviter d'introduire éventuellement des souches virulentes de *C. parasitica* provenant de l'extérieur du site, tandis que la fertilisation vise à augmenter la probabilité



**FIGURE 39**  
LE DRAGEON MARQUÉ LORS DU MARTELAGE FORESTIER (PEINTURE JAUNE) PRÉSENTE DES SYMPTÔMES D'UN DÉBUT DE CHANCRE DE L'ÉCORCE MORTEL, CE QUI EN FAIT UN PARFAIT CANDIDAT À L'ENLÈVEMENT.

**FIGURE 40**  
PRÉPARATION DU SITE FORESTIER PILOTE POUR LE CHÂTAIGNIER AVEC UNE SIGNALÉTIQUE APPROPRIÉE FAISANT RÉFÉRENCE AUX ACTIVITÉS DU PROJET MONGEFITFOR (A) ET PHASES OPÉRATIONNELLES DES COUPES PHYTOSANITAIRES RÉALISÉES SUR LES DRAGEONS PRÉALABLEMENT IDENTIFIÉS AVEC LE MARTELAGE FORESTIER (B).



d'enracinement et la vigueur des semis ;

- en cas de **pluie**, les opérateurs ont reçu pour instruction de **suspendre les travaux** et de ne les reprendre qu'après au moins **sept jours sans pluie**, afin de réduire le risque d'infection. Les moments forts du chantier ont été filmés pour la réalisation de vidéos thématiques du projet MONGEFITOFOR, disponibles sur des canaux multimédias dédiés (voir encadré 1).

41



63

42



44A



44A

**FIGURE 41**

DÉSINFECTION DE LA CHAÎNE DE LA TRONÇONNEUSE AVEC UNE SOLUTION À BASE DE SELS D'AMMONIUM QUATERNAIRE.

**FIGURE 42**

DÉSINFECTION DES PLAIES AVEC DES PRODUITS À BASE DE CUIVRE.

**FIGURE 43**

DÉCHIQUETAGE DES BRANCHES (A) ET ENLÈVEMENT DES SOUCHES (B).

**FIGURE 44**

PHASES D'INSPECTION DU MATÉRIEL DE PROPAGATION DANS LA PÉPINIÈRE, AVANT LE TRANSPORT (A) ET LA PLANTATION DES NOYAUX ARTIFICIELS DE RÉGÉNÉRATION DU CHÂTAIGNIER, OÙ LES SEMIS SONT PLANTÉS ET FERTILISÉS (B).

43A



43B



## STRATÉGIES POUR LA GESTION DE LA MALADIE DE L'ENCRE

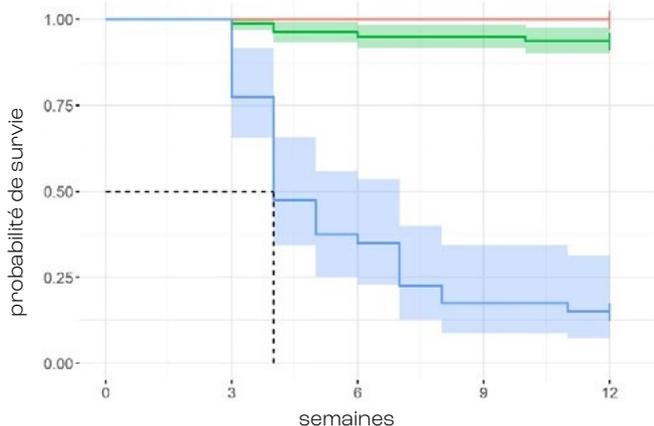
Les stratégies de gestion décrites sont principalement issues des activités menées du côté suisse, compte tenu de l'incidence et de la propagation de la maladie de l'encre. Sur une grande partie de l'aire de répartition du châtaignier européen, des **variétés locales** de l'espèce ont été sélectionnées au fil des siècles sur la base de certains caractères phénotypiques marquants avec pour objectif principal, optimiser les profils de production et rechercher des individus plus tolérants aux différentes maladies qui peuvent affecter le châtaignier. À Castasegna, dans le Val Bregaglia, le châtaignier est très abondant et ses valeurs historiques, culturelles et culturelles sont reconnues et appréciées par la confédération. Dans cette région du canton des Grisons, le châtaignier est malheureusement fortement touché par la maladie de l'encre, causée en l'occurrence par *P. x cambivora*. Compte tenu des fortes demandes au niveau local et non seulement, pour la préservation du châtaignier, un **site pilote** a été mis en place pour **tester la sensibilité des variétés locales** à diverses espèces du genre *Phytophthora* présentes dans la région alpine. Des varié-

tés plus tolérantes pourraient en effet être introduites ou favorisées dans les peuplements de châtaigniers touchés par la maladie de l'encre. A cette fin, des semis de cinq variétés de châtaigniers de Bregaglia (*Lüina*, *Marun*, *Rossera*, *Temporiva* et *Vescuf*) ont été inoculés dans des serres spécifiques du WSL avec des isolats de *P. cinnamomi*, *P. x cambivora*, *P. cactorum*, *P. cryptogea* et *P. plurivora*. Actuellement, les observations indiquent que la **mortalité la plus élevée** a été causée par *P. cinnamomi* (**figure 45**). Les différences de sensibilité à *P. cinnamomi* entre les variétés de châtaigniers testées ne semblent pas importantes, mais la variété *Lüina* apparaît comme la plus prometteuse.

Dans les Alpes du sud de la Suisse, le châtaignier forme de vastes peuplements avec plusieurs fonctions. D'une part, ils constituent un élément typique du paysage local avec une forte signification écologique et historico-culturelle. D'autre part, en particulier dans les vallées caractérisées par des versants raides, ils protègent les infrastructures humaines contre les chutes de pierres, les glissements de terrain et l'érosion. Dans les peuplements touchés par la maladie de l'encre, le châtaignier a malheureusement **peu de chances** de se maintenir ou de **se rétablir**. Une bonne stratégie peut être alors celle

**FIGURE 45**

PROBABILITÉ DE SURVIE DE SEMIS DE CHÂTAIGNIER DE DEUX ANS INOCULÉS AVEC PHYTO-PHTHORA CINNAMOMI (EN BLEU) ET AVEC P. X CAMBIVORA, P. CACTORUM, P. CRYPTOGEA ET P. PLURIVORA (EN VERT) AU COURS DES 12 PREMIÈRES SEMAINES SUIVANT L'INOCULATION. LES SEMIS TÉMOINS NON INOCULÉS SONT REPRÉSENTÉS EN ROUGE.



d'orienter la dynamique de succession vers un couvert forestier multi-espèces. La sylviculture pratiquée devra donc également se faire sur la base de **principes phytosanitaires** et au profit d'**autres essences**, résistantes à *P. cinnamomi* et *P. x cambivora*, qui devront également être adaptées aux conditions climatiques susceptibles d'affecter les zones transfrontalières italo-suisse dans un avenir proche. Dans le cadre d'un projet de recherche mené pour

l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), une approche de modélisation a été développée pour déterminer quelles espèces forestières principalement indigènes pourraient remplacer ou accompagner le châtaignier à l'avenir. Parmi les espèces potentiellement adaptées, on trouve l'**érable plane** (*Acer platanoides*), l'**érable sycomore** (*Acer pseudoplatanus*), le **tilleul** (*Tilia platyphyllos*), le **charme** (*Ostrya carpinifolia*) et le **sorbier** (*Sorbus aria*), suscep-

tibles également d'être utilisés comme noyaux de régénération artificiels. D'une manière plus générale, on applique les principales **lignes directrices de lutte** consolidées visant principalement à prévenir l'apparition de nouveaux foyers et à contenir les foyers existants, y compris :

- maintenir de **bonnes conditions culturales** du peuplement pour donner de la vigueur aux arbres et améliorer leur réactivité. Dans les taillis, les rotations de coupe doivent être rationalisées, en évitant le vieillissement et la compétition excessive entre les drageons ;
- **éviter** ou **limiter** les opérations qui pourraient blesser **les racines** ;
- mettre en place un **drainage** et une **canalisation** efficaces des **eaux de surface**, de manière à éviter la stagnation et/ou le ruissellement de l'eau à partir des zones infectées ;
- éviter le passage des **véhicules** sur les chemins de terre après de fortes **pluies**, au moins pendant la période de végétation, afin d'éviter les **éclaboussures** de boues contaminées. **Éliminer la terre** sur les tracteurs ou autres véhicules (en particulier sur les **pneus**) pouvant constituer un vecteur d'inoculum infectieux ;
- dans les zones à forte circulation où le risque d'infection est élevé, il peut être utile de créer le long des routes des **bandes tampons** composées

d'espèces herbacées, arbustives ou arborescentes insensibles au *Phytophthora* spp ;

- si possible, procéder à des **coupes phytosanitaires** et **abattre les individus morts ou infectés**, en éliminant les souches et les grosses racines, en veillant à ne pas répandre de la terre ou d'autres matériaux contaminés.

## 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 de terrain technico-scientifique** est consacré à la **gestion des taillis de châtaigniers** affectés par des **maladies** causées par des champignons phytopathogènes et des chromistes, y compris le **chancre de l'écorce** et la **maladie de l'encre**. En examinant les particularités des **pathogènes** cibles ***Cryphonectria parasitica***, ***Gnomoniopsis castaneae*** et ***Phytophthora* spp.**, ce manuel 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 de la surveillance phytosanitaire et des analyses effectuées, ont permis de quantifier l'incidence et la gravité des différents problèmes phytosanitaires du châtaignier à travers

les frontières. L'importance des taillis de châtaigniers nécessite une gestion prudente et ciblée, à mettre en œuvre avec une approche multidisciplinaire qui intègre la **sylviculture** traditionnelle avec des interventions **phytosanitaires** basées sur des preuves scientifiques solides. L'objectif principal du projet MONGEFITOFOR était de définir cette approche et de créer en même temps des outils appropriés pour la divulgation des **connaissances** et des **compétences** relatives à la gestion des châtaigniers, au profit des propriétaires, des gestionnaires et des administrateurs des ressources forestières, ainsi que des techniciens, des opérateurs du secteur et des autres parties prenantes.

Le projet MONGEFITOFOR jette les bases d'une gestion forestière plus **durable** du châtaignier, en fournissant des outils technico-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 Simona Principe pour son aide au laboratoire ainsi que les agents, fonctionnaires et personnel du Corps forestier de la Vallée d'Aoste qui ont participé aux activités de surveillance phytosanitaire, en particulier : Alessandro Pusceddu, Corrado Machet, Corrado Montrosset, Gianluca Burgay, Giorgia Girod, Mauro Stevenin, Michel Rosset, Mirko Gorret et Stefano Bethaz.

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

Bounous, G. *et al.* (2014). *Il castagno – Risorsa multifunzionale in Italia e nel mondo*. Milano: Edagricole. ISBN 9788850654154

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

Ferraris, P., Terzuolo, P.G., Boano, G., Brenta, P.P., Della Beffa, G., Gottero, F., Palenzona, M. (2003). *Cedui di castagno: indirizzi per la gestione e la valorizzazione*. Torino: Regione Piemonte, Blu Edizioni. ISBN 9788887417159

Gonthier, P., Robin, C. (2020). Diseases. Chapter 11. In: *The Chestnut Handbook: Crop and Forest Management*. Beccaro, G., Alma, A., Bounous, G., Gomes-Laranjo, J. (Eds). CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA. pp. 297-316. ISBN: 9781138334021

Google 2023. Google Satellite, Map data ©2015 Google, accesso effettuato in data 05/05/2023

Lauber, K., Wagner, G., Gyğax, A. (2001). *Flora Helvetica*. Bern: Haupt Verlag. ISBN 9783258077000

Lione, G., Brescia, F., Giordano, L., Gonthier, P. (2022). Effects of seasonality and climate on the propagule deposition patterns of the chestnut blight pathogen *Cryphonectria parasitica* in orchards of the alpine district of north western Italy. *Agriculture* 12: 644. DOI: 10.3390/agriculture12050644

Lione, G., Danti, R., Fernandez-Conradi, P., Ferreira-Cardoso, J.V., Lefort, F., Marques, G., Meyer, J.B., Prospero, S., Radócz, L., Robin, C., Turchetti, T., Vettraino, A.M., Gonthier, P. (2019). The emerging pathogen of chestnut *Gro-  
monopsis castaneae*: the challenge posed by a versatile fungus. *European Journal of Plant Pathology* 153: 671-685. DOI: 10.1007/s10658-018-1597-2

Lione, G., Giordano, L., Sillo, F., Brescia, F., Gonthier, P. (2021). Temporal and spatial propagule deposition patterns of the emerging fungal pathogen of chestnut *Gnomoniopsis castaneae* in orchards of north-western Italy. *Plant Pathology* 70: 2016-2033. DOI: 10.1111/ppa.13451

Lione, G., Giordano, L., Turina, M., Gonthier, P. (2020). Hail-induced infections of the chestnut blight pathogen *Cryphonectria parasitica* depend on wound size and may lead to severe diebacks. *Phytopathology* 110: 1280-1293. DOI: 10.1094/PHYTO-01-20-0006-R

QGIS plugin QuickMapServices versione 0.19.11.1. (2023).

QGIS software versione 3.10.0 - A Coruña (2023). QGIS Development Team, QGIS Association. <http://www.qgis.org>.

Rigling, D., Prospero, S. (2017). *Cryphonectria parasitica*, the causal agent of chestnut blight: invasion history, population biology and disease control. *Molecular Plant Pathology* 19: 7-20. DOI: 10.1111/mpp.12542



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

