



MANUELS MONGEFITOFOR

**SURVEILLANCE
ET GESTION DE LA
PROCESSIONNAIRE
DU PIN
ET D'AUTRES
RAVAGEURS DU PIN DANS
LES ZONES ALPINES
TRANSFRONTALIÈRES**

CHIARA FERRACINI, LUCA DOVIGO, ELEONORA VITTORIA FONTANA,
SERENA GALLIZIA, PAOLO GONTHIER, GUGLIELMO LIONE, CRISTINA POGOLOTTI,
SIMONE PROSPERO, IVAN ROLLET E MONICA VERCELLI

SURVEILLANCE ET GESTION DE LA PROCESSIONNAIRE DU PIN ET D'AUTRES RAVAGEURS DU PIN DANS LES ZONES ALPINES TRANSFRONTALIÈRES

Série : «MANUELS MONGEFITOFOR»

Auteurs

Chiara Ferracini ⁽¹⁾, Luca Dovigo ⁽²⁾, Eleonora Vittoria Fontana ⁽¹⁾,
Serena Gallizia ⁽¹⁾, Paolo Gonthier ⁽¹⁾, Guglielmo Lione ⁽¹⁾,
Cristina Pogolotti ⁽¹⁾, Simone Prospero ⁽³⁾, Ivan Rollet ⁽²⁾,
Monica Vercelli ⁽²⁾

Coordination scientifique

Chiara Ferracini ⁽¹⁾, Paolo Gonthier ⁽¹⁾, Guglielmo Lione ⁽¹⁾,
Simone Prospero ⁽³⁾

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

⁽²⁾ 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.

⁽³⁾ Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL),
Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Suisse.

Forme de citation recommandée

Ferracini C., Dovigo L., Fontana E. V., Gallizia S., Gonthier P., Lione G., Pogolotti
C., Prospero S., Rollet I., Vercelli M. (2023). Surveillance et gestion de la
proceSSIONNAIRE du pin et d'autres adversités du pin dans les zones alpines
transfrontalières. Série : «Manuels MONGEFITOFOR». Région Autonome de la Vallée
d'Aoste. ISBN 9791280561732

INDEX

3	Préface
4	Le projet MONGEFITOFOR
5	Le pin sylvestre : aperçu général de l'espèce
9	Synécologie et caractérisation des pinèdes à pin sylvestre
10	Fonctions et services écosystémiques fournis par le pin sylvestre
13	Aspects sylvicoles et de gestion
14	Chorologie et approche bio de l'éthologie de la processionnaire du pin
21	Implications phytosanitaires, sanitaires et vétérinaires
23	Surveillance de la processionnaire du pin
26	Application de stratégies de confinement
30	Lutte microbiologique
31	Lutte biotechnique
33	Lutte mécanique
34	Lutte chimique
38	Aperçu général du dépérissement du pin sylvestre
42	Surveillance du dépérissement du pin sylvestre
45	Dessèchement des pousses de pin par <i>Sphaeropsis sapinea</i>
48	Remerciements
49	Bibliographie essentielle



PRÉFACE

Les forêts sont une composante importante du paysage de la Région Autonome de la Vallée d'Aoste et des zones transfrontalières italo-suisse, et remplissent de nombreuses fonctions indispensables à la conservation, à la préservation et à la protection du territoire et des communautés locales. Afin de garantir l'accomplissement de ces fonctions dans le temps et l'espace, la santé des forêts doit être constamment surveillée et préservée. Le besoin de mettre en commun les expériences, les connaissances acquises et les projets relatifs au suivi et à la gestion des principales difficultés dans le secteur forestier, a donc conduit la Région Autonome de la Vallée d'Aoste, les deux cantons suisses des Grisons et du Tessin, le Département des sciences agricoles, forestières et alimentaires (DISAFA) de l'Université des Études de Turin et l'Institut fédéral suisse de recherche sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) de Birmensdorf - Zurich à coopérer dans le cadre d'un projet ambitieux appelé MONGEFITOFOR (Lignes directrices pour le SUIVI et la GESTION des urgences PHYTOSANITAIRES dans les FORÊTS des Alpes centrales et occidentales), mis en œuvre dans le cadre du Programme de coopération territoriale INTERREG V-A Italie-Suisse 2014/2020. Plusieurs problèmes

phytosanitaires critiques ont été affrontés dans le cadre du projet, notamment la chenille processionnaire du pin et le dépérissement du pin sylvestre. Ce manuel présente les résultats du suivi phytosanitaire visant à étudier la propagation et l'incidence du phytophage et certains facteurs potentiellement associés au dépérissement du pin sylvestre afin de proposer des stratégies opérationnelles pour sa gestion dans les milieux forestiers des zones alpines transfrontalières. En effet, le manuel a été réalisé grâce aux connaissances acquises dans 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, mais également un instrument pour divulguer auprès des techniciens, des administrateurs, des parties prenantes et du grand public les connaissances acquises et les bonnes pratiques pour préserver la santé du pin sylvestre 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 à travers le main-

tien de la **biodiversité**, la **protection hydrogéologique** des versants et à travers une offre de services et d'activités de loisir destinées 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 des parasites du **pin sylvestre**, en particulier la **chenille processionnaire du pin**, et le **dépérissement** associé à des facteurs abiotiques et biotiques, comme le **changement climatique** et les infections causées par les **champignons phytopathogènes**. Toutes ces questions cruciales font l'objet de ce **manuel de terrain technico-scientifique** destiné à aider non seulement les propriétaires, les gestionnaires et les administrateurs des ressources forestières, mais aussi les techniciens et les opérateurs qui souhaitent approfondir leurs connaissances et améliorer leurs compétences.

ENCADRÉ 1

Approfondimenti sul progetto 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 **frêne commun** (*Fraxinus excelsior*) et le **pin sylvestre** (*Pinus sylvestris*), auxquels sont consacrés des manuels technico-scientifiques spécifiques de la série "**1 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>

APERÇU DU PROJET MONGEFITOFOR

Le **pin sylvestre** (*Pinus sylvestris* L.) est une espèce forestière formant différents ensembles floristico-végétatifs dans lesquels il est présent en tant qu'espèce dominante ou accessoire, occupant une vaste aire géographique allant de la péninsule ibérique à la mer d'Okhotsk et des régions scandinaves jusqu'aux nord de la Turquie. En Italie, le pin sylvestre colonise de vastes étendues de

l'arc alpin, descendant vers le sud jusqu'à l'Émilie-Romagne et au-delà, où sa présence tend toutefois à se raréfier sur des régions d'étendue variable. En Suisse, le pin sylvestre est répandu sur presque tout le territoire, des collines jusqu'à l'étage subalpin.

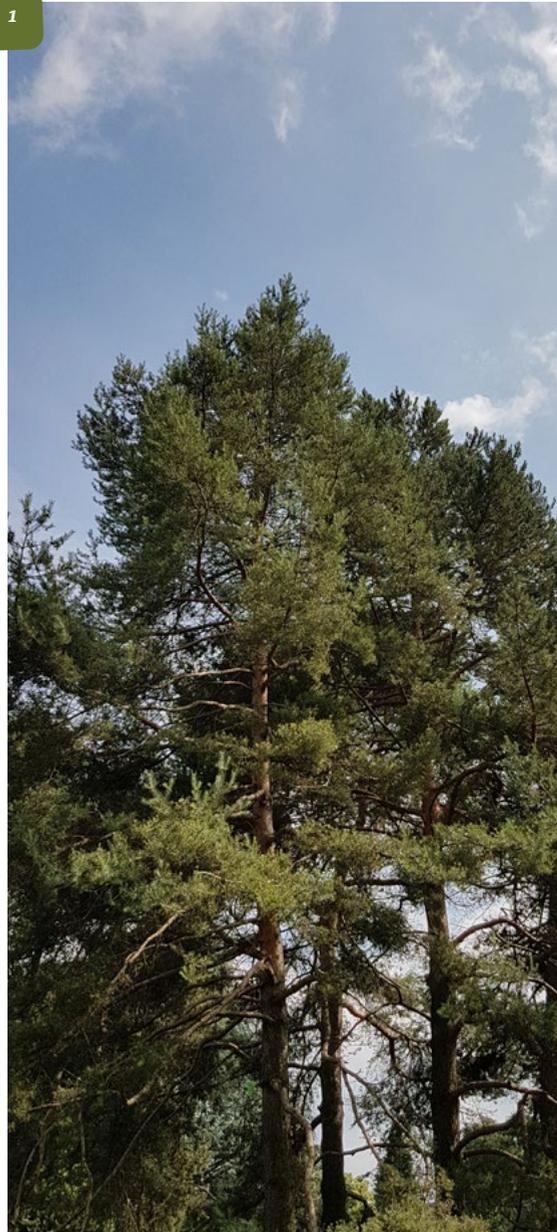
Le pin sylvestre est un arbre **à feuillage persistant**, pouvant atteindre 30 à 40 m de haut, avec des microphylles d'environ 6 cm de long groupées par paires en faisceaux et des cônes à graine (ou cônes femelles) asymétriques, dont la taille ne dé-

passe généralement pas 6 cm le long de l'axe de développement le plus important. Les graines transportées par le vent ou les animaux assurent le **renouvellement** naturel de l'espèce. Facilement reconnaissable en forêt, le pin sylvestre se caractérise par une écorce gris-brun foncé plus ou moins écaillée à la base du tronc, souvent plus lisse et orangée ou ocre et rougeâtre vers le houppier, en fonction de l'écotype et de son origine (**figure 1**). L'architecture de la canopée, le développement des branches et la conformation des tiges peuvent varier en fonction des facteurs environnementaux, culturels, génétiques et chorologiques. Selon certaines estimations, le nombre d'**écotypes** ou de **types géographiques** attribuables au pin sylvestre s'élève à plus de 70, chacun ayant ses propres spécificités en termes de morphologie de croissance, de longévité et de caractéristiques de son bois.

Le **système racinaire** du pin sylvestre est **profond** et robuste, avec une racine pivotante solide et un système articulé de racines plus superficielles qui explorent le sol et contribuent à fixer l'arbre.

L'autoécologie de cette espèce

FIGURE 1
 NOYAU DE PINS SYLVESTRES MATURES EN FORÊT. NOUS POUVONS REMARQUER LA DIFFÉRENCE TRÈS NETTE DE COULEUR DE L'ÉCORCE, GRIS-BRUN À LA BASE ET ORANGÉE DANS LA PARTIE MÉDIANE ET SUPÉRIEURE DU TRONC.



varie en raison des grandes différences entre les écotypes, mais avec néanmoins certaines caractéristiques récurrentes. Le pin sylvestre, typique des plaines montagneuses, est une espèce **pionnière** et **héliophile**, capable de s'adapter grâce à sa bonne **plasticité** à des conditions éco-pédologiques qui vont de sols peu fertiles et riches en agrégats, à des sols plus fertiles et évolués, avec un pH indifféremment acide ou basique. La texture du sol n'est pas un facteur particulièrement limitant pour cette espèce forestière, qui pousse aussi bien dans des environnements bien drainés que dans des contextes où les horizons superficiels compactés provoquent la stagnation de l'eau. De tempérament xérophile ou **méso-xérophile**, le pin sylvestre préfère les climats subcontinentaux ou continentaux et peut tolérer des amplitudes thermiques importantes, à condition que la période estivale ne soit pas excessivement froide. Bien que le pin sylvestre tolère bien la sécheresse grâce à son système racinaire et à ses particularités physiologiques, des conditions prolongées et/ou fréquentes de **stress hydrique** et l'absence de précipitations peuvent avoir des répercussions négatives sur la croissance de l'espèce. Les exigences autoécologiques du pin sylvestre peuvent se ré-

sumer à l'aide d'une série d'indices quantitatifs décrivant ses principales caractéristiques (**tableau 1**).



TABLEAU 1

Description sommaire de l'autoécologie du pin sylvestre. À chaque facteur environnemental correspond un indice de Landolt (1 à 5, valeurs extrapolées de Lauber et al., 2001) avec sa description. Le symbole x à la place du chiffre indique la plasticité écologique de l'espèce par rapport au facteur considéré.

Facteur environnemental	Indice	Description
Besoins en eau	x	S'adapte à différentes conditions, plasticité écologique importante en fonction du facteur considéré.
Acidité du sol (pH)	x	S'adapte à différentes conditions, plasticité écologique importante en fonction du facteur considéré.
Besoins nutritionnels	2	Pousse sur des sols pauvres en nutriments.
Lumière	4	Espèce héliophile pouvant parfois tolérer des conditions de luminosité intermédiaires, à condition qu'elles soient de courte durée.
Température	3	Pousse de préférence sur des sites avec des températures intermédiaires typiques des plateaux montagneux.
Continentalité	4	Préfère les climats subcontinentaux à continentaux.

TABLEAU 1

DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'AUTOÉCOLOGIE DU PIN SYLVESTRE. À CHAQUE FACTEUR ENVIRONNEMENTAL CORRESPOND UN INDICE DE LANDOLT (1 À 5, VALEURS EXTRAPOLÉES DE LAUBER ET AL., 2001) AVEC SA DESCRIPTION. LE SYMBOLE X À LA PLACE DU CHIFFRE INDIQUE LA PLASTICITÉ ÉCOLOGIQUE DE L'ESPÈCE PAR RAPPORT AU FACTEUR CONSIDÉRÉ.

SYNÉCOLOGIE ET CARACTÉRISATION DES PINÈDES À PIN SYLVESTRE

Dans les régions transfrontalières italo-suisse, le pin sylvestre est l'espèce *dominante des peuplements forestiers* (figure 2) ou du moins l'une des plus représentées, mais peut également être présente dans différents ensembles floristico-végétatifs comme élément accessoire (figure 3). Certaines estimations d'inventaire forestier indiquent que dans la Vallée d'Aoste, le pin sylvestre est le troisième conifère en termes de distribution, représentant 16% du nombre total d'arbres, tandis qu'en Suisse, l'espèce atteint un score de 52% sur une échelle de 0 à 100%, faisant ainsi partie des espèces classées comme abondantes. La plasticité écologique du pin sylvestre lui permet de s'implanter dans différents contextes forestiers, ce qui ne facilite pas la définition d'un tableau typologique univoque et exhaustif. Certaines

des principales formations dans lesquelles l'espèce joue un rôle clé et constitutif sont désignées sous le nom de *pinèdes de pin sylvestre*, y compris pour les régions transfrontalières :

- pinèdes préalpines acido-philés ;
- pinèdes intra-alpines mésoxérophiles ;
- pinèdes intra-alpines basi-philés ;

2



3

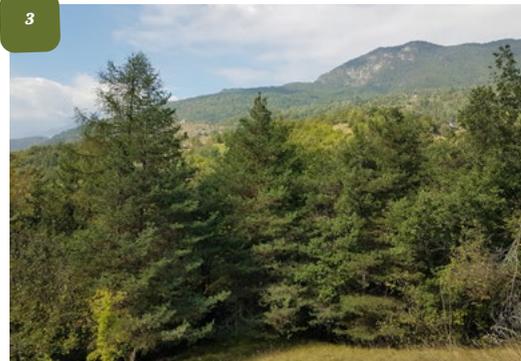


FIGURE 2
FORÊTS DOMINÉES PAR LE PIN SYLVESTRE
DANS LES ZONES TRANSFRONTALIÈRES ITA-
LO-SUISSES.

FIGURE 3
FORÊTS PLURISPÉCIFIQUES AVEC LA PRÉSENCE
DE PINS SYLVESTRES ET D'AUTRES CONIFÈRES
ET FEUILLUS.

- pinèdes intra-alpines acido-philés.

Il existe également d'autres méthodes de catégorisation des peuplements dominés par le pin sylvestre, qui proposent pour les mêmes zones une classification permettant d'identifier:

- pinèdes primitives en falaise;
- pinèdes primitives sur des sols siliceux serpentiniques;
- pinèdes préalpines/intra-alpines typiques des sols carbonatés;
- pinèdes typiques des sols siliceux serpentiniques;
- pinèdes des sols siliceux sub-montagnards et montagnards;
- pinèdes secondaires.

En général, les principales essences forestières que l'on peut trouver aux côtés du pin sylvestre sont l'épicéa, le mélèze, le tremble, le chêne pubescent, le châtaignier et d'autres feuillus et conifères, y compris d'autres espèces de *Pinus*.

FONCTIONS ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES FOURNIS PAR LE PIN SYLVESTRE

Le pin sylvestre, et plus généralement les peuplements forestiers dans lesquels il est présent, sont capables d'exercer un grand nombre de *fonctions* et de fournir plusieurs *services écosys-*

témiques, notamment:

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

Les propriétés physico-mécaniques et technologiques du bois font du pin sylvestre une essence appropriée et appréciée pour la *production* de poutres ou de lambris pour le bardage. En effet, avec son aspect attrayant, sa durabilité moyenne et ses anneaux de croissance bien visibles, le bois résineux du pin sylvestre est particulièrement adapté pour des utilisations où cette caractéristique peut représenter une valeur ajoutée (*figure 4*). Les assortiments de moindre qualité, en revanche, sont utilisés en menuiserie et en ébénisterie, pour la fabrication de boîtes, ou pour obtenir de la pâte à papier destinée à l'industrie du papier. La possibilité de disposer d'assortiments de bois de *qualité* dépend non seule-

ment des caractéristiques culturelles et environnementales de la pinède à pin sylvestre, mais aussi des particularités liées à la *variabilité* génotypique et écotypique de l'espèce. Dans certaines zones, la forme du tronc, la ramification prononcée et l'architecture générale de l'arbre ne sont pas favorables à une utilisation productive rentable plus intéressante dans d'autres contextes géographiques.

Les *produits non ligneux* dérivés du pin sylvestre sont nombreux et alimentent différentes chaînes d'approvisionnement, dans les secteurs pharmaceutique et cosmétique par exemple. En effet, les aiguilles, les bourgeons et la résine peuvent être soumis à des processus d'extraction pour obtenir des huiles essentielles balsamiques utilisées dans la préparation de produits phytothérapeutiques, de parfums, de déodorants et de produits alimentaires (figure 4).

FIGURE 4
 PRODUITS LIGNEUX ET PRODUITS NON LIGNEUX DÉRIVÉS DU PIN SYLVESTRE. SPÉCIMEN DE BOIS DE PIN SYLVESTRE PROVENANT D'UNE XYLOTHÈQUE : LES DÉMARICATIONS CLAIRES ENTRE LES ANNEAUX DE CROISSANCE ET LES DIFFÉRENTES SECTIONS, LONGITUDINALE (AVANT), TRANSVERSALE (HAUT) ET RADIALE (CÔTÉ DROIT) DU TRONC SONT BIEN VISIBLES (A). ÉTIQUETTE D'UNE PRÉPARATION PHYTOTHÉRAPEUTIQUE DESTINÉE À SOULAGER LES SYMPTÔMES ASSOCIÉS À LA TOUX ET À L'IRRITATION DES VOIES RESPIRATOIRES SUPÉRIEURES : PARMI LES INGRÉDIENTS SIGNALÉS, ON NOTE LA PRÉSENCE D'HUILES ESSENTIELLES DE PIN SYLVESTRE BALSAMIQUE (B). LES RÉFÉRENCES AUX MARQUES ONT ÉTÉ INTENTIONNELLEMENT SUPPRIMÉES.

4A



4B



Dans les régions alpines le pin sylvestre, tout en conservant ses valeurs productives, est particulièrement bien adapté pour la stabilisation des versants, jouant alors un rôle fondamental puisqu'il permet de limiter très naturellement le *risque hydrogéologique* en aidant à consolider les coteaux et les escarpements. En effet, les forêts de pin sylvestre, comme d'autres forêts protectrices, contribuent à la défense des établissements, des infrastructures et d'autres structures artificielles contre les risques de chutes de pierres, de glissements

de terrain et d'avalanches (**figure 5**). En remplissant cette fonction importante, le pin sylvestre et les communautés végétales qui lui sont associées constituent une pièce importante de la mosaïque de *paysages forestiers* qui caractérisent les hautes collines et les montagnes des zones transfrontalières italo-suisse, créant des espaces récréatifs et des environnements propices au *tourisme* (**figure 5**). En outre, le pin sylvestre participe à la création de réseaux écologiques et d'*habitats* qui favorisent la biodiversité animale, végétale et microbienne.



FIGURE 5
PEUPELEMENTS DE PINS SYLVESTRES CONSOLIDANT LES VERSANTS EN AMONT ET EN AVANT D'UNE ROUTE EMPRUNTÉE PAR DES TOURISTES, DES CYCLISTES ET DES RANDONNEURS, DANS LE PAYSAGE ALPIN DES ZONES TRANSFRONTALIÈRES ITALO-SUISSES.

ASPECTS SYLVICOLES ET DE GESTION

La sylviculture ordinaire du pin sylvestre est généralement orientée vers la **conservation** de l'espèce, à l'exception des interventions visant à orienter les processus dynamiques d'**évolution** des peuplements vers une composition plurispécifique en équilibre avec les caractéristiques environnementales locales, et en respectant essentiellement les critères de la sylviculture naturaliste ou de la sylviculture systémique. Dans tous les cas, étant donné le caractère héliophile et pionnier de l'espèce, les interventions doivent être cohérentes afin de maintenir une densité de peuplement compatible avec ses besoins écologiques, permettant l'établissement et l'enracinement des semis et la **régénération naturelle**. Celle-ci peut être entravée par la présence de plantes herbacées, d'espèces arbustives ou arborescentes qui exercent une concurrence excessive. Dans ce cas, il est possible d'effectuer des **régénérations artificielles** du pin sylvestre ou de procéder à une **succession guidée de coupes** favorisant le peuplement en faveur d'autres espèces plus adaptées au site. Dans le cas de peuplements forestiers mixtes, il est nécessaire de planifier et de dimensionner soigneusement les interven-

tions afin d'éviter de déclencher un processus de régression du pin sylvestre au profit d'autres espèces beaucoup plus tolérantes à l'ombre (comme l'épicéa, le sapin).

Dans le passé, surtout lorsque la fonction productive du pin était considérée comme prépondérante, on effectuait habituellement des coupes rases (par trouées ou parquets ou autres méthodes, en tenant compte également des traditions locales). Aujourd'hui, on privilégie plutôt les **coupes progressives**. Certains schémas sylvicoles suggèrent des coupes d'ensemencement à forte intensité (60-70% du volume), réalisées sur de petites surfaces (entre 0,1 et 0,25 ha), afin de créer des bandes favorablement exposées et uniformément réparties sur la zone d'intervention, avec une période de régénération d'environ 10 à 30 ans. Des coupes d'éclaircissage peuvent être recommandées, mais uniquement lorsque les besoins de production sont prioritaires. L'intensité des interventions susmentionnées peut être considérablement réduite si l'on risque de favoriser d'autres espèces, non conformes à la composition et à la structure du peuplement souhaité, ou lorsque les dynamiques actuelles semblent pouvoir garantir la persistance du pin sylvestre. Il est alors

possible de *limiter les interventions* au minimum afin de faciliter le renouvellement naturel en cours. S'il est impossible d'envisager des chantiers de sylviculture raisonnée ou si les conditions sont défavorables ou encore si la fertilité est faible (comme c'est le cas pour certaines pinèdes primitives), il est possible d'opter pour la non-intervention comme prélude à la *libre évolution*.

Les indications données dans ce chapitre à propos de la sylviculture sont valables pour les peuplements où les pins sylvestres ne présentent aucune altération évidente imputables à des criticités phytosanitaires. En présence de telles criticités, il est en effet conseillé de compléter les bonnes pratiques sylvicoles par des interventions appropriées qui tiennent compte de la présence et de l'impact des dommages causés par les *insectes phytophages* ou du *dépérissement* causé par d'autres facteurs biotiques et abiotiques (par exemple, les *maladies fongiques*, les anomalies liées aux *changements climatiques*). Le projet MONGEFITOFOR, en surveillant et en étudiant les criticités phytosanitaires du pin sylvestre 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 les maladies ou les infestations

d'insectes imposent une sylviculture orientée vers la *protection des plantes*.

CHOROLOGIE ET APPROCHE BIO DE L'ÉTHOLOGIE DE LA PROCESSIONNAIRE DU PIN

Thaumetopoea pityocampa (Denis & Schiffermüller, 1775), communément appelée la processionnaire du pin, est un papillon nocturne de la famille des Notodontidae. Ce papillon est un *insecte phytophage défoliateur* répandu dans les régions du bassin méditerranéen, depuis le sud de la France jusqu'à la Hongrie et à la Bulgarie, ainsi qu'en Afrique du Nord. En Italie, on le trouve dans toute la péninsule, en Sicile et dans les petites îles ; en Sardaigne, il a été introduit accidentellement en 2006. Bien qu'il appartienne à une espèce thermophile, le *T. pityocampa* s'adapte facilement aux basses températures et réagit rapidement aux changements climatiques. C'est pourquoi, ces dernières années, cet insecte est arrivé jusque dans le nord et dans les montagnes, où on le trouve à des altitudes de plus en plus élevées (**encadré 2**).

Le *T. pityocampa* a colonisé plusieurs **plantes hôtes** à savoir toutes les espèces de pin, prin-

cipalement *P. sylvestris* et *Pinus nigra* avec des signalements également sur le *Pinus mugo*,

ENCADRÉ 2

Changement climatique

La processionnaire du pin réagit rapidement au changement climatique et est considérée comme une **espèce clé**. L'augmentation des températures due au réchauffement climatique a modifié le cycle de développement du phytophage et diminué la mortalité des larves en hiver. On observe également que l'aire de répartition de l'espèce s'est déplacée en termes d'altitude et de latitude, progressant de **867 km** vers le nord entre 1972 et 2004, tandis que la **limite altitudinale** a augmenté de **230 m** entre 1975 et 2004 sur les versants sud (**figures 6-7**).

6

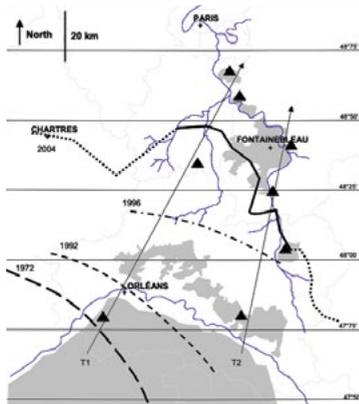


FIGURE 6
EXPANSION GÉOGRAPHIQUE DE LA PROCESSIONNAIRE DU PIN DANS LE BASSIN PARISIEN (FRANCE) DE 1972 À 2004 (BATTISTI ET AL., 2005).

7

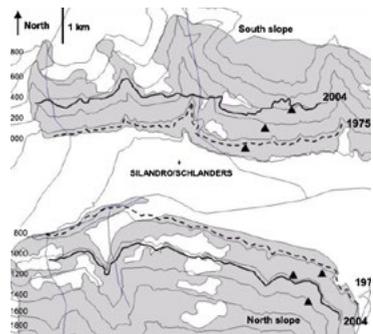


FIGURE 7
EXPANSION GÉOGRAPHIQUE DE LA PYRALE PROCESSIONNAIRE DU PIN DANS LE VAL VENOSTA (ITALIE) DE 1975 À 2004 (BATTISTI ET AL., 2005).

Pinus halepensis, *Pinus pinaster* et *Pinus pinea*, mais aussi des plantes exotiques du genre *Pinus* utilisées dans la reforestation, comme le *P. radiata*. En cas de fortes infestations, cette espèce peut également s'attaquer aux mélèzes, tandis que dans les espaces verts urbains, elle est également capable de causer des dommages aux cèdres. Le cycle de la chenille *T. pityocampa* présente une **génération**

annuelle et a une activité **crépusculaire et nocturne** (figure 8). Elle survit à l'hiver au stade de larve presque mature, dans des nids soyeux tissés sur les branches des conifères hôtes (figure 9). L'espèce doit son nom au mode de déplacement en **file indienne**, des larves sortant du nid, d'abord le long du tronc, puis au sol, à la recherche d'un site approprié pour s'enfouir (figure 10).

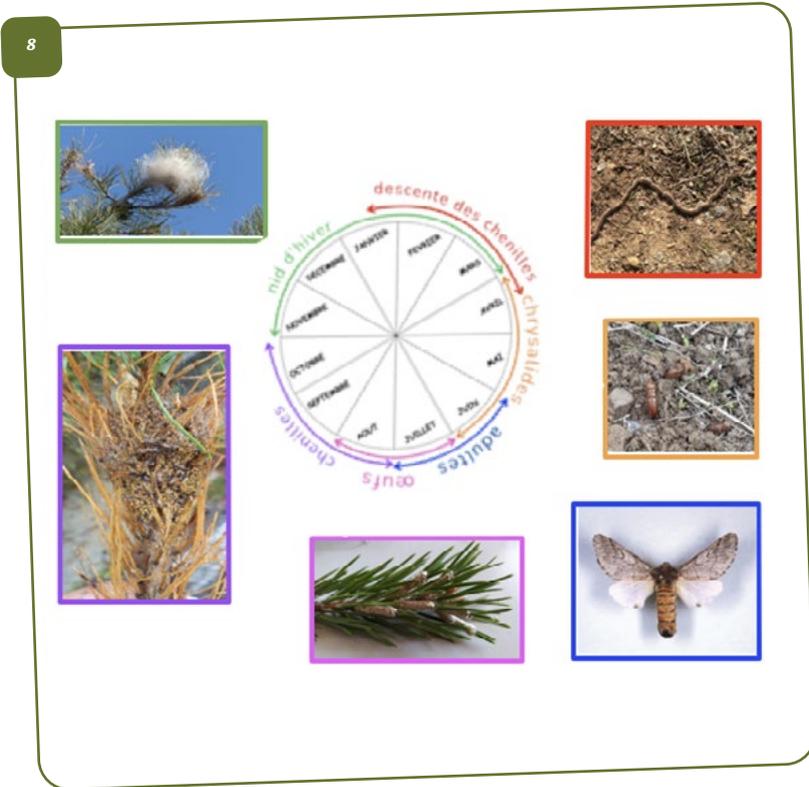


FIGURE 8
CYCLE BIOLOGIQUE DE LA PROCESSIONNAIRE DU PIN.

Pendant ces longues processions, les larves sécrètent un **filament soyeux** et laissent **une traînée de phéromones**.

Généralement, la chenille processionnaire s'enfouit dans le sol entre février et avril, habituellement à la lisière de la forêt, dans des clairières sur des pentes ensoleillées avec un sol mou, à une profondeur comprise entre 5 et 15 cm et tisse un **cocon de soie** individuel dans lequel elle **se transformera en chrysalide** (Figure 11).



FIGURE 9
NID D'HIVER DÉFINITIF.

FIGURE 10
PROCESSION TYPIQUE DE LARVES DE THAUMETOPOEA PITYOCAMPA AVANT DE S'ENFOUIR DANS LE SOL.





La période d'**éclosion** des adultes se produit après environ 2 à 4 mois, principalement entre **juin et juillet**, mais le stade nymphal d'une partie de la population peut être considérablement prolongé par la **diapause** qui peut durer de un à trois ans (**figure 12**). La **durée de vie** des **adultes** est **très courte**, 2-3 jours, pendant lesquels l'accouplement a lieu, après quoi les femelles déposent entre 70 et jusqu'à plus de 300 œufs dans des **manchons** d'environ 30 mm de long autour d'aiguilles de pin (**figure 13**). L'extérieur des **manchons** est recouvert d'**écailles** provenant de l'abdomen de la femelle, qui ont pour tâche de cimenter les œufs entre eux pour ne pas pouvoir les distinguer et ainsi les protéger contre d'éventuels parasites et prédateurs.

Les **œufs** ont une forme grossièrement sphérique, mesurent environ 1 millimètre de diamètre et sont de couleur **gris-blanc**.

Les œufs commencent à éclore environ 30-45 jours après, en fonction des conditions de température, et les **larves** nouvellement écloses commencent immédiatement à **attaquer les aiguilles** du pin hôte, en tissant des **nids temporaires** avec leurs fils soyeux, préférant les parties les plus ensoleillées et les plus hautes de la couronne. Les larves ont un **comportement grégaire**; la période larvaire comprend 5 stades et à partir du troisième

stade larvaire, des *poils urticants* apparaissent progressivement sur la partie dorsale (**figure 14**) (**encadré 3**).

En *octobre*, les larves forment leurs derniers *nids d'hiver*, beaucoup plus grands et plus volumineux que les nids d'été, de forme oblongue ou arrondie, toujours placés dans les parties les plus exposées et les plus ensoleillées du feuillage. En hiver, ces nids peuvent abriter jusqu'à des centaines d'individus issus de l'éclosion de plusieurs œufs.

12



13



14



FIGURE 11
CHRYNALIDES DE *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA*.

FIGURE 12
ADULTE DE *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA*.

FIGURE 13
MANCHON DE *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA*.

FIGURE 14
DIFFÉRENTS STADES LARVAIRES DE *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA*.

ENCADRÉ 3

Pas toutes les larves sont urticantes comme la processionnaire du pin

Au printemps et en été, on signale fréquemment la présence de larves avec de longs poils sur de nombreux arbres feuillus, en milieu urbain et en forêt. Très souvent, ces larves sont **confondues à tort** avec les larves urticantes de la processionnaire du pin, ce qui suscite beaucoup d'inquiétude chez les citoyens et les profanes. Vous trouverez ci-dessous des informations et des photos d'espèces d'insectes dont les **larves ne sont pas urticantes** et ne présentent donc aucun danger pour l'homme et les animaux domestiques, ne causant que rarement des problèmes chez les personnes particulièrement sensibles (**figures 15 à 17**).

15



16



FIGURE 15
LARVE D'*HYPHANTRIA CUNEA*.

FIGURE 16
LARVE DE *LYMANTRIA DISPAR* CARACTÉRISÉE PAR LES TUBERCULES BLEUS ET ROUGES.

FIGURE 17
LARVES GRÉGAIRES DE *MALACOSOMA NEUSTRIA*.

17



Outre la chenille processionnaire du pin, d'autres larves d'espèces urticantes sont à surveiller: la processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea*) et le bombyx cul-brun (*Euproctis chrysosorrhoea*), capables également de provoquer des éruptions cutanées, des démangeaisons, des rougeurs, des irritations oculaires et, dans les cas les plus graves, des difficultés respiratoires (**figures 18-19**).

18



FIGURE 18
LARVES GRÉGAIRES DE *THAUMETOPOEA PROCESSIONEA*.

19



FIGURE 19
LARVE D'*EUPROCTIS CHRYSORRHOEA* L. (PHOTO DE LUCIANA BARTOLINI - WWW.LUCIANABARTOLINI.NET).

IMPLICATIONS PHYTOSANITAIRES, SANITAIRES ET VÉTÉRIAIRES

L'activité trophique des jeunes larves au cours de l'automne provoque généralement des dégâts modestes, avec le **jaunissement** des aiguilles en partie dévorées et enveloppées de fils minces. En revanche, au printemps, les larves matures sont beaucoup plus voraces, ce qui peut entraîner une **défoliation complète** des arbres en quelques semaines. Cette action réduit la croissance des pins, les affaiblit et les rend plus vulnérables aux

attaques de tout *insecte parasite*, comme les scolytes (**figure 20**). Néanmoins, dans les régions préalpines, la défoliation répétée joue un rôle écologique très important dans la succession des forêts de pins noirs créées par l'homme puisqu'elle favorise l'entrée de feuillus autochtones dans la forêt.

Dans les pinèdes ayant une certaine valeur paysagère ou fréquentées à des fins touristiques et récréatives, les infestations non seulement **altèrent l'esthétique** de la forêt en raison de la défoliation, mais présentent également un **risque sanitaire et vétérinaire** grave en raison

FIGURE 20
DOMMAGES ÉVIDENTS DUS À L'ACTIVITÉ TROPHIQUE DES LARVES DE *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA* SUR LES PLANTES HÔTES.



des poils urticants, libérés dans l'environnement par les larves à partir du troisième stade. Ces poils, présents par milliers sur des zones précises du dos définies comme des «miroirs», ressemblent à des dards avec des pointes terminales et libèrent une toxine lorsqu'ils se cassent, appelée *thaumétopoéine*. Ces poils sont donc capables de provoquer des *réactions dermatologiques indésirables*, en cas de contact direct avec les larves ou par la simple dispersion de leurs poils dans l'environnement (**figure 21**).

Ces effets se retrouvent non seulement chez l'homme, mais aussi chez les *animaux domestiques* qui, souvent, intrigués par la longue procession de larves sur le sol, entrent en contact avec elles et finissent ainsi par présenter des réactions allergiques sévères, nécessitant une intervention vétérinaire rapide.

SURVEILLANCE DE LA PROCESSIONNAIRE DU PIN

Dans le cadre du projet MONGE-FITOFOR, afin d'obtenir une image précise de la diffusion, de l'incidence et de la gravité de l'infestation par *T. pityocampa* sur le territoire de la Vallée d'Aoste, une *surveillance minutieuse* a été réalisée avec

21



FIGURE 21
RÉACTIONS CUTANÉES DUES AU CONTACT AVEC LES POILS URTICANTS DES LARVES DE THAUMETOPOEA PITYOCAMPA.

l'installation de **277 pièges géo-référencés** déclenchés avec des phéromones sexuelles sur des sites d'étude permanentes (**figure 22**). Ces pièges ont permis de **capturer** puis de **dénombrer** les individus mâles attirés par la phéromone sexuelle femelle, ainsi que de déterminer la **période de vol des adultes**, la localisation et l'intensité maximale des attaques du phytophage (**figure 23**). Cette surveillance,

réalisée sur de **vastes régions** à l'aide de **protocoles spécifiques**, a permis de prévoir le degré d'**infestation** pour l'année suivante sur la base des données collectées sur le nombre de nids d'hiver et le taux de **défoliation** des pinèdes enregistré au printemps. La surveillance s'est faite selon un calendrier annuel tout au long du cycle biologique de l'espèce, de 2020 à 2023, et se poursuivra par des enquêtes

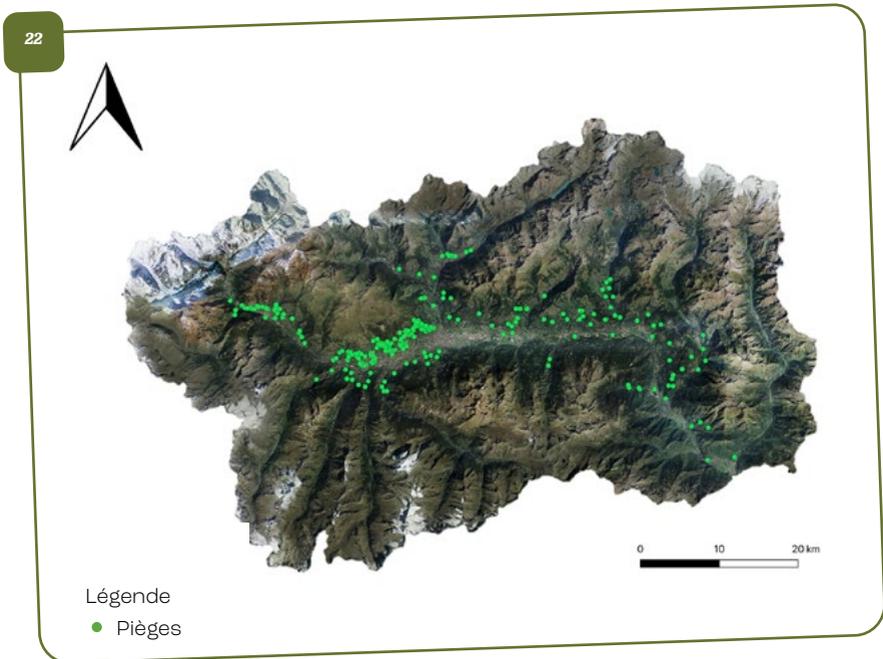


FIGURE 22
EMPLACEMENT DES PIÈGES DÉCLENCHÉS AVEC DES PHÉROMONES SEXUELLES POUR LA SURVEILLANCE DE *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA* DANS LA VALÉE D'AOSTE.

à long terme. La surveillance a été intégrée par des activités de *sciences participatives* et l'implication des *parties prenantes*, c'est-à-dire des sujets qui participent activement au projet (encadré 4).

23



FIGURE 23
PIÈGE À ENTONNOIR UTILISÉ POUR LA SURVEILLANCE DE THAUMETOPOEA PITYOCAMPA.

ENCADRÉ 4

Les sciences participatives

Les sciences participatives sont un ensemble d'activités impliquant la participation volontaire du grand public à la recherche scientifique. Ces activités, permettent d'une part, d'améliorer la collecte de données et, d'autre part, de sensibiliser et d'éduquer la population aux questions environnementales et écologiques (figure 24).

C'est pourquoi une plateforme a été mise à la disposition des citoyens - "**Signaler une menace pour la santé des plantes**" du site internet du projet MONGEFITOFOR, facilement accessible via un **QR-Code**, pour signaler la présence de problèmes affectant les plantes dans la région (Figure 25).

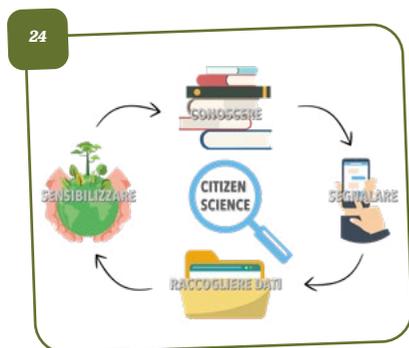


FIGURE 24
SCHEMA DES ACTIVITÉS PRÉVUES DANS LE CADRE DES SCIENCES PARTICIPATIVES.

FIGURE 25
QR-CODE CRÉÉ POUR ACCÉDER À LA PLATEFORME "REPORT PHYTOSANITARY ADVERSITY" SUR LE SITE INTERNET DU PROJET MONGEFITOFOR.



APPLICATION DE STRATÉGIES DE CONFINEMENT

Dans les forêts des Alpes occidentales, la processionnaire du pin représente un grave problème tant pour les forêts de pins, sérieusement défoliées, que pour les usagers, les touristes et les animaux, en raison des problèmes causés par les poils urticants des larves. C'est la raison pour laquelle, dès les années 1920, l'arrêté ministériel 138 du 20.05.1926, puis l'arrêté royal 1700 du 12.10.1933, modifié par l'arrêté royal 2504 du 2.12.1937, ont rendu **obligatoire** la lutte contre cet insecte. Plus récemment, les dispositions pour lutter contre cette espèce ont été divulguées par l'arrêté ministériel du 17.04.1998, réitéré par l'arrêté ministériel du 30.10.2007. Toutefois, la publication de l'arrêté ministériel

du 6 décembre 2021 a mis un terme au caractère obligatoire de la lutte contre cette espèce. L'objectif de la lutte contre la processionnaire du pin dans le cadre du projet MONGEFITOFOR était de maintenir les populations de l'insecte à des **niveaux acceptables** afin de préserver à la fois les peuplements forestiers et la santé des hommes et des animaux, notamment en tenant compte de la typologie des sites: infestation plus intense, présence de structures touristiques et de loisirs et d'agglomérations.

Les stratégies de défense appliquées dans le cadre du projet ont fait appel aux **techniques** les plus **efficaces** disponibles, adoptées en fonction des différents stades du cycle biologique de l'insecte et des caractéristiques des peuplements forestiers infestés.

En ce qui concerne le confinement du phytophage, diffé-



rentes méthodes de contrôle ont été envisagées dans le cadre du projet MONGEFITOFOR, sur des **sites pilotes** expérimentaux pendant trois années consécutives, comme la **lutte microbio-**

logique, biotechnique, mécanique et **chimique**, en privilégiant les techniques **durables** afin de respecter les réglementations européennes et nationales (**encadré 5**).

ENCADRÉ 5

Sites pilotes

Les sites pilotes sont des zones d'essai où sont évaluées différentes méthodes de lutte et leur efficacité, et donc la durabilité environnementale et économique. Ces zones expérimentales comprennent des parcelles homogènes, traitées et non traitées, où la surveillance s'effectue par des relevés et des échantillonnages ciblés et périodiques. Dans le cadre du projet MONGEFITOFOR, **huit sites pilotes** expérimentaux pour le confinement de la processionnaire du pin ont été sélectionnés et mis en place par l'équipe opérationnelle du projet afin d'augmenter naturellement la résistance et la résilience des peuplements forestiers (Figures 26-28). Des stratégies de contrôle à faible impact ont été appliquées sur les sites pilotes :

- **lutte microbiologique** : *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (Btk) (2 sites);
- **lutte biotechnique** : confusion sexuelle (distributeurs, paint ball) (3 sites);
- **lutte mécanique** : bandes adhésives et colliers de tronc (1 site);
- **lutte chimique** : endothérapie (2 sites).

26



FIGURE 26
PERSONNEL PARTICIPANT AU PROJET LORS DE LA SÉLECTION D'UN SITE PILOTE.

27



FIGURE 27
PERSONNEL PARTICIPANT À LA CRÉATION DU SITE PILOTE D'ENDOTHÉRAPIE DANS UNE ÉCOLE SECONDAIRE.

Confusion sexuelle
Régulateurs (2021)



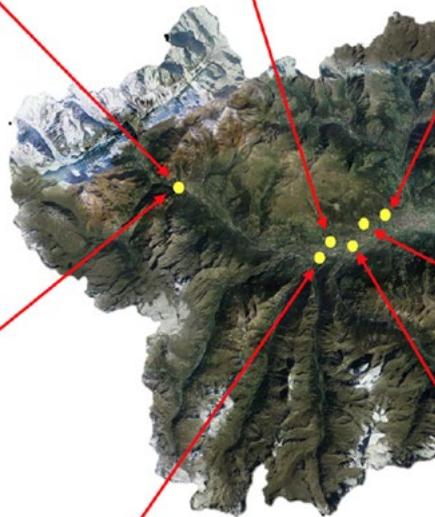
Confusion sexuelle
Régulateurs (2022)



Confusion sexuelle - Paint ball



Btk (2022)



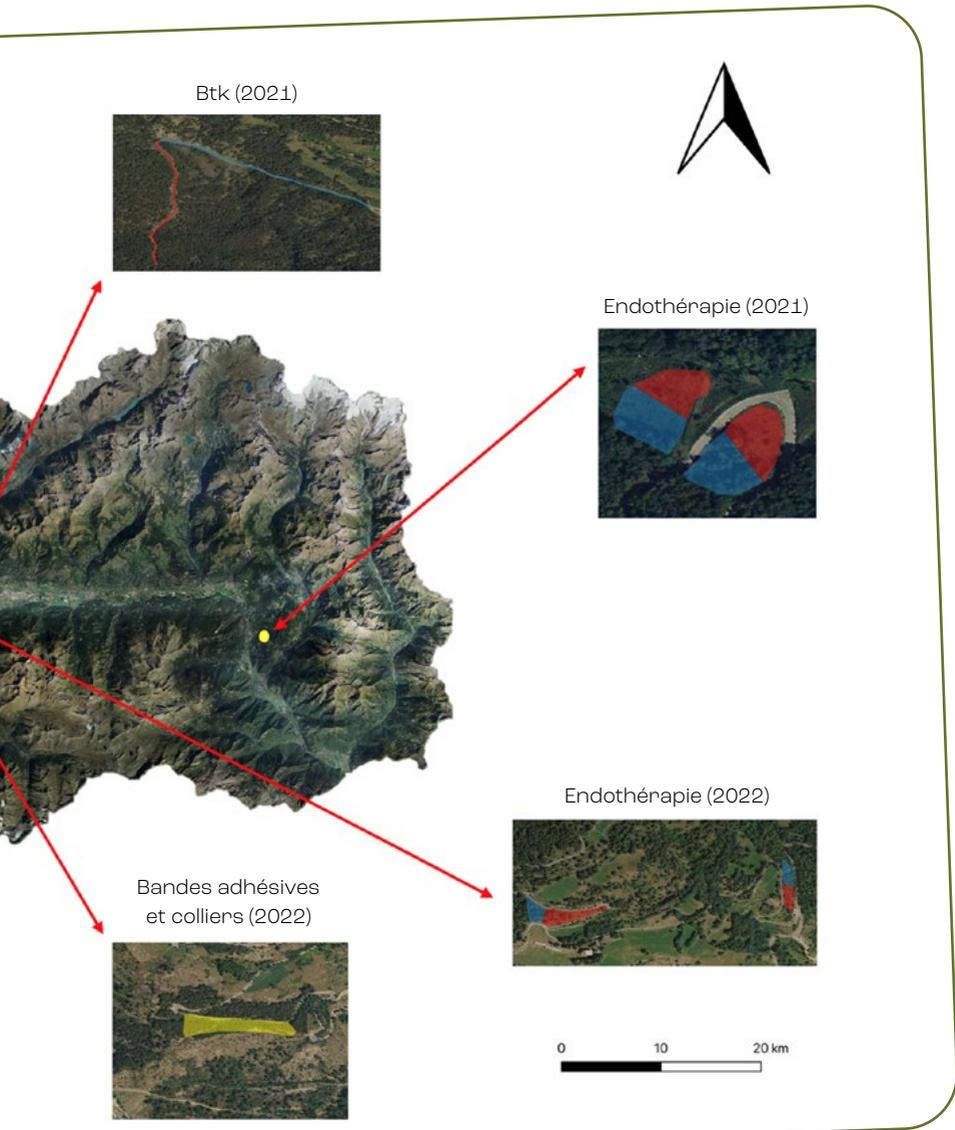


FIGURE 28
 CARTE REPRÉSENTANT LES SITES PILOTES MIS EN PLACE ET SURVEILLÉS (POINTS JAUNES SUR LA CARTE). EN BLEU LE SITE TRAITÉ ET

EN ROUGE LE SITE TÉMOIN. LA ZONE OÙ LES BANDES ADHÉSIVES ET LES COLLIERS ONT ÉTÉ INSTALLÉS EST REPRÉSENTÉE EN JAUNE.

LUTTE MICROBIOLOGIQUE

Cette stratégie de confinement s'inscrit dans le cadre plus large de la **lutte biologique**, qui utilise des agents biotiques de différentes natures tels que les virus, les bactéries, les champignons et les nématodes. Dans les zones expérimentales de la Sarre et de Saint-Pierre (AO), ainsi que dans d'autres zones urbaines et forestières, un produit homologué à base d'une **bactérie entomopathogène**, *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (*Btk*), largement utilisée contre les larves de lépidoptères, a été nébulisé sur les plantes. Les traitements ont été effectués au début du mois

de septembre, lorsque les dommages causés par le phytophage étaient encore limités. Le *Btk* est une bactérie naturelle, aérobie et sporogène qui agit par ingestion et provoque la mort des larves (principalement les larves du premier et du deuxième stade), réduisant ainsi l'étendue de l'infestation. Le *Btk* étant photolabile, le produit a été **nébulisé** au crépuscule (**Figure 29**).

L'efficacité de ce traitement a été évaluée en fonction du nombre de nids présents pendant la saison hivernale suivant le traitement. Dans les parcelles traitées, le nombre de nids d'hiver était inférieur à celui des parcelles témoins, ce qui indique une bonne efficacité de ce type de lutte.



29

FIGURE 29
TRAITEMENT PAR NÉBULISATION POUR L'APPLI-
CATION DE LA BACTÉRIE ENTOMOPATHOGÈNE
BACILLUS THURINGIENSIS VAR. *KURSTAKI*.

LUTTE BIOTECHNIQUE

La biotechnologie implique l'utilisation de substances, telles que les phéromones sexuelles, qui affectent le comportement des insectes, ainsi que l'utilisation de techniques génétiques. Les **phéromones sexuelles** femelles synthétiques sont utilisées pour surveiller et capturer un grand nombre d'individus mâles (capture de masse), ainsi que pour la **confusion sexuelle**, une technique qui implique la diffusion uniforme de phéromones sexuelles sur le territoire pendant la période de vol des adultes. Les mâles, se trouvant dans un environnement saturé de phéromones synthétiques, peuvent difficilement détecter les phéromones émises naturellement par les femelles vierges et donc difficilement localiser les femelles. Les **concentrations importantes** de phéromones saturent les récepteurs antennaires des mâles et diminuent leur capacité à répondre à de tels stimuli, d'où un **taux d'accouplement** plus faible et une ponte réduite.

Le site pilote a été aménagé sur le territoire de Morgex (AO) où la méthode «traditionnelle» de confusion sexuelle a été appliquée dans une zone spécifique avec la mise en place de **distributeurs contenant des phé-**

romones femelles synthétiques. Cette zone a été comparée à une autre zone sans diffuseurs. Des pièges à phéromones étaient présents sur les deux sites afin de capturer et de compter les individus mâles attirés par ces pièges (**Figure 30**).

31

FIGURA 30
DISTRIBUTEUR DE PHÉROMONES SEXUELLES
UTILISÉ SUR LE SITE DE CONFUSION SEXUELLE.

30



Toujours dans le domaine de la confusion sexuelle, la méthode innovante «Pine T Pro ball», testée à Saint-Pierre (AO), consiste à projeter des billes contenant 0,1 g d'une suspension de *microcapsules de phéromones sexuelles*, au moyen de fusils de type paintball à air comprimé, en visant le tronc de la plante. Une application par an avant l'apparition des adultes est suf-

fisante. Les résultats préliminaires obtenus, en termes de réduction des captures d'individus mâles sur les pièges, ont montré que cette technique est prometteuse pour réduire les infestations du phytophage (**figure 31**). D'autres études seront menées sur le terrain après la fin du projet afin d'évaluer son efficacité à long terme.



FIGURE 31
APPLICATION DE LA TECHNIQUE DE CONFUSION SEXUELLE À L'AIDE DE LA MÉTHODE INNOVANTE "PINE T PRO BALL".

LUTTE MÉCANIQUE

Les interventions de lutte mécanique consistent à **enlever les nids** à partir de la mi-automne jusqu'à la fin janvier sur de **petites étendues**, sur des arbres isolés et dans les parcs/jardins publics, mais pas dans les forêts et ne garantissent pas un contrôle efficace de la population. Il est également possible d'obtenir des résultats incertains en brisant les nids à l'aide d'une arme à feu (lutte balistique). Pour lutter contre le phytophage sur de petits groupes de plantes dans les parcs et les jardins, des interventions de lutte mécanique sont également disponibles et consistent à

collecter les larves à l'aide de pièges spécifiques. Sur un site pilote à Sarre (AO), des **bandes adhésives et des colliers rigides** ont été appliqués sur le tronc pour créer une **barrière** contre les larves matures qui descendent le long du tronc pour aller s'enfouir dans le sol (**figure 32**). Le résultat de ces pièges a été contrôlé par des comptages périodiques des larves capturées. La technique du collier a permis de capturer plus de larves que les bandes adhésives, souvent franchies par les larves surtout en présence d'une population très dense

FIGURE 32
BANDES ET COLLIERS SUR LE TRONC DES PINS POUR INTERCEPTER LES LARVES EN PHASE D'ENFOUISSEMENT.



LUTTE CHIMIQUE

En raison à la fois des risques pour la santé et de la toxicité pour d'autres insectes non ciblés tels que les ennemis naturels et les insectes pollinisateurs, les insecticides ne sont pas nébulisés sur le feuillage mais appliqués par **endothérapie**; celle-ci consiste à introduire directement des petites quantités d'un **insecticide systémique** homologué qui se propagera lentement vers la couronne à travers le système lymphatique de la plante, provoquant ainsi la mort des larves qui se nourrissent des aiguilles de pin. L'endothérapie se pratique sur les plantes ornementales situées dans les écoles et dans les parcs publics et privés.

Pendant deux années consécutives, sur les sites pilotes de Montjovet et de Sarre (AO), la «**Nouvelle méthode Corradi**» a été adoptée, avec l'injection manuelle d'**abamectine**, un principe actif systémique, dans le tronc de la plante, au moyen de seringues spécifiques avec un système de pression (**figure 33**). Grâce à cette technique, le traitement est **rapide, particulièrement efficace** avec une **faible phytotoxicité** et respecte l'environnement, les opérateurs et la population. Le choix du site traité et du site témoin s'est fait

sur la base des paramètres suivants : présence de nids temporaires, présence de larves à l'intérieur des nids temporaires, uniformité de la taille du tronc des plantes pour pouvoir administrer la même quantité de produit. Cette méthode permet de réduire la pression lors de l'injection de l'abamectine, évitant ainsi d'endommager les vaisseaux conducteurs de la plante. L'efficacité du traitement, mesurée par la mortalité larvaire évaluée en laboratoire, a montré un **taux de mortalité plus élevé des larves** prélevées dans les nids temporaires des plantes traitées à l'abamectine par rapport à celles prélevées sur les plantes témoins (**figure 34**).

L'utilisation de différentes méthodes de lutte a permis de mettre en évidence les meilleurs résultats obtenus par les expériences menées sur les sites pilotes afin de proposer un plan de lutte qui utilise et intègre les méthodes plus fonctionnelles à mettre en relation avec le type de territoire.

FIGURE 33
TRAITEMENT D'ENDOTHÉRAPIE RÉALISÉ AVEC LA NOUVELLE MÉTHODE CORRADI®.

FIGURE 34
PERSONNEL IMPLIQUÉ DANS LES ACTIVITÉS DE LABORATOIRE PRÉVUES POUR ÉVALUER LA MORTALITÉ DES LARVES DE LA PROCESSIONNAIRE PRÉLEVÉES SUR DES PLANTES TRAITÉES PAR ENDOTHÉRAPIE.



Outre les stratégies de lutte appliquées et testées, il faut souligner l'importance de la lutte biologique contre *T. pityocampae* par des espèces **antagonistes** puisque la processionnaire possède tout un ensemble d'**ennemis naturels** : les **insectes parasitoïdes** (*Trichogramma* spp., *Ooencyrtus pityocampae*, *Baryscapus servadeii*, *Phryxe caudata*, *Villa brunnea*), les **insectes prédateurs** (*Xathandrus comtus*, *Calosoma sycophanta*), les **oiseaux insectivores** (huppe, mésange), des **maladies virales et fongiques** affectant les larves et les chrysalides.

En général, aucune mesure de lutte biologique n'est utilisée contre la chenille processionnaire du pin, mais les



recherches en cours sur la biologie et le comportement de ses antagonistes peuvent offrir des perspectives utiles.

C'est précisément dans le but d'une éventuelle lutte biologique que des recherches à grande échelle ont été menées dans la région de la Vallée d'Aoste, tant sur le terrain qu'en laboratoire, afin d'identifier d'éventuels parasitoïdes de la processionnaire du pin, avec un intérêt particulier pour la richesse et la complexité des *parasitoïdes oophages*. Pour ce faire, des œufs de la processionnaire ont été récoltés dans des forêts de pins noirs et de pins sylvestres situées entre 800 et 1300 m d'altitude, transportés au laboratoire, débarrassés de leurs écailles protectrices (Figure 35) et placés dans des éprouvettes en verre pour surveiller l'éclosion des parasitoïdes et pouvoir les identifier par la suite (figures 36-37).



FIGURE 35
ENLÈVEMENT DES ÉCAILLES PROTECTRICES
DES ŒUFS.

FIGURE 36
PARASITOÏDES ÉCLOS D'UN ŒUF PLACÉ DANS
UNE ÉPROUVETTE.

FIGURE 37
PARASITOÏDE VENANT JUSTE D'ÉCLORE ET SON
TROU.

L'analyse morphologique et moléculaire des individus obtenus a permis d'identifier plusieurs espèces de parasitoïdes oophages, dont les plus représentatifs sont *Trichogramma* sp. (figure 38) et *Ooencyrtus pityocampae* (figure 39), et dans une moindre mesure, des individus de *Baryscapus servadeii* et d'*Anastatus bifasciatus*.

Dans le cadre du projet, une task-force transfrontalière (task-force EFIS - Urgences phytosanitaires Italie-Suisse) a été mise en place pour soutenir les activités de défense des forêts dans la zone d'étude du projet contre les **nouveaux problèmes phytosanitaires** (encadré 6).



FIGURE 38
SPÉCIMENS DE TRICHOGRAMMA SP.

FIGURE 39
ÉCLOSION D'UN SPÉCIMEN ADULTE D'OOENCYRTUS PITYOCAMPAE.

ENCADRÉ 6

Task force

La **task-force transfrontalière** mise en place dans le cadre du projet a pour mission d'identifier et de combattre les infestations et les maladies causées par des organismes envahissants qui pourraient également causer des problèmes dans la vallée d'Aoste et dans les cantons des Grisons et du Tessin. Les zones du projet sont particulièrement vulnérables au champignon pathogène *Dothistroma septosporum*, un agent redoutable responsable du dépérissement et de la défoliation de la canopée des pins. De même, des **insectes exotiques envahissants** tels que le scarabée japonais *Popillia japonica* et les coléoptères cerambycidae asiatiques *Anoplophora chinensis* et *A. glabripennis* peuvent également représenter une urgence phytosanitaire potentielle dans la zone étudiée, puisque leur présence a déjà été signalée dans certaines régions du nord de l'Italie. D'autres menaces potentielles sont représentées par les espèces suivantes :

Agrilus planipennis, une espèce **figurant sur la liste A2 de l'Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes (OEPP)**, actuellement signalée en Russie et en Ukraine et qui est en expansion.

Bursaphelenchus xylophilus, communément appelé le nématode du pin, également inclus dans la **liste A2**, observé jusqu'à présent en Espagne et au Portugal, mais pas encore en Italie.

Dendroctonus valens, espèce **A1** de la liste de l'OEPP regroupant des organismes de quarantaine qui ne sont pas encore présents dans la zone.

Toumeyella parvicornis, une espèce de la **Liste d'Alerte** de l'OEPP, qui attaque le Pinus et actuellement signalée dans certaines régions d'Italie (Abruzzes, Campanie, Latium, Pouilles et Toscane).

APERÇU GÉNÉRAL DU DÉPÉRISSEMENT DU PIN SYLVESTRE

Le **dépérissement du pin sylvestre** est un phénomène bien connu dans toute l'Europe, particulièrement prononcé dans les vallées de la région alpine orientées est-ouest, au climat plus continental, comme la vallée du Rhône

en Valais, la vallée centrale de la Vallée d'Aoste et la vallée de Suse dans le Piémont. Le dépérissement du pin sylvestre dans les **Alpes**, étudié également par le passé dans la Vallée d'Aoste dans le cadre d'un projet Interreg Italie-Suisse, **se manifeste de manière chronique** par une première phase d'affaiblissement progressif suivie par le **dessèchement de spécimens isolés** (figure 40) ou de

petits *groupes de plantes* répartis de manière aléatoire dans les peuplements, en particulier sur les sites situés sur des versants orientés vers le sud. Ce syndrome, qui se manifeste plus intensément dans les forêts situées en dessous de 1000 m d'altitude, est considéré comme l'effet d'une série complexe de facteurs, dont le climat, la concurrence avec d'autres espèces, par exemple le chêne pubescent, la présence de parasites comme le gui, les nématodes de l'aubier, les insectes xylophages et les champignons pathogènes.

FIGURE 40
DÉPÉRISSEMENT CHRONIQUE DE SPÉCIMENS
DE PIN SYLVESTRE, SAINT DENIS (AO).

40



41



42



Ces phénomènes de dépérissement n'ont pas grand-chose à voir avec les **dessèchements généralisés et importants** du pin sylvestre qui se sont produits dans le passé dans les peuplements d'invasion sur des anciennes cultures sur le versant nord de la vallée centrale de la Vallée d'Aoste (**figure 41**).

Dans sa phase la plus aiguë, le dépérissement généralisé se manifeste par une **décoloration** (rougissement) du **feuillage** suivie par le **dessèchement** complet de la plante. La chute des aiguilles se fait de l'intérieur vers l'extérieur des branches, c'est-à-dire à partir des aiguilles les plus anciennes. Les branches terminales, riches en aiguilles, ressemblent souvent à une **queue de lion** (**figure 42**). Le brunissement des aiguilles, qui suit le rougissement, est un symptôme assez fréquent.

Bien que des traces d'insectes phytophages et de champignons phytopathogènes aient été retrouvées sur ces pins sylvestres, dont le coléoptère cérambycidae *Acanthocinus aedilis*, le bupreste *Phaenops cyanea*, les champignons *Cenangium ferruginosum*, *Cyclaneusma minus*, *Sclerophoma pithyophila* et *Truncatella hartigii*, ceux-ci ne justifient pas l'ensemble des symptômes ni la mort des arbres.

Les investigations climatiques et les analyses rétrospectives comparées à d'autres épisodes

de dépérissement du pin dans le Val d'Aoste ont permis d'établir une origine climatique à ces phénomènes et que au moins *deux années consécutives* caractérisées par des *anomalies de l'échelle du diagramme ombrothermique estival* (rapport entre les précipitations en mm et les températures en °C du mois de mai au mois d'août) favoriserait le phénomène de *dépérissement*

important (figure 43).

Le dépérissement important affecte principalement les peuplements situés au nord plutôt que sur ceux orientés au sud où les plantes tolèrent mieux les périodes de sécheresse prolongée, grâce à une série d'adaptations poussant la plante à compenser et à réduire la transpiration en réponse au stress hydrique at-

43

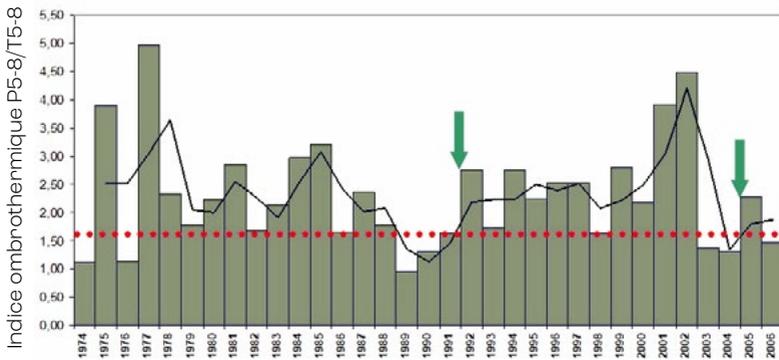


FIGURE 41
DÉTAILS DE LA COURONNE D'UN PIN SYLVESTRE ATTEINT D'UN GRAVE DÉPÉRISSEMENT. NOTEZ L'ASPECT EN QUEUE DE LION DES PARTIES TERMINALES DES POUSSES.

FIGURE 42
DÉTAILS DE LA COURONNE D'UN PIN SYLVESTRE ATTEINT D'UN GRAVE DÉPÉRISSEMENT. NOTEZ L'ASPECT EN QUEUE DE LION DES PARTIES TERMINALES DES POUSSES.

FIGURE 43

SÉRIE HISTORIQUE ET MOYENNE MOBILE DU DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE ESTIVAL, RÉALISÉ SUR LA BASE DES DONNÉES DE PLUVIOMÉTRIE ET DE TEMPÉRATURE DE SAINT CHRISTOPHE. EN ROUGE, UN SEUIL MINIMAL HYPOTHÉTIQUE POUR LE DÉCLENCHEMENT DES PHÉNOMÈNES DE DÉSÈCHEMENT DU PIN SYLVESTRE. À NOTER QUE LE DÉSÈCHEMENT IMPORTANT DU PIN SYLVESTRE S'EST PRODUIT ALORS QUE L'ÉCHELLE DE CE DIAGRAMME ÉTAIT AU MINIMUM.

mosphérique.

La sélectivité du phénomène sur le pin sylvestre semble se justifier par une série complexe de facteurs, dont le climat, le sol, l'âge des plantes et la conformation de leur système racinaire. Dans les sols de profondeur moyenne, le pin sylvestre développe un système racinaire relativement profond, contrairement à d'autres espèces comme l'épicéa. Alors que les espèces à système racinaire peu profond sont capables d'intercepter et d'utiliser l'eau de pluie même lorsqu'elle n'est pas abondante, les espèces avec un système racinaire profond sont extrêmement sensibles aux réductions drastiques des précipitations, surtout lorsque celles-ci surviennent en même temps qu'une baisse du niveau de la nappe phréatique. Cela est particulièrement vrai dans le cas des plantes adultes, incapables de compenser en émettant de manière significative de nouvelles racines et en modifiant leur architecture racinaire. Bien que ces phéno-

mènes puissent être réversibles et ne conduisent pas nécessairement au dessèchement de peuplements entiers, les conséquences sur le paysage sont très importantes, tout comme le risque d'incendies de forêt par la suite.

SURVEILLANCE DU DÉPÉRISSEMENT DU PIN SYLVESTRE

Au cours de ces dernières années et dans le cadre du projet MONGEFITOFOR, le Corps forestier de la Région autonome du Val d'Aoste et l'Università degli Studi de Turin ont collaboré pour collecter et analyser les **signalements** concernant l'apparition ou la recrudescence des phénomènes de dépérissement du pin sylvestre. Les agents, les fonctionnaires, les chercheurs ou le personnel chargé de la surveillance phytosanitaire des forêts ont identifié des parcelles où les symptômes du pin sylvestre étaient attribuables au **dépérissement**. Plus particuliè-



rement, des peuplements essentiellement de pin sylvestre ont été identifiés présentant une décoloration du feuillage, des dessèchements sectoriels ou généralisés de tiges, de branches ou de rameaux et la présence d'arbres morts debout ou au sol.

Les opérateurs ont analysé l'état de santé général des pins sylvestres avec des méthodes différentes en fonction des cas et des contraintes technico-logistiques imposées par les différentes situations, et en utilisant les méthodes de *surveillance phytosanitaire* suivantes :

- Utilisation de personnel patrouillant activement la parcelle forestière concernée ;
- Utilisation de personnel à distance qui, à l'aide de jumelles et d'appareils photo numériques dotés de zooms optiques très performants, a pu constater les conditions du peuplement, même lorsque celui-ci n'était pas accessible ;
- Utilisation de personnel comme dans les points précédents, mais dans ce cas équipé de *drones* avec une caméra vidéo et un appareil photo adaptés aux prises de vue aériennes (**figure 44**).

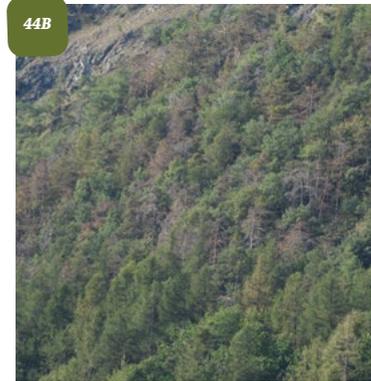


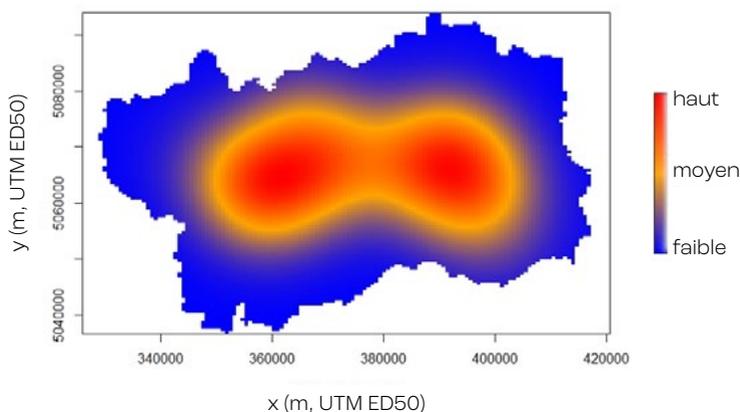
FIGURE 44
TECHNIQUES DE SURVEILLANCE DU DÉPÉRISSEMENT DU PIN SYLVESTRE. ANALYSE DES SYMPTÔMES SUR PLACE (A), À DISTANCE (B) ET À L'AIDE DE DRONES (C).

Les méthodes de surveillance décrites ci-dessus ont permis d'analyser en temps réel et en différé l'état de santé de des pinèdes en analysant les images et le matériel photographique acquis. Les sites sur lesquels des dépérissements du pin sylvestre ont été signalés ont été identifiés sur une carte, et une *carte thématique* a été réalisée pour évaluer la concentration de ces dépérissements signalés, uniquement pour la Vallée d'Aoste. Tout ce matériel a permis de constater que les dépérissements signalés se concentrent le long de la vallée principale avec deux pics, le plus occidental entre Gressan et Aivie, et le plus oriental entre Saint-Vincent et Nus (**figure 45**). Sur certains sites, des échantillons de branches de pin sylvestre

présentant des symptômes et de strobili femelles ont été prélevés, jusqu'à une hauteur de 3 mètres. Les échantillons ont été analysés en laboratoire en utilisant : des chambres humides pour induire la différenciation des structures multiplicatives ou reproductives par d'éventuels champignons ascomycètes phytopathogènes présents dans les tissus hôtes ; des essais d'isolement microbien visant à obtenir des cultures in vitro de champignons potentiellement impliqués dans le dépérissement ; des préparations pour microscopie optique pour effec-

FIGURE 45
CARTE DU NIVEAU DE CONCENTRATION DES SIGNALEMENTS DE DÉPÉRISSSEMENT DU PIN SYLVESTRE DANS LE VAL D'AOSTE. LES COORDONNÉES REPRÉSENTENT LA LONGITUDE (X) ET LA LATITUDE (Y) EN MÈTRES, DANS LE SYSTÈME DE RÉFÉRENCE UTM ED50.

45



tuer la détermination systématique des espèces isolées ; des diagnostics approfondis réalisés avec des techniques moléculaires basées sur l'extraction et l'analyse de l'ADN génomique (par exemple, PCR). Les résultats des différentes investigations diagnostiques ont montré que, dans environ **70% des cas**, les échantillons étaient positifs pour la présence du champignon ascomycète *Sphaeropsis sapinea*. Confusion sexuelle plus approfondie de ce pathogène, des symptômes qu'il induit chez l'hôte et des stratégies d'endiguement possibles est présenté dans le chapitre suivant.

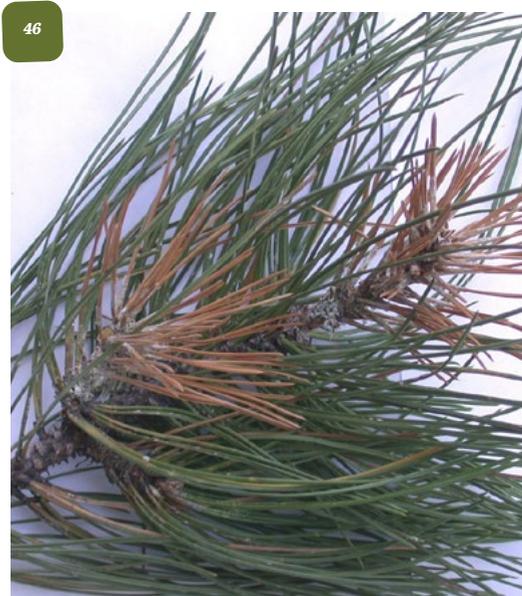
DESSÈCHEMENT DES POUSSES DE PIN PAR *SPHAEROPSIS SAPINEA*

Sphaeropsis sapinea (Fr.) Dyko & Sutton est un champignon qui provoque le dessèchement des pousses du pin sylvestre, du pin noir et parfois aussi de l'épicéa et d'autres espèces de la famille des Pinaceae.

Le champignon a tendance à être plus **agressif dans les régions à climat chaud**, où il peut tuer les branches d'une certaine taille. Cependant, l'agressivité plus accrue du champignon dans ces zones dépend de certains fac-

teurs qui limitent la résistance de l'hôte, comme la **sécheresse**. La maladie a récemment fait son apparition dans certaines vallées alpines, dont le Val d'Aoste, même à environ 1 000 m d'altitude, profitant probablement de la hausse des températures et du stress hydrique qui affecte les plantes. La maladie se manifeste au printemps par le **dessèchement des pousses** de l'année au sommet de la couronne (**figure 46**).

FIGURE 46
SYMPTÔMES INITIAUX CAUSÉS PAR *SPHAEROPSIS SAPINEA* SUR LE SOMMET DES POUSSES DE PIN.





47

FIGURE 47
OPÉRATIONS DE DIAGNOSTIC DE *SPHAEROPSIS SAPINEA* SUR LE TERRAIN: OBSERVATIONS À L'AIDE D'UNE LOUPE POUR LA RECHERCHE DE LA FRUCTIFICATION DU CHAMPIGNON.

FIGURE 48
DESSÈCHEMENT DES POUSES DE PIN CAUSÉ PAR *SPHAEROPSIS SAPINEA*. AVISE (AO).

FIGURE 49
PUSTULES NOIRES REPRÉSENTANT LA FRUCTIFICATION DU *SPHAEROPSIS SAPINEA* SUR LES ÉCAILLES DU STROBILUS FEMELLE D'UN PIN SYLVESTRE.



48

L'infection des pousses commence tôt, avant que les aiguilles ne soient complètement sorties, et se traduit d'abord par une exsudation de résine à la base de la pousse, puis par le rougissement des aiguilles infectées plus courtes que les aiguilles vertes. Avec le temps, les aiguilles deviennent gris-brun cendré et des **pustules noires** apparaissent sur celles-ci, surtout à la base, représentant les fructifications du champignon (**figure 47**). Ces pustules peuvent également apparaître sur l'écorce des branches mortes.

Les **dégâts** peuvent être considérables en cas d'infections répétées plusieurs années de suite et en cas de développement épidémique. La croissance des plantes ralentie et dans certains cas, notamment sur les jeunes individus, la maladie peut être **mortelle** (**figure 48**).

Le champignon peut également provoquer le **bleuissement**, une décoloration gris-bleu des troncs abattus. Les pustules noires (fructifications du champignon), qui se forment généralement au printemps suivant l'année de l'infection, produisent des **spores** qui sont **disséminées pendant les périodes** les plus chaudes et les **plus pluvieuses**, de mars à octobre, avec une période optimale d'avril à juin, pendant la croissance des pousses. Le champignon hiberne dans les aiguilles au

sol ou encore attachées aux branches, sur l'écorce ou sur les strobiles qui peuvent constituer un réservoir d'inoculum important, car le champignon est capable d'y fructifier considérablement (**figure 49**). Le champignon peut également survivre, en se comportant comme un saprophyte, sur les troncs et les branches au sol. Des tempêtes de grêle intenses ainsi que des niveaux élevés d'humidité relative de l'air peuvent prédisposer les plantes à l'infection. En ce qui concerne la *défense*, le fait d'éliminer des branches infectées, des strobiles et d'autres matériaux, même au sol, pourrait atténuer la gravité de la

maladie, mais cela n'est généralement pas possible dans les milieux forestiers typiques. Si des mesures sont prises dès les premières apparitions du pathogène dans la forêt avec une taille visant à éliminer les branches affectées, celle-ci doit être mise en place pendant des périodes très sèches afin d'éviter l'infection des plaies résultant de la taille. Bien que l'on manque actuellement de preuves expérimentales, la *régulation de la densité* des peuplements forestiers, grâce à des techniques sylvicoles appropriées, pourrait *réduire le risque* que la maladie apparaisse et se propage.

49





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 souhaitent remercier Davide Cadario pour son soutien dans les activités de terrain et Francesca Brescia pour son assistance dans les laboratoires de phytopathologie forestière et de biotechnologie forestière de la DISAFA, ainsi que les agents, les fonctionnaires et le personnel du Corps forestier de la Vallée d'Aoste qui ont participé aux activités d'identification des sites pilotes.

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

Auger-Rozenberg M-A.; Barbaro L.; Battisti A.; Blache S.; Charbonnier Y.; et al. 2015. Ecological responses of parasitoids, predators and associated insect communities to the climate-driven expansion of the pine processionary moth. In *Processionary Moths and Climate Change: An Update*. A. Roques. pp. 427. Dordrecht, Neth, Springer.

Battisti A.; De Battisti R.; Faccoli M.; Masutti L.; Paolucci P.; Stengulo F. 2013. *Lineamenti di zoologia forestale*. Padova University Press, Padova.

Bennetti G. 1995. *Selvicoltura speciale*. Torino: UTET. ISBN 9788802048673

Bennetti G. 2005. *Atlante di selvicoltura. Dizionario illustrato di alberi e foreste*. Bologna: Edagricole. ISBN 9788850646654

Camerano P.; Terzuolo P.G.; Varese P. 2007. *I tipi forestali della Valle d'Aosta*. Arezzo: Compagnia delle Foreste.

Capretti P.; Santini A.; Solheim H. 2013. Branch and tip blights. In: *Infectious forest diseases*, Gonthier P. and Nicolotti G. (eds.). Cab International, Wallingford, UK., pp. 420-435.

Del Favero R. 2004. *I boschi delle regioni alpine italiane*. Padova: CLEUP. ISBN 9788867870820.

Ferracini C.; Saitta V.; Pogolotti C.; Rollet I.; Vertui F.; Dovigo L. 2020. Monitoring and management of the pine processionary moth in the northwestern Italian Alps. *Forests* 11: 1253-1265.

Ferracini C.; Saitta V.; Rondoni V.; Rollet, I. 2023. Variables Affecting the Pine Processionary Moth Flight: A Survey in the North-Western Italian Alps. *Forests* 14(1): 31.

Gonthier P.; Giordano L.; Nicolotti G. 2010. Further observations on sudden diebacks of Scots pine in the European Alps. *The Forestry Chronicle*, 86(1), 110-117.

Lauber K.; Wagner G.; Gygay A. 2001. *Flora Helvetica*. Bern: Haupt Verlag. ISBN 9783258077000.

Masutti L.; Zangheri S. 2001. Entomologia generale e applicata. CEDAM, pp. 978.

Pogolotti C.; Vercelli M.; Fontana E.V.; Ferracini C. 2022. Management strategies to control pine processionary moth outbreaks in North-Western Italian Alps. Book of Abstract of the IUFRO Conference Division 7 – Forest Health Pathology and Entomology Lisbon, 6-9 September 2022, pp. 74.

Pollini A. 2013. Manuale di entomologia applicata. Edagricole, pp. 1462.

Regione Piemonte, Regione Autonoma Valle D'Aosta 2008. Il deperimento del pino silvestre nelle Alpi occidentali: natura e indirizzi di gestione. Anrezzo: Compagnia delle Foreste, pp. 128.



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

