

EST-CE LA FIN DE LA CRISE DES SCOLYTES? SUIVI DU PHÉNOMÈNE PAR TÉLÉDÉTECTION

par Gilles Arthur, Lisein Jonathan, Latte Nicolas, Lejeune Philippe et Claessens Hugues

ULiège Gembloux Agro-Bio Tech - Gestion des ressources forestières

Contact : arthur.gilles@uliege.be

En 2022, l'Europe est sortie des huit années les plus chaudes jamais enregistrées, engendrant des mortalités importantes d'épicéas à travers tout le vieux continent. Les conditions climatiques particulièrement sèches de 2018 ont déclenché une pullulation de scolytes causant la perte de milliers d'hectares d'épicéas, notamment en Wallonie et dans la région Grand Est de la France. Afin d'évaluer la quantité et la dynamique des dégâts, l'équipe de Gestion des ressources forestières de Gembloux Agro-Bio Tech a réalisé des cartes annuelles d'état sanitaire de la pessière depuis 2017, au départ d'images satellitaires.

Résumé

L'équipe de Gestion des ressources forestières de Gembloux Agro-Bio Tech a réalisé des cartes annuelles de l'état sanitaire de la pessière en Wallonie et dans le Grand-Est pour les années 2017 à 2022, au départ d'images satellitaires, dans l'objectif de retracer l'évolution temporelle des dégâts de scolytes et de mettre en lumière les facteurs prédisposant l'épicéa aux attaques de ces insectes.

Les analyses des cartes d'état sanitaire ont montré que les pertes d'épicéas ne sont pas uniformément réparties. Elles sont particulièrement importantes dans les régions de plaines où les dégâts ont causé la perte de la moitié des peuplements.

Considérant les prévisions climatiques des prochaines décennies, la plantation d'épicéas en Wallonie ne semble plus opportune en dehors de l'Ardenne en dessous de 400 m, à l'exception de certaines stations forestières particulièrement favorables à l'épicéa.

Par ailleurs, on peut raisonnablement émettre l'hypothèse que l'année 2021 a marqué la fin de la crise avec un retour en 2022 à un niveau d'attaque de scolytes endémique similaire à l'année 2017.

Samenvatting

Het Team van het Beheer van de bosbouwrijdommen van Agro-Bio Tech van Gembloux heeft jaar kaarten opgemaakt van de gezondheidstoestand van de sparrenbossen in Wallonië en in de Franse regio Grand-Est voor de jaren 2017-2022, vertrekkend van satellietbeelden, om zo een zicht te krijgen op de evolutie gedurende die periode van de door de schorskever (letterzetter) aangerichte schade, en aan het licht te brengen welke factoren de fijnspar kwetsbaar maken voor de aanvallen door dit insect.

Uit een analyse van de kaarten blijkt dat de fijnsparren niet overal gelijkmatig werden aangetast. De aantasting van de fijnsparren is het grootst in de laagvlakten, waar de schade heeft geleid tot het verlies van de helft van de bestanden.

Gelet op de klimaatvoorspellingen voor de komende decennia, lijkt het niet langer een goed idee om nog fijnsparren aan te planten in Wallonië buiten de Ardennen beneden de 400 m, met uitzondering van bepaalde bossites die bijzonder geschikt zijn voor de fijnspar.

Daarenboven kunnen we redelijkerwijze stellen dat het jaar 2021 het einde inluidde van de crisis met een terugkeer in 2022 naar een niveau van endemische aanvallen van de letterzetter vergelijkbaar met 2017.

CONTEXTE DE LA

CRISE

Abondamment planté lors des reboisements massifs dès la fin du 19^e siècle, l'épicéa est devenu une essence de production majeure en Wallonie (Lejeune et al., 2022) et dans le Grand Est. S'il est peu exigeant d'un point de vue trophique, ce qui a été l'un des facteurs de son succès, il nécessite cependant une pluviosité importante et une certaine fraîcheur pour se développer correctement. Ainsi, les canicules et les sécheresses le fragilisent. Lorsque cette essence est soumise à un stress, elle relâche des composés volatiles qui vont inciter des insectes ravageurs, appelés scolytes, à l'attaquer. Deux espèces indigènes de cette famille d'insectes vont s'en prendre en particulier à l'épicéa : le typographe (*Ips typographus*) et le chalcographe (*Pityogenes chalcographus*). Ces insectes sont des hôtes habituels des pessières qui, en temps normal, ne s'attaquent qu'aux épicéas affaiblis. Durant cette phase endémique, le forestier contrôle aisément leur population grâce à l'évacuation immédiate et systématique des quelques arbres atteints. Lors de ces dernières années, la récurrence des sécheresses et des canicules ont sérieusement stressé l'épicéa, tout en favorisant la multiplication de ces coléoptères qui ont bénéficié des conditions chaudes, particulièrement favorables à leur reproduction. Les scolytes ont dès lors pullulé dans ces épicéas affaiblis, et forts de leur nombre, ils sont arrivés à déborder les capacités de résistance des arbres sains qu'ils ont aussi attaqués massivement. Cette phase épidémique de la crise a débuté en 2018 ; année particulièrement chaude et sèche. Les scolytes ont provoqué des mortalités importantes et rapides à travers toute l'Europe, provoquant une saturation du marché du bois et une chute du prix du bois sur pied. Cette crise sanitaire a donc provoqué une crise majeure touchant toute la filière de l'épicéa.



© Wim

Avec l'apparition des premiers foyers de scolytes en 2018, une première cartographie des pessières a été réalisée dans l'urgence par l'équipe de Gestion des ressources forestières de Gembloux Agro-Bio Tech (Latte et al., 2019) au départ d'images satellitaires à haute résolution (Pléiades et Spot6). Cette carte, bien que relativement peu précise car basée sur une méthode simplifiée combinant seulement deux dates, a permis de mettre en évidence l'ampleur des attaques et de cibler les actions de terrain en début de crise. Dans cet article, nous présentons une approche plus aboutie et plus robuste permettant de décrire la dynamique spatio-temporelle des dégâts à partir de l'année 2017 jusqu'à aujourd'hui et visant à mettre en lumière les facteurs prédisposant l'épicéa aux attaques de scolytes. Cette recherche a bénéficié des nouvelles méthodes de détection mises au point par l'INRAE (Dutrieux et al., 2021) et des récents développements en télédétection forestière (Bolyn et al., 2022). Ces travaux ont été financés par le Plan quinquennal de recherche forestière et par le programme Interreg Regiowood II.

CARTOGRAPHIE DE L'ÉTAT SANITAIRE DE LA PESSIÈRE

L'épicéa attaqué par le scolyte passe par trois stades de dépérissement : le stade vert, le stade rouge et le stade gris. Durant le stade vert, les premiers symptômes d'attaque tels que des perforations de l'écorce et des tas de sciures au pied du tronc sont visibles, mais l'épicéa conserve ses aiguilles vertes. Après quelques semaines, le manque d'eau dû au creusement des galeries de scolytes dans le phloème¹ va mener au rougissement des aiguilles (stade rouge) et à la mort de l'arbre. Le stade gris est atteint lorsque toutes les aiguilles sont tombées au sol. Ces symptômes d'attaques visibles sur les aiguilles sont causés par une diminution de leur teneur en eau et par une diminution de leur activité photosynthétique.

Avec le lancement des satellites du programme Sentinel 2 de l'Agence Spatiale européenne en 2015 et les progrès en télédétection, de nouvelles méthodologies plus efficaces ont été développées pour le suivi de l'état sanitaire en forêt.

¹ Tissu conducteur de la sève élaborée, situé à la périphérie du bois. Egalement appelé liber. Source : Vocabulaire forestier. Écologie, gestion et conservation des espaces boisés. Christian Gauberville, Yves Bastien - CNPF-IDF - 2011.

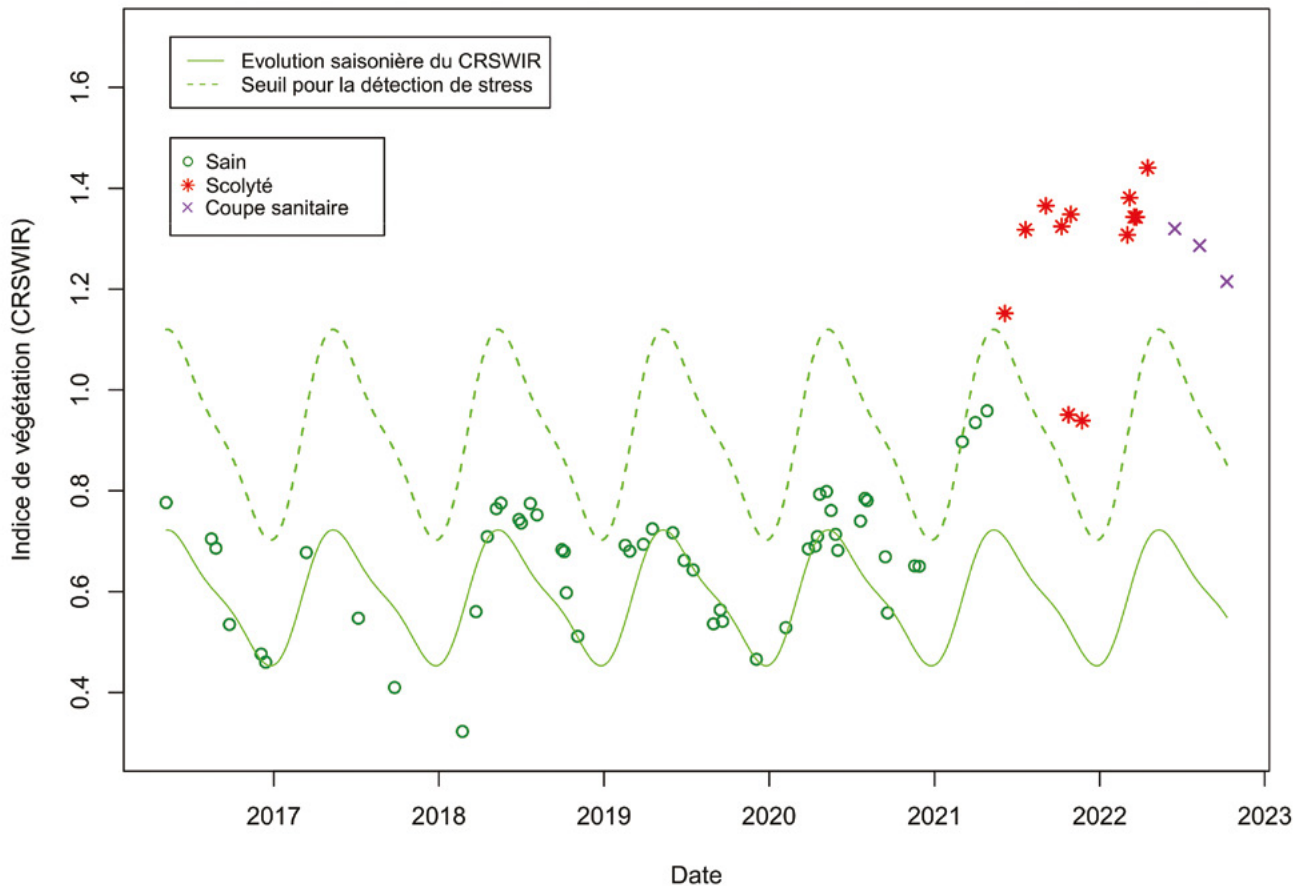


Figure 1 - Illustration du suivi de l'état sanitaire d'un bouquet d'épicéas (correspondant à un pixel de 10 m) par télédétection : chaque point représente une observation relative à une prise de vue satellitaire du même pixel. Ce bouquet d'épicéas suit une trajectoire phénologique typique d'un peuplement sain (représentée par la courbe continue) jusqu'au printemps 2021. L'activité photosynthétique des arbres diminue ensuite, ce qui se traduit par une augmentation de l'indice de végétation. Le seuil critique (représenté par la courbe en pointillé) étant dépassé durant l'été 2021 à plus de deux reprises et avec plus de 20 jours entre les dates de passages des satellites, la pessière est alors considérée comme « scolytée ». Ce bouquet d'arbres est finalement détecté comme coupé durant l'été 2022.

En effet, ces satellites possèdent des capteurs sensibles à la teneur en eau du couvert forestier et fournissent des images disponibles gratuitement, avec une fréquence d'une image tous les 6 jours. En Wallonie, nous avons à notre disposition en moyenne 28 prises de vue exploitables (c'est-à-dire peu ennuagées) par an. Ces images permettent de modéliser l'évolution de la teneur en eau au cours du temps des épicéas à une résolution de 10 m, ce qui correspond à un bouquet d'arbres. La méthodologie employée se base sur un indice spectral qui sert à prédire la teneur en eau du feuillage. Cette méthode a été développée initialement par l'INRAe (Dutrieux et al., 2021) et a été adaptée aux besoins de cette étude (Gilles et

al., 2022). La phénologie¹ des pessières saines a été modélisée et est représentée sur la figure 1 en trait continu. On considère qu'une pessière qui s'écarte fortement de cette trajectoire phénologique est considérée comme stressée : le seuil au-dessus duquel on soupçonne un dépérissement est représenté par la courbe en pointillés sur cette même figure. Une pessière est considérée comme scolytée lorsqu'elle est dé-

1 Chez les végétaux, étude chronologique des manifestations visibles de leur développement en liaison avec les conditions climatiques : floraison, débournement, feuillaison, maturation, sénescence, etc. Source : Vocabulaire forestier. Écologie, gestion et conservation des espaces boisés. Christian Gauberville, Yves Bastien - CNPF-IDF - 2011.

tectée au minimum deux fois d'affilée au-dessus du seuil limite avec un minimum de 20 jours d'intervalle entre les deux dates d'observation. Cette méthodologie basée sur un nombre important d'observations annuelles permet de garantir une certaine robustesse. Les images satellitaires permettent également de détecter le sol nu après coupe. Des cartes annuelles de l'état sanitaire de la pessière ont été générées pour les années 2017 à 2022, dans l'objectif de retracer l'évolution temporelle des dégâts de scolytes en Wallonie et dans le Grand Est et d'étudier le déterminisme du dépérissement en mettant en relation l'importance des dégâts avec les conditions environnementales et sylvicoles.

Pour la Wallonie, les cartes d'état sanitaire sont mises à disposition sur le portail cartographique Forestimator (Lisein et al., 2022). La figure 2 présente un détail d'une carte d'état sanitaire de la pessière pour une année donnée. Les pessières indemnes d'attaques de scolytes y sont représentées en vert, alors que les épicéas scolytés y sont identifiés par les zones rouges. Ces peuplements infectés par le scolyte sont toujours sur pied et doivent urgemment être abattus et écorchés ou sortis de la forêt. Les coupes d'épicéas sains, quant à elles, sont représentées en bleu et sont caractéristiques de peuplements ayant subi une coupe rase afin de récolter des épicéas exempts de scolytes. Les zones en bordeaux représentent les coupes sanitaires pour lesquelles les épicéas ont été détectés comme scolytés préalablement à leur abattage. Malheureusement, les cartes ne permettent pas de détecter précocement les attaques de scolytes afin de pouvoir intervenir de manière préventive.

La validation de ces cartes a été effectuée par trois méthodes différentes. Dans un premier temps, une validation globale a été réalisée en sélectionnant de façon aléatoire des peuplements sains et scolytés sur les cartes d'état sanitaire et en comparant leur situation sanitaire à celle déduite par photo-interprétation des orthophotos de la Wallonie.

Ensuite, un échantillon de pessières détectées comme scolytées, obtenu par tirage aléatoire stratifié sur base de la taille des zones scolytées, a fait également l'objet d'une photointerprétation. L'état sanitaire déduit par photointerprétation des orthophotos a ensuite été comparé à celui des cartes générées automatiquement sur base des images satellitaires.

Les résultats de cette validation ont montré que 86 % des surfaces scolytées sur la carte d'état sanitaire l'étaient effectivement. Enfin, une validation de terrain a été réalisée dans les Vosges par le Centre

National de la Propriété Forestière (CNPF) sur un échantillon de 95 placettes. L'état sanitaire observé sur le terrain a été comparé aux cartes d'état sanitaire. Cette validation de terrain a confirmé la présence de scolytes dans 85% des peuplements identifiés comme scolytés par la carte d'état sanitaire. Les principales erreurs de détection ont été causées par des effets de bord dus à la présence de sol, de végétation ou d'autres essences forestières à proximité des épicéas.

ZONE D'ÉTUDE

Les mortalités importantes d'épicéas provoquées par les scolytes ont concerné de nombreux pays européens, notamment les régions limitrophes à la Wallonie. Afin d'évaluer si cette essence a encore sa place dans la future forêt wallonne, il est important de comprendre si le déterminisme des attaques de scolytes varie en fonction des contextes climatiques. Il est donc intéressant

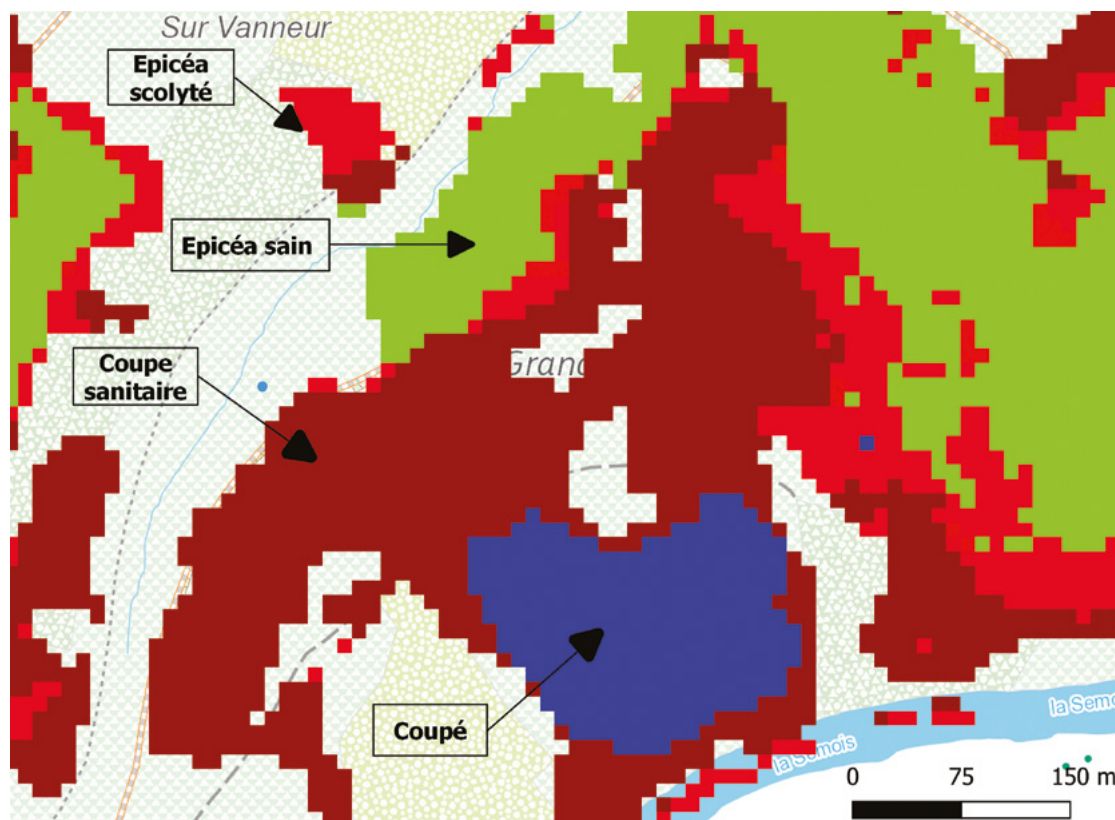
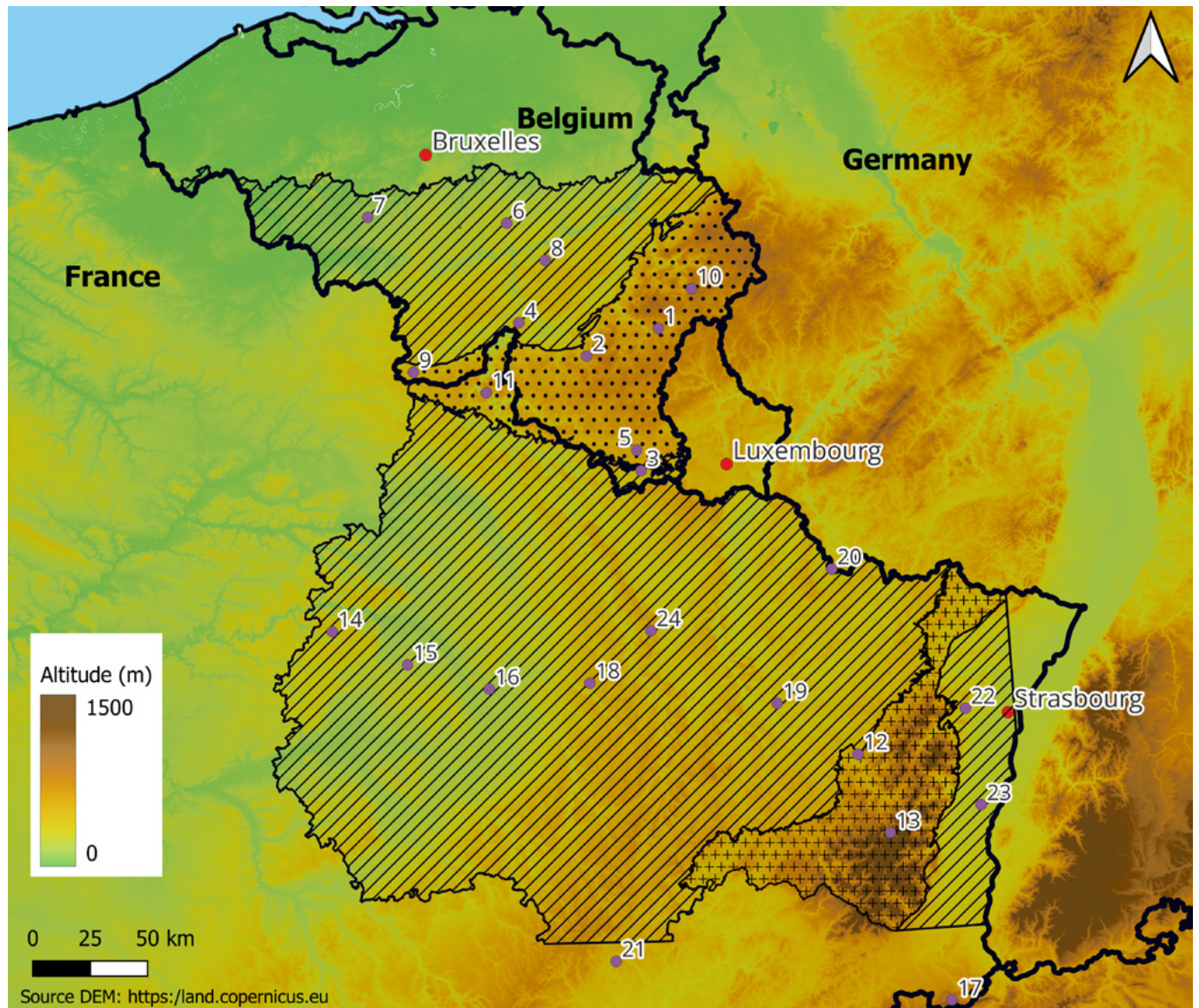


Figure 2 - Exemple de carte d'état sanitaire pour la Wallonie. En vert : épicéa sain ; en rouge épicéa scolyté ; en bordeaux : coupe sanitaire (épicéas coupés après avoir été scolytés) ; en bleu : coupe d'épicéas sains.

Figure 3 – Zone d'étude, avec le regroupement des différents territoires écologiques en trois régions climatiques : les plaines (hachuré), l'Ardenne (pointillé) et les Vosges (croix).



1	Ardenne centro-orientale	7	Plaines et vallées scaldisiennes	13	Les Vosges cristallines	19	Le plateau lorrain oriental
2	Basse et moyenne Ardenne	8	Condroz-Sambre et Meuse	14	Le plateau de Brie	20	Le Warndt
3	Basse Lorraine	9	Thiérache	15	La Champagne crayeuse	21	Le plateau de la Haute Saône
4	Fagne-Famenne-Calestienne	10	Haute Ardenne	16	L'arc de la Champagne humide	22	Les collines sous-vosgiennes
5	Haute Lorraine	11	Le massif des Ardennes	17	Le massif du Jura	23	La plaine d'Alsace
6	Hesbino-Brabançon	12	Les Vosges gréseuses	18	Le plateau lorrain occidental	24	La Woèvre

Tableau 1 - Distinction des trois régions climatiques en fonction de leur précipitation et de leur température.

Région	Précipitations (saison de végétation)	Température moyenne (saison de végétation)	Type de climat (saison de végétation)
Plaines	<400 mm	>15°C	Sec et chaud
Ardenne	400– 450 mm	<15,5°C	Humide et frais
Vosges	>400 mm	15,5°C -17°C	Très humide et chaud

lytes tout en étant plus favorable à l'épicéa, permettant un retour à une situation similaire à celle de 2017, ce qui signifierait la fin de la crise sanitaire en 2022 (Brunier et al., 2020).

BILAN DES DÉGÂTS DE LA CRISE

Les taux de mortalités annuelles les plus élevés sont de 5% pour l'Ardenne en 2018, de 2,5% pour les Vosges en 2020 et de 22% pour les plaines en 2020 (Figure 4). Durant la période 2017-2022, les pessières du Grand-Est et de Wallonie ont perdu 23.674 ha, soit 12,2% de la surface de pessière avant le début de la crise (tableau 2 - page suivante). Les trois régions climatiques étudiées n'ont pas été impactées par les scolytes de manière similaire. Les pessières des plaines ont été décimées à hauteur de 50,1% de leur surface et ont donc été approximativement 10 fois plus impactées que celles des Vosges (5,6%) et quatre fois plus que la pessière ardennaise (11,3%).

ÉVOLUTION DE LA CRISE

La dernière crise majeure de scolytes en Wallonie est apparue après les tempêtes de 1990, avec des dégâts importants en 1992 (Warzée et al., 2003). En France, la crise du scolyte la plus récente s'est produite de 2003 à 2007 suite aux tempêtes de 1999 et à la sécheresse de 2003. Les crises sanitaires dans le milieu forestier durent généralement de 3 à 10 ans (Brunier et al., 2020). Afin d'évaluer les dommages causés par les scolytes, nous avons évalué le taux de nouvelles mortalités pour chaque année. Nous avons considéré comme nouvelle mortalité les épicéas scolytés de l'année ainsi que les épicéas scolytés de l'année qui ont été exploités. Les premiers dégâts importants de scolytes ayant été signalés en 2018, le suivi des attaques a débuté à partir de 2017 afin de pouvoir estimer les dégâts causés un an avant le début de la crise.

L'analyse montre que la crise a duré 4 ans, de 2018 à 2021, pour les trois régions climatiques étudiées mais qu'elle les a affectées différemment (figure 4), sans que nous n'ayons pu en identifier clairement les causes. Ainsi, les années de pics et l'intensité de la crise sont différentes pour les trois régions. En Ardenne et dans les plaines, les scolytes ont rapidement fait énormément de dégâts dès 2018, tandis que dans les Vosges, les dégâts ont évolué plus progressivement pour atteindre un maximum en 2020. Néanmoins, une tendance commune à ces trois régions est la diminution des surfaces touchées pour l'année 2022. On peut raisonnablement émettre l'hypothèse que l'année 2021, plus fraîche et plus humide, a été peu favorable au développement des sco-

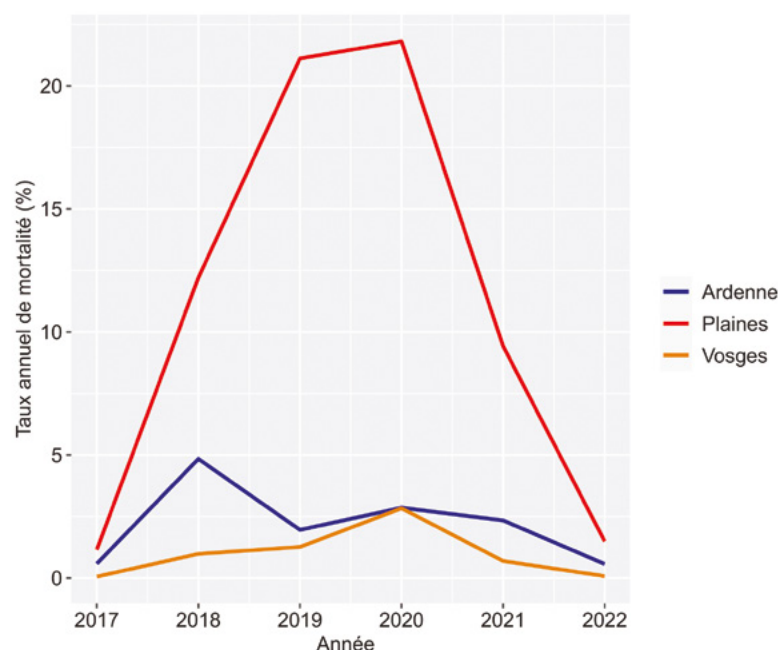


Figure 4 - Évolution annuelle de la proportion des surfaces d'épicéas nouvellement attaquées selon les trois régions de la zone d'étude.

Tableau 2 - Surface d'épicéas scolytés durant la période 2017-2022.

Régions	Surface totale d'épicéas scolytés durant la crise (ha)	Surface totale d'épicéas avant la crise (ha)	Taux de surface d'épicéas scolytés (%)
Plaines	7 634	15 028	50,1
Ardenne	11 822	104 723	11,3
Vosges	4 218	75 068	5,6
Total	23 674	194 819	12,2

aussi la présence de peuplements plus structurés et mélangés ont permis de limiter les dégâts. En effet, d'après de nombreuses études scientifiques, les peuplements monospécifiques équiennes et les peuplements denses, si communs en Ardenne et dans les plaines, sont plus sensibles à l'emballement des attaques de scolytes (Jactel et al., 2021). On peut aussi penser que dans les Vosges et l'Ardenne, les forestiers sont plus réactifs lors des attaques de scolytes, car l'épicéa est davantage implanté dans leur tradition sylvicole.

Ces différences de mortalité entre régions climatiques n'illustrent que trop bien l'importance du climat dans l'interaction entre le scolyte et l'épicéa. En effet, les dégâts importants constatés dans les plaines peuvent probablement s'expliquer par un climat trop sec et trop chaud

pour l'épicéa, qui s'est traduit lors de l'épisode de 2018 par des extrêmes climatiques exceptionnels très au-delà de ce que l'épicéa peut supporter. Les Vosges ont été plus faiblement impactées que l'Ardenne et les plaines. On peut penser que le climat plus montagnard mais

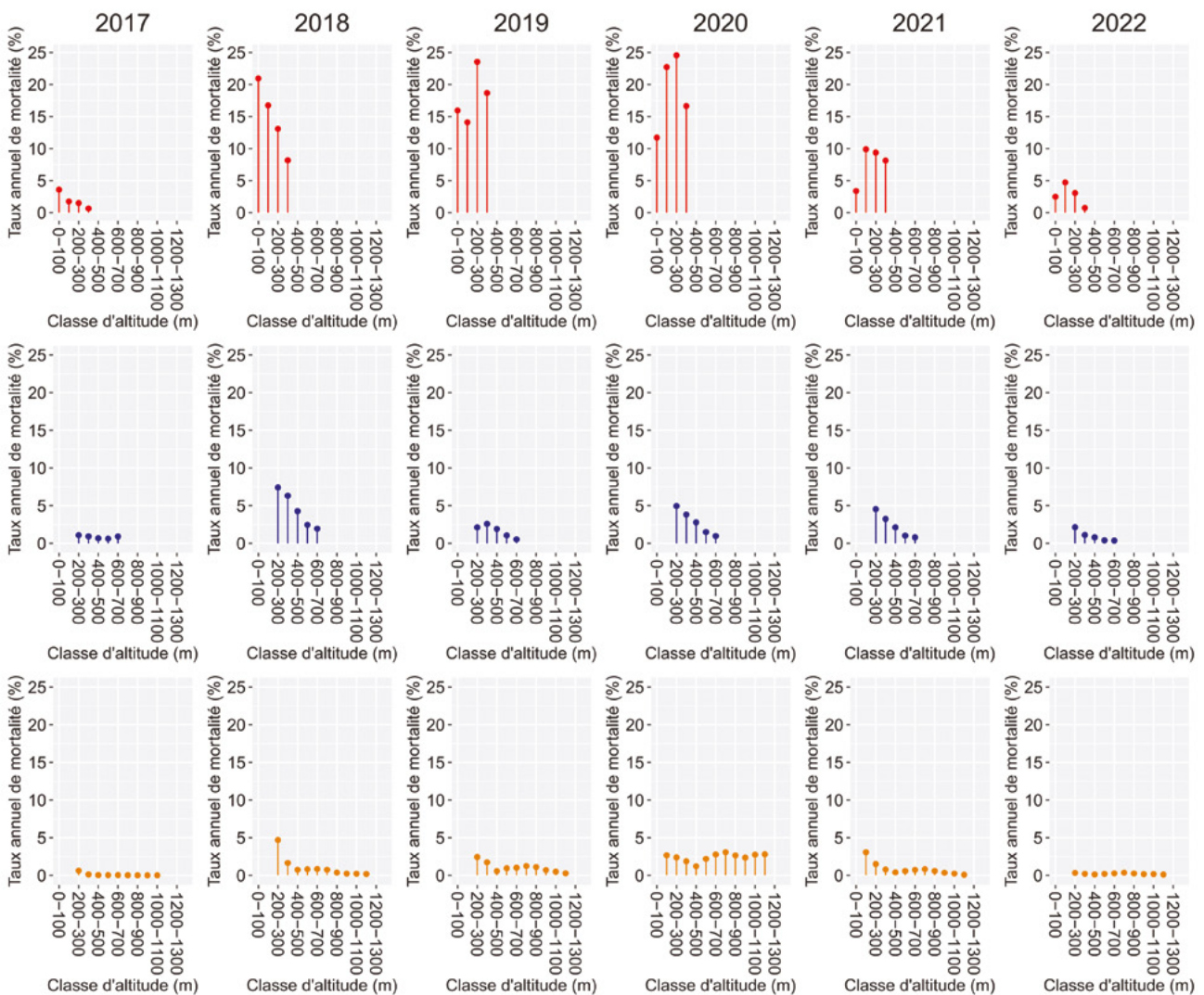


Figure 5 - Taux de nouvelles attaques de scolytes par année et en fonction de classes d'altitude (100 m) et des trois régions (plaines en rouge, Ardenne en bleu et Vosges en orange).

À LA RECHERCHE DE FACTEURS ÉCOLOGIQUES PRÉDISPOSANTS

La figure 5 illustre l'évolution des attaques de scolytes en fonction de l'altitude. Les basses altitudes des plaines ont fortement été touchées. Au plus fort de la crise, les dégâts annuels ont dépassé les 20% en dessous de 300 m d'altitude.

Dans le massif ardennais, le taux de dégâts diminue aussi graduellement avec l'augmentation de l'altitude durant toute la durée de la crise. Ce gradient altitudinal peut s'expliquer par l'augmentation des précipitations et la diminution des températures avec l'altitude. Les peuplements d'épicéas situés au-dessus de 500m ne sont pas sévèrement atteints. Dans le massif vosgien, le taux de nouvelles mortalités est resté faible, à l'exception de l'année 2020 durant laquelle les peuplements ont été légèrement plus touchés. L'altitude n'y influence pas clairement les dégâts de scolytes.

Le climat global joue sans conteste un rôle essentiel aussi bien dans le développement de l'épicéa que dans celui des scolytes, avec une tendance globale très claire : des conditions favorables à l'épicéa, caractérisées par un climat froid et humide, sont défavorables aux scolytes.

Pour aller plus loin, nous avons aussi considéré le micro-climat induit par la topographie sur base des sous-secteurs radiatifs. L'épicéa nécessitant un climat frais et humide et les scolytes affectionnant des conditions chaudes et sèches, on peut s'attendre à ce que les dégâts soient plus importants sur les versants sud que sur les autres situations topographiques, quelle que soit la région climatique étudiée. Or, comme le montre le tableau 3,

Tableau 3 - Bilan des épicéas scolytés en fonction des sous-secteurs radiatifs durant la période 2017-2022. Les groupes homogènes ne possédant pas de différences significatives ont des lettres identiques (a, b, c) (p-valeur < 0.05). Les sous-secteurs les plus touchés par région sont indiqués en rouge. Les résultats diffèrent en fonction des régions climatiques et sont contre-intuitifs, car l'autécologie du scolyte et de l'épicéa laisse à penser que la mortalité aurait pu être systématiquement la plus importante sur les versants sud.

	Taux de mortalité (%)		
	Plaines	Ardenne	Vosges
Plateau	50,2 ^a	10,7 ^a	6,8^a
Versant sud	52,8 ^b	13,8^b	5,1 ^b
Versant nord	54^c	13,1 ^c	5,0 ^c

il n'y a pas de tendance généralisée concernant les situations topographiques les plus touchées par les dégâts de scolytes. La très faible différence entre les versants sud et nord est un résultat très étonnant et contre-intuitif. Ce résultat en Ardenne pourrait s'expliquer par une profondeur de sol plus faible en situation de pente qui joue probablement en défaveur du développement de l'épicéa dans cette région. Cependant, dans le massif vosgien, le résultat est inversé par rapport à l'Ardenne. Les versants sont moins impactés que les plateaux. Les nombreuses interactions entre les différents facteurs (sylvicoles, environnementaux et climatiques) prédisposant l'épicéa aux attaques de scolytes nécessitent un approfondissement qui est en cours dans le cadre d'une thèse de doctorat à Gembloux Agro-Bio Tech.

CONCLUSION

Les progrès en télédétection satellitaire offrent l'opportunité d'obtenir de nombreuses informations sur les forêts, leur phénologie et leur état sanitaire. La méthodologie développée par l'INRAe a permis de détecter de façon efficace et automatisée les foyers d'épicéas scolytés. L'analyse semble montrer qu'après la crise de 2018-2021, l'année 2022 annoncerait un retour à un niveau d'attaque de scolyte endémique

similaire à l'année 2017, que les forestiers peuvent gérer. En effet, d'une part, le climat de l'année 2021 a été peu favorable au développement des scolytes, tout en étant plus favorable à l'épicéa, et d'autre part, on peut penser que les épicéas installés dans les situations les plus critiques ont disparu.

Nos analyses des cartes d'état sanitaire sur trois régions climatiques ont montré que les pertes d'épicéas ne sont pas uniformément réparties. Elles sont maximales dans les régions de plaines, les plus chaudes et sèches, où les dégâts ont causé la perte de la moitié des peuplements. Considérant les prévisions climatiques des prochaines décennies, la plantation d'épicéas ne nous semble plus opportune dans la région des plaines, ni même en Ardenne en dessous de 400 m, à l'exception de certaines stations forestières particulièrement favorables à l'épicéa. En effet, d'après les climatologues, les événements climatiques vécus entre 2018 et 2020 seront très probablement la norme d'ici deux ou trois décennies, ce qui signifie que les accidents climatiques seront encore plus incisifs. Une étude plus approfondie concernant les facteurs environnementaux, climatiques et sylvicoles prédisposant les pessières aux attaques de scolytes est actuellement en cours pour l'Ardenne.

EN WALLONIE

Durant la crise du scolyte de 2018-2022, nous estimons que la Wallonie a perdu de l'ordre de 13.100 ha¹ sur les 133.500 ha de pessière estimés par Lejeune et al. (2021). Pour notre étude, 103 700 ha de pessière ont été analysés sur les 133.500 ha (les nouvelles plantations n'ont pas été considérées dans cette étude car elles sont peu sensibles aux scolytes). En termes de surfaces détruites, c'est évidemment l'Ardenne, qui comporte la plus grande surface de pessières, qui a été la plus touchée. Mais en dehors de l'Ardenne (Condroz, Famenne, Lorraine belge) le pourcentage de pessière qui a disparu est beaucoup plus interpellant : de l'ordre de la moitié des surfaces.

En Wallonie, le taux de mortalité des épicéas diminue avec l'altitude (figure 6). Les peuplements d'épicéas ont été plus particulièrement attaqués dans les classes de basse altitude. Cette constatation est cohérente avec les recommandations du Fichier écologique des essences qui considère qu'en dessous de 200 m, la plantation de l'épicéa est très risquée, qu'entre 200 m et 350 m, le risque est faible, et qu'il n'y a pas de risque au-dessus de 350 m d'altitude. Cependant, les prévisions climatiques des prochaines décennies annoncent une plus grande fréquence des événements climatiques comparables à ceux de 2018, et même des événements plus extrêmes. Nous suggérons donc de ne plus planter d'épicéa en dehors de l'Ardenne et de relever le niveau d'altitude pour l'installation de nouveaux peuplements au-delà de 400 m, afin de limiter les risques de crises majeures de la filière dans les cinquante prochaines années.

Tableau 4 : Estimation des dégâts de scolytes en Wallonie entre 2017 et 2022.

Zone bioclimatique	Surface scolytée durant la crise (ha)	Surface de pessière avant la crise (ha)	Proportion de la surface de pessière détruite durant la crise (%)
Haute Ardenne	1997	43298	4,6
Ardenne centro-orientale	2606	39360	6,6
Basse et moyenne Ardenne	5276	41123	12,8
Thiérache	87	386	22,5
Haute Lorraine	639	2137	29,9
Condroz - Sambre et Meuse	1130	3400	33,2
Basse Lorraine	281	789	35,68
Fagne - Famenne - Calestienne	1032	2814	36,7
Plaines et Vallées Scaldisiennes	39	115	34,1
Hesbino-Brabançon	34	80	42,6
Total	13121	133502	9,8

¹ On notera que Saintonge et al. (2021) estiment que la surface d'épicéas scolytées entre 2018 et 2021 en Wallonie est de l'ordre de 5 000 ha, en se basant sur les catalogues de vente en forêts publiques, et en multipliant par deux les volumes pour tenir compte des forêts privées. Cependant, cette estimation ne tient pas compte des épicéas scolytés non exploités. De plus, la conversion du volume martelé vers des surfaces à l'aide du volume moyen par hectare est discutable dans le cas des attaques de scolytes.

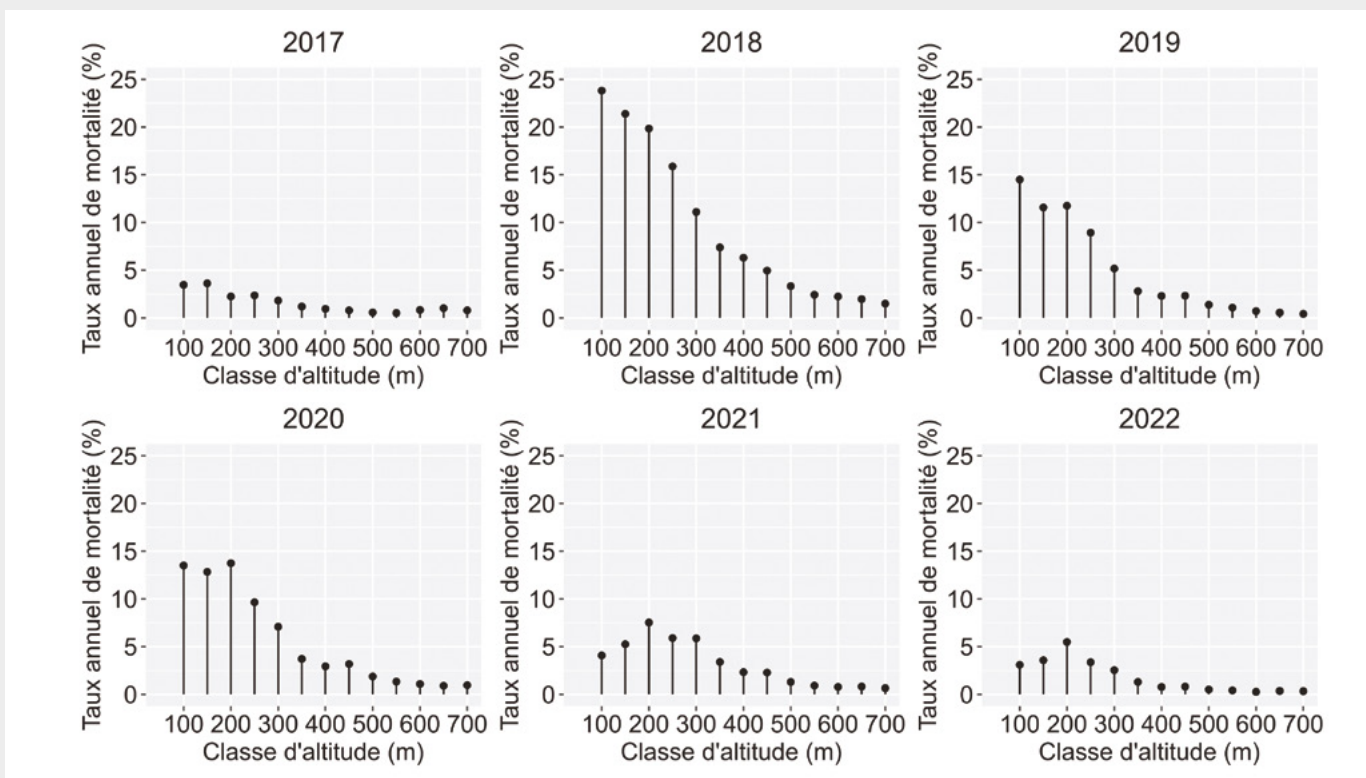


Figure 6 – Taux de mortalité de l'épicéa en Wallonie en fonction de classes d'altitude de 50 m.

FORCES ET FAIBLESSES DES CARTES D'ÉTAT SANITAIRE

Les cartes sanitaires ont été produites au départ d'images satellitaires multi-temporelles permettant le suivi de la phénologie des épicéas. Ces cartes annuelles permettent de quantifier l'ensemble des dégâts mais surtout d'étudier leur répartition spatio-temporelle. Cependant, la fiabilité des cartes dépend directement de la qualité du masque des essences forestières délimitant les contours des peuplements d'épicéa. En Wallonie, la composition des peuplements est cartographiée avec finesse. En France, celle-ci est nettement moins fiable (évaluation par photo-interprétation, souvent en peuplements mélangés). La qualité des cartes d'état sanitaire dépend également des observations satellitaires, en particulier de la fréquence des prises de vue utilisables : on peut s'attendre à de moins bons résultats dans des zones fortement enneigées. De plus, le suivi de la phénologie s'opère à l'échelle de pixels de 10 mètres de résolution, et la composition et la structure du bouquet d'arbres sur cette surface d'un are ont également un impact prépondérant sur la qualité du résultat. Au plus les peuplements sont homogènes, matures et denses, au plus la méthode est adaptée.

Enfin, d'une manière générale, les zones en bordure de peuplement (mélange d'épicéas avec voirie, sol ou houppiers d'essences feuillues) présentent une réponse moins fiable.

Par ailleurs, la détection des épicéas attaqués se base sur leur activité photosynthétique. Nous avons fixé un seuil pour décréter qu'un épicéa est scolyté, mais il n'est pas exclu qu'il y ait une autre cause de son affaiblissement. Il se peut aussi que des arbres soient exploités très rapidement au stade vert avant que l'imagerie ne détecte une anomalie.

Toutefois, malgré ces faiblesses, la triple validation de terrain s'est avérée très satisfaisante et a montré que la démarche pour détecter des arbres scolytés a été nettement améliorée par rapport à la première carte de dégâts en 2019 (Latte et al., 2019). Bien qu'il puisse y avoir une imprécision sur les valeurs absolues de surfaces, les tendances globales dégagées de ces cartes d'état sanitaire, telles que les différents dégâts entre régions ou la diminution des attaques avec l'augmentation de l'altitude, sont en revanche très fiables.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier l'équipe de l'UMR Thétis de l'INRAE pour leur collaboration méthodologique. Ces travaux ont été menés avec le soutien financier du Service Public de Wallonie (Département de la Nature et des Forêts) dans le cadre du Plan quinquennal de Recherches forestières et du Projet Interreg Regiowood II.

Références

- Dutrieux R., Feret J., Ose K. (2021). Mise au point d'une méthode pour le suivi généralisé des dégâts de scolytes par télédétection satellitaire. *Rendez Vous techniques*, (69-70) : 37-44.
- Gilles A., Lisein J., Claessens H. (2022). Analyse de séries temporelles d'image sentinel-2 pour la détection des épicéas scolytés. Consultable à la page <https://forestimator.gembloux.ulg.ac.be/documentation/crise-du-scolyte>.
- Latte N., Lejeune P. (2019). Les satellites viennent en aide à la gestion de l'épidémie de scolyte. *Forêt.Nature*, Hors-Séries 1 Février : 66-67.
- Lejeune P., Michez A., Perin J., Gilles A., Latte N., Ligot G., Lisein J., Claessens H. (2022). L'épicéa wallon : état de la ressource en 2021. *Silva Belgica 2* : 16-23.
- Lisein J., Claessens H., Quevauvillers S., Lejeune P. (2022). Forestimator : un nouveau portail cartographique pour l'information forestière en Wallonie. *Forêt.Nature* 162 : 40-47.
- Warzée N., Grégoire J-C. (2003). Biodiversité forestière et ennemis naturels des scolytes : le cas exemplaire de *Thanasimus Formicarius*. *Forêt Wallonne* 66 : 2.
- Brunier L., Delpont F. & Gauquelin X. (Coord.), 2020. Guide de gestion des crises sanitaires en forêt. RMT AFORCE. 184 pages.
- Saintonge, F.X., Gillette, M., Blaser, S., Queloz, V., & Leroy, Q. (2021). Situation et gestion de la crise liée aux scolytes de l'Épicéa commun fin 2021 dans l'est de la France, en Suisse et en Wallonie. *Revue forestière française*, 73(6), 619-641.
- Bolyn, C., Lejeune, P., Michez, A., Latte, N., 2022. Mapping tree species proportions from satellite imagery using spectral-spatial deep learning. *Remote Sensing of Environment*, 280 : 113-205
- Jactel, H., Moreira, X., and Castagneyrol, B., 2021. Tree diversity and forest resistance to insect pests : Patterns, 380 mechanisms, and prospects. *Annual Review of Entomology*, 66 (1) : 277-296.



Plan Quinquennal de Recherches Forestières