



HAL
open science

Suivi des dégâts de scolytes par télédétection dans le Nord-Est de la France à l'initiative du ministère chargé des forêts

Thierry Bélouard, Milène Gentils, Anne Jolly

► **To cite this version:**

Thierry Bélouard, Milène Gentils, Anne Jolly. Suivi des dégâts de scolytes par télédétection dans le Nord-Est de la France à l'initiative du ministère chargé des forêts. *Rendez-vous Techniques de l'ONF*, 2021, 69-70, pp.28-36. hal-04873416

HAL Id: hal-04873416

<https://hal.science/hal-04873416v1>

Submitted on 8 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

SUIVI DES DÉGÂTS DE SCOLYTES PAR TÉLÉDÉTECTION DANS LE NORD-EST DE LA FRANCE À L'INITIATIVE DU MINISTÈRE CHARGÉ DES FORÊTS

Thierry Bélouard⁽¹⁾, Milène Gentils⁽²⁾⁽³⁾, Anne Jolly⁽⁴⁾

(1) MAA - Département santé des forêts, UMR1202 BIOGECO, Centre INRAE Bordeaux-Nouvelle Aquitaine, 33610 Cestas

(2) MAA - DGPE/SDPE/SDFCB/BGED - mission adaptation des forêts au changement climatique (jusqu'à avril 2020)

(3) ONF, DT Centre-Ouest-Aquitaine (depuis mai 2020)

(4) ONF-DT Grand Est, pôle RDI Nancy

Devant l'expansion alarmante des dégâts de scolytes sur épicéa, le ministère de l'Agriculture a commandé dans l'urgence trois études successives d'identification et évaluation des dégâts par télédétection satellitaire. Des travaux riches d'information dans leurs approches et résultats, et qui poussent aussi au développement d'une méthode reproductible pour un suivi plus continu et opérationnel.

Introduction : besoin d'un outil de suivi objectif

Les dégâts dus aux scolytes dans les peuplements résineux du Nord-Est de la France ont véritablement commencé à devenir importants au cours de l'année 2018. Ces dégâts sont provoqués majoritairement par le typographe (*Ips typographus*) dans les pessières des régions Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté et, plus accessoirement, par le chalcographe (*Pityogenes chalcographus*). Sans être totalement indemnes, les sapinières sont toutefois nettement moins touchées. Cette situation de crise sylvo-sanitaire suscite de nombreuses inquiétudes et interrogations au sein de la filière forêt-bois (gestionnaires et exploitants forestiers, industriels) et, par voie de conséquence, au sein du ministère de l'agriculture et de l'alimentation. Afin de pouvoir gérer cette crise, le ministère doit en avoir la vision la plus claire possible. Pour cela, il a besoin d'outils de suivi de la situation sanitaire de ces forêts de façon périodique et, si possible, assez fréquente car on sait d'expérience qu'une crise due aux scolytes s'étale sur plusieurs années. Plusieurs outils permanents existent. Cependant, les outils dont dispose l'État en temps normal ne lui permettent pas un suivi exhaustif et spatialisé de la crise due aux scolytes. Le département santé des forêts (DSF), avec son réseau de correspondants-observateurs, exerce une veille efficace et alerte sur les crises émergentes, mais s'appuie surtout sur des dispositifs qualitatifs. Pour sa part, l'inventaire forestier de l'IGN observe et quantifie les mortalités de tiges et de branches mais sans en indiquer la cause ; les dégâts dus aux ravageurs comme les scolytes ne sont pas observés de façon spécifique. Par ailleurs, les résultats sont produits avec un délai

de plusieurs mois après la fin de la campagne annuelle de relevés et leur caractère statistique ne permet pas la fourniture de données à une échelle spatiale fine. De son côté, l'ONF inventorie en continu les volumes des récoltes qualifiées d'exceptionnelles (correspondant en l'occurrence à des coupes sanitaires) en forêt publique, ce qui permet de suivre l'intensité de la crise quasiment en temps réel. Toutefois, l'extrapolation du niveau des dégâts de la forêt publique à la forêt privée constitue une hypothèse très forte qui n'a pas été vérifiée même si elle repose sur le principe *a priori* recevable que les scolytes ne connaissent pas les limites de propriété.

Ce type de situation s'est déjà présenté ailleurs en France par le passé. La tempête Klaus du 24 janvier 2009 avait provoqué de nombreux chablis dans les Landes de Gascogne, estimés par l'IFN à 43 millions de m³ (Colin 2010). Très fragilisé, ce massif de pin maritime avait ensuite été infesté par des scolytes, en particulier par le sténographe (*Ips sexdentatus*), au cours des années 2010 et 2011 provoquant de nouveaux dégâts qui s'ajoutaient à ceux du vent. Devant l'ampleur des dégâts et la difficulté de les quantifier, s'appuyant sur les possibilités offertes par la télédétection (Delplace 2008), le DSF avait fait appel aux services d'une société spécialisée dans le traitement d'images satellitaires pour cartographier les dégâts. Une cartographie à partir d'images des années 2009 et 2010 du satellite Spot avait alors été réalisée (SERTIT 2011). La surface des îlots forestiers avec des dégâts dus aux scolytes avait finalement été estimée à 29 510 hectares selon le GIP ATGeRI.

Aujourd'hui, la télédétection est devenue plus accessible, notamment parce que de plus en plus d'images satellitaires sont mises à disposition gratuitement. C'est le cas en particulier des images optiques Sentinel-2, qui sont d'une grande richesse : résolution spatiale de 10 m, 10 bandes spectrales dans le domaine du visible et de l'infrarouge, revisite systématique tous les 5 jours. Par ailleurs, les opérateurs spécialisés comme le Centre national d'études spatiales (Cnes), préparent ces images pour fournir des produits faciles à utiliser. Enfin, il existe désormais des logiciels libres (SIG, langages de programmation, bibliothèques de traitement d'images) pour exploiter ces images. Malgré cela, la télédétection demeure une affaire de spécialistes du fait de sa forte technicité.

Considérant l'ampleur sans précédent des attaques de scolytes dans les pessières françaises depuis l'année 2018, les chaleurs et la sécheresse exceptionnelles depuis cette même année, et sur la base des recommandations des experts des dépérissements forestiers (Collectif 2020), le ministère chargé des forêts a décidé de réaliser un suivi cartographique des dégâts dus aux scolytes à l'aide de la télédétection. Cette décision a également été motivée par une réflexion large conduite avec les organismes représentant les gestionnaires et propriétaires forestiers. Les objectifs

initialement poursuivis étaient : (1) l'identification des peuplements infestés à évacuer rapidement, l'organisation des exploitations forestières avec leur priorisation, et le ciblage des secteurs de surveillance renforcée ; (2) la production d'informations factuelles sur l'évolution du phénomène en termes de surfaces des peuplements atteints, ainsi que de surfaces des peuplements exploités et des peuplements encore sur pied.

Une importante collecte de données de référence par les gestionnaires forestiers

Afin d'analyser et d'interpréter correctement l'information contenue dans les images, que ce soit par un opérateur (photo-interprétation) ou de façon automatique, des observations de référence sont nécessaires : comme données d'apprentissage, d'abord, afin de bien caractériser le lien entre les symptômes réels et l'information contenue dans les images, et comme données de validation ensuite, afin d'évaluer la précision des cartes obtenues.

Comme la nécessité de disposer d'observations de référence était un constat partagé par les différents organismes forestiers, une collaboration s'est mise en place entre l'ONF, le CNPF, le DSF et l'IGN afin de constituer une base de données de références géolocalisées sur la base d'un protocole commun.

Collecte de données de référence selon un protocole commun

La collecte de données de référence est basée sur plusieurs principes. Tout d'abord, les observations doivent correspondre à des zones sensiblement homogènes en termes d'état sanitaire, puisqu'on recherche un signal aussi « pur » que possible au niveau des images. Comme les gestionnaires souhaitaient tester la possibilité de détection précoce, les zones devaient être également homogènes en termes de stade de développement des symptômes. Ainsi, ont été distingués les stades « scolyté vert » (stade précoce), « scolyté rouge » et « scolyté gris ». Enfin, comme la détection des dégâts se fait en mesurant un écart à une situation de référence, des observations ont également été réalisées dans des peuplements sains. Malheureusement, l'état sanitaire des peuplements n'est pas le seul paramètre influençant la radiométrie des images. Les types de peuplement (résineux pur, mélange de feuillus et de résineux), les essences (épicéa, sapin, pins, mélèze...), la topographie (plaine vs zone de relief, exposition), la région, la période de l'année (ensoleillement) sont autant d'autres facteurs ayant une influence sur la radiométrie des images. Il convenait donc de multiplier les situations pour la collecte de données.

Par ailleurs, afin de pouvoir confronter ces observations de référence avec les images, il fallait les géolocaliser à l'aide d'un GPS par exemple, avec une précision au moins égale à la résolution des images (10 m). Ensuite, pour pouvoir réaliser des traitements pertinents, les surfaces observées devaient correspondre à un nombre suffisant de pixels sur les images. C'est pourquoi il était demandé de relever des zones d'au moins 5 ares voire, mieux, d'au moins 10 ares.

L'échantillonnage de ces peuplements ne se voulait pas exhaustif, mais devait représenter le maximum de situations et être relativement bien réparti dans les différentes régions. Un objectif d'au moins 30 observations par classe et par grand type de situation (combinaison de l'état sanitaire et de la grande région au moins) était recherché (Fig. 1). Bien sûr, comme l'état sanitaire des peuplements et le stade de développement des scolytes peuvent évoluer rapidement, les observations devaient être datées précisément.

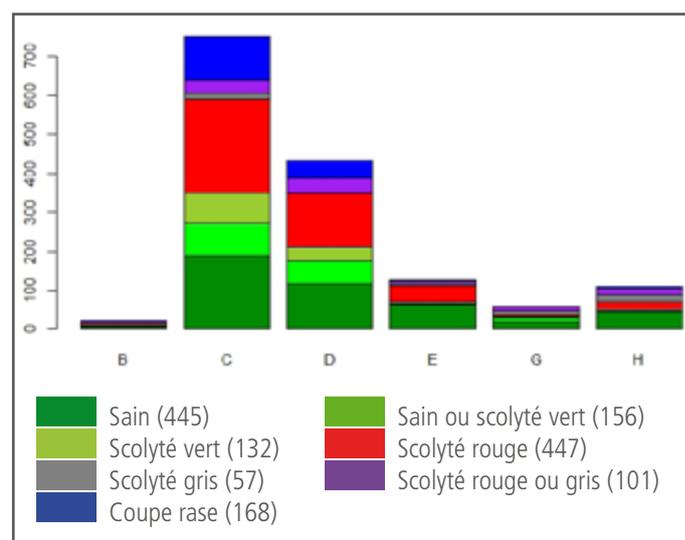


Figure 1. Répartition des observations de référence sur le terrain et par photo-interprétation d'images aériennes effectuées par l'ONF, le CNPF et le DSF selon l'état sanitaire et la grande région écologique (GRECO).

Liste des GRECO : B – Centre Nord semi-océanique, C – Grand Est semi-continental, D – Vosges, E – Jura, G – Massif Central, H – Alpes.

Le Grand Est semi-continental et les Vosges ont été bien échantillonnées et les autres massifs montagneux (Jura, Massif Central et Alpes) sont représentés même si c'est à un niveau moindre.

Les relevés de zones de référence ont été réalisés dans un premier temps par des opérateurs de terrain du DSF, du CNPF et de l'ONF, soit à l'occasion d'opérations de gestion (comme la vérification par le CRPF des demandes de coupes d'urgence), soit surtout en tant que mission spécifique confiée aux techniciens forestiers. Dans le Grand Est, l'ONF a mandaté un technicien « renfort scolytes » dédié à cette opération pendant deux mois, et le CRPF a également réalisé des missions de terrain spécifiques pour ces observations.

En complément, comme les dégâts de scolytes se voient bien sur les photographies aériennes à fine résolution, les millésimes 2018 de la BD ORTHO® de certains départements de la région Grand Est (Vosges, Meuse, en version « Express¹ » mis à disposition spécifiquement par l'IGN pour cette opération, résolution 25 cm) ont été analysés par l'ONF pour délimiter des zones de référence. De même, la BD ORTHO® Express de départements survolés par l'IGN en 2020 (Bourgogne-Franche-Comté) devrait pouvoir être utilisée pour compléter la validation de la carte des dégâts réalisée en 2020. Cette approche a tout de même comme limite

¹ La version « Express » de la BD ORTHO® est un produit « intermédiaire » réalisé par l'IGN à partir des prises de vue aériennes, qui n'a pas encore bénéficié de la totalité des traitements nécessaires au produit BD ORTHO® final, en particulier les retouches colorimétriques ou certaines améliorations de qualité géométrique locale. Son intérêt est d'être potentiellement disponible plus rapidement que la version définitive de la BD ORTHO®.

de ne pas permettre la distinction entre les peuplements sains et le stade « scolyté vert ». Le protocole et les classes de notation ont donc été adaptés pour ce relevé sur photos aériennes. De plus, compte-tenu du délai et des moyens disponibles, aucune vérification de terrain n'a pu être réalisée. Cependant, sur le département des Vosges, un contrôle de conformité avec les informations saisies dans le cadre du suivi de gestion des peuplements scolytés a été effectué (notamment pour confirmer l'essence et la présence des dégâts).

Au total, plus de 1500 zones de référence ont été observées correspondant à des situations datées entre le 25 avril 2018 et le 28 novembre 2019, dont environ 370 par photo-interprétation (Fig. 1).

Partage des données au sein d'un espace collaboratif

Considérant la diversité des acteurs forestiers impliqués et l'étendue de la zone géographique concernée, il est apparu nécessaire de développer une base d'informations partagées permettant à la fois leur enregistrement et leur diffusion. Du fait de la position stratégique de l'IGN dans le domaine de l'information géolocalisée (Géoportail et développement d'un portail thématique consacré à la forêt), il a été décidé de mettre en place un « guichet » consacré à la crise sylvosanitaire due aux dégâts des scolytes sur l'espace collaboratif de l'IGN (<https://espacecollaboratif.ign.fr/>). L'objectif initial de ce guichet était triple :

- signalements précis de foyers de scolytes par des utilisateurs avertis afin de fournir des données de référence dans le cadre de la détection à l'aide d'images satellitaires (données d'apprentissage et de qualification). Ces signalements sont réalisés via un accès dédié aux partenaires du projet (ONF, CNPF, INRAE, IGN, MAA et ses services déconcentrés, notamment DRAAF) ;
- signalements en masse par des utilisateurs nombreux afin de disposer d'une image pas nécessairement précise mais enrichie en temps réel, via une version plus « grand public » du guichet ;
- diffuser les cartographies obtenues par traitement d'images satellitaires.

Le guichet permet d'enregistrer les données selon différentes modalités : application IGN « espace collaboratif » sur smartphone, service internet, intégration par lots, notamment pour les partenaires utilisant leurs propres systèmes de relevés de terrain (encadré). Par ailleurs, il permet d'afficher les données en utilisant de nombreux fonds de cartes. Il présente donc une réelle souplesse d'utilisation (Fig. 2). Avec l'expérience, il faut toutefois admettre que la possibilité de remontée en masse d'information par les utilisateurs « non experts » ne s'est pas concrétisée dans les faits. À l'inverse, les deux autres objectifs ont bien été atteints.

Appel à des sociétés spécialisées pour répondre à l'urgence de la crise

Dans l'urgence de la crise, le MAA ne disposait pas de moyen précis pour fournir un suivi spatialisé et régulier des dégâts dus aux scolytes. C'est pourquoi il a décidé de faire appel, dans le cadre des procédures prévues pour les marchés publics, à des sociétés spécialisées dans le domaine de la télédétection pour réaliser un état des lieux en 2018, 2019 et 2020. Plusieurs commandes ont ainsi été passées successivement (Fig. 3). La première, remportée par le SERTIT, société adossée à l'Université de

Modalités techniques de collecte à l'ONF

Pour l'ONF, il a été convenu de réaliser les relevés de terrain avec les terminaux de saisie disponibles pour tous les techniciens de terrain, via l'application Géorelevé. Un masque de saisie compatible avec le protocole de relevé a été élaboré, puis un système de transfert et de compilation de l'ensemble des relevés a été mis en place, permettant l'alimentation d'une base de données nationale au fur et à mesure du dépôt des relevés sur les serveurs territoriaux. Cette opération, issue d'un travail collaboratif entre des spécialistes SIG des DT Grand Est et Auvergne-Franche Comté et l'équipe SIG Nationale a permis d'accélérer la « remontée » des informations, d'assurer la vérification de la conformité des relevés à la structure de la base de données puis sa préparation pour l'intégration « par lot » dans la base du guichet collaboratif IGN (voir aussi Marchand, ce numéro).

Strasbourg, a permis de cartographier les dégâts dus aux scolytes fin 2018. Le SERTIT a utilisé des images de l'automne 2018 (septembre et surtout octobre 2018) pour pouvoir cartographier les dégâts visibles en été et automne. Une deuxième commande, attribuée à la société franco-italienne Telespazio, a rapidement suivi fin 2018-début 2019 pour compléter la cartographie des dégâts de 2018 en travaillant à partir d'images de la fin de l'hiver (février et mars 2019). En effet, les attaques tardives n'ont pu être visibles sous la forme de foyers scolytés rouges qu'avec la reprise de la végétation. Enfin, une troisième cartographie a été commandée plus tardivement, en juillet 2020, pour poursuivre le suivi. Cette troisième cartographie, réalisée par le SERTIT, couvre la période d'avril 2019 à juin 2020 (15 mois), période beaucoup plus longue que les deux premières. Lors de la troisième commande, il a paru opportun de demander aussi la cartographie des coupes (sanitaires) pour un bilan plus complet car, avec l'intensification des attaques, de nombreux foyers ont été exploités.

Les dégâts les plus importants étant localisés dans les pessières du Nord-Est du pays, les commandes se sont attachées prioritairement à la détection des foyers dans les peuplements d'épicéa des régions Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté. Lors de la troisième commande, devant l'extension de la crise, trois départements rhônalpins ont été ajoutés (Ain, Savoie et Haute-Savoie). Il a été demandé aux prestataires de réaliser une cartographie numérique utilisable avec un SIG (données géographiques vectorielles). En effet, ce type de données permet d'une part d'analyser le secteur de son choix à l'échelle adéquate et, d'autre part, de réaliser des traitements complémentaires (exemple : croisement avec d'autres couches d'information géographique). Pour les utilisateurs non familiers des SIG, des atlas cartographiques régionaux et départementaux étaient également demandés.

Un autre objectif de ces cartographies était l'optimisation de l'exploitation des peuplements sinistrés et l'identification des secteurs nécessitant une surveillance renforcée afin de contenir autant que possible la pullulation des ravageurs. Mais le processus global de réalisation des cartes, avec ses volets administratif et technique, s'est avéré trop long pour cette ambition. Enfin, les prestataires étaient chargés de fournir un rapport méthodologique afin de permettre une diffusion éclairée des résultats et capitaliser cette expérience pour l'avenir.

Des méthodes diverses

Du fait de l'étendue de la zone d'étude, le choix des images Sentinel-2 s'est rapidement imposé. Malgré cela, le nombre d'images utilisées reste important puisqu'il faut 24 tuiles (carrés de 110 km de côté) pour couvrir les deux régions et les trois départements rhônalpins. Du fait de la résolution spatiale de ces images (pixels de 10 mètres de côté soit un are), des traitements par pixel sont les mieux adaptés, d'autant que de nombreux foyers sont de petite taille (quelques ares). Pour la même raison, le seuil de surface minimale de détection a été fixé à 10 ares soit autant de pixels ce qui est fréquent en traitement d'images. Malgré les grandes résolutions spectrale et temporelle des images, il s'avère très difficile de détecter les foyers au stade scolyté vert c'est-à-dire le stade où les arbres sont colonisés par les insectes mais ont encore leurs aiguilles vertes. Une détection précoce n'est donc pas envisageable comme l'ont montré des récents travaux de recherche (Abdullah 2018). A l'inverse, les stades scolytés rouge et gris se détectent relativement bien sur les images pour peu que leur surface soit suffisante.

Afin d'éviter les confusions avec d'autres phénomènes touchant d'autres types de peuplements, les dégâts sont recherchés au sein des pessières. La cartographie des essences par traitement d'images relevant actuellement de la recherche, le ciblage des peuplements concernés (« masque » de traitement) a été défini sur la base de la cartographie des types de formation végétale de l'IGN (produit BD Forêt®, IGN 2019). La typologie de la BD Forêt® ne distinguant pas l'épicéa qui est regroupé avec le sapin, le « masque » de traitement a été constitué à partir des types dans lesquels la présence importante de l'épicéa est la plus probable : « Forêt fermée de sapin ou épicéa », mais également peuplements résineux en mélange et peuplements purs : types « forêt fermée à mélange de conifères », « forêt fermée à mélange d'autres conifères », « forêt fermée d'un autre conifère pur autre que pin ». Ces quatre types correspondent à des peuplements de résineux de plus de 2 ha.

Pour mettre au point leurs modèles de classification et valider leurs résultats, les prestataires se sont appuyés sur les données de référence produites par les partenaires du projet (ONF, CNPF et DSF). De plus, Telespazio a complété ces jeux de données par des photographies aériennes très haute résolution (5 cm) acquises lors d'un survol ULM dans les Vosges les 14 et 15 avril 2019 pour évaluer la précision de sa cartographie.

La méthode précise de classification a varié selon le prestataire et la période de temps traité. Lors de la première cartographie, le SERTIT a réalisé une classification supervisée² d'images acquises entre le 27 septembre et le 13 octobre 2018 (traitement mono-date). Les données de référence disponibles ont été complétées par de la photo-interprétation. À cette occasion, le SERTIT a cartographié les foyers de scolytes sans plus de détail. Cette méthode relativement simple a été possible du fait de conditions favorables : période traitée assez courte et images acquises à une saison assez favorable (nébulosité modérée).

Lors de la deuxième cartographie, Telespazio a dû travailler avec des images d'hiver ce qui rend la tâche plus difficile pour diverses raisons. Le risque de confusion entre dégâts dus aux scolytes et feuillus défeuillés pendant l'hiver

est réel. Par ailleurs, la nébulosité est importante ainsi que les ombres sur les images. Pour pallier ces difficultés, Telespazio a dû mettre en œuvre une méthode bi-date avec des images acquises entre le 27 février et 1er avril 2019 d'une part et des images acquises un an plus tôt d'autre part (mars 2018). Telespazio a de plus réalisé une classification dirigée qui est la combinaison de deux méthodes : (1) classification supervisée pour détecter les sols nus notamment, (2) classification par seuillage de différences interannuelles de trois indices de végétation afin de faire la distinction entre feuillus défoliés en hiver, ombre, résineux scolytés et résineux sains (différence entre mars 2018 et mars 2019).

Lors de la troisième cartographie (état des lieux juin 2020), le SERTIT a utilisé une méthode d'analyse des images en deux étapes : (1) classification supervisée à partir des images de début et fin de période (avril 2019 et juin 2020), mettant en évidence les dégâts des scolytes avec leur stade de développement (vert, rouge, gris), les coupes et des peuplements sains, en utilisant plusieurs méthodes, puis en sélectionnant la classification la plus précise et (2) datation de la détection des foyers ou de la coupe par analyse de la série temporelle des images 2016-2020 à l'aide d'un algorithme ad hoc (algorithme BFAST). Dans tous les cas, les traitements automatiques ont été complétés par des contrôles visuels des images et des résultats afin d'assurer la meilleure qualité possible du résultat.

Enfin, des calculs de synthèse des surfaces touchées ont été réalisés à partir de ces cartes de dégâts, après croisements éventuel avec les cartes des types de formation végétale (source : IGN) et des catégories de propriété (source : ONF).

Résultats

Comme les dégâts des scolytes ont été cartographiés à large échelle, à trois reprises, et que la date de détection des dégâts a été déterminée lors de la troisième cartographie, il est possible de représenter simultanément leur distribution spatiale et leur dynamique temporelle. Plusieurs échelles de représentation sont possibles, de l'échelle interrégionale à l'échelle communale en passant par celles des régions et les départements. Des atlas ont été réalisés à ces deux dernières échelles ainsi que pour l'ensemble du Nord-Est et ont été diffusés auprès d'un large public et sur internet (DRAAF Grand Est 2020). La carte de l'ensemble des dégâts depuis le début de la crise, qu'ils aient été exploités ou non, permet de mettre en évidence les régions où les dégâts sont les plus importants dans l'absolu : Ardennes, Nord des départements lorrains (Meuse avec notamment la forêt de Verdun, Meurthe-et-Moselle, Moselle), le département et le Massif des Vosges ainsi que la partie limitrophe du département de la Haute-Saône (les pessières de la région des Mille Étangs en particulier sont particulièrement sinistrées), le département du Doubs et le Morvan. Dans le Jura, seuls les peuplements à faible altitude ont souffert, ceux du deuxième plateau ayant été en grande partie épargnés (Fig. 4). Le même type de carte a également été établi, présentant la proportion de surface forestière impactée, et la proportion de surface résineuse (sapin-épicéa) touchée.

Les surfaces cartographiées avec des dégâts dans la région Grand Est correspondent approximativement au double de celles

² Classification supervisée = utilisant les zones de référence, de caractéristiques connues, comme échantillons d'apprentissage

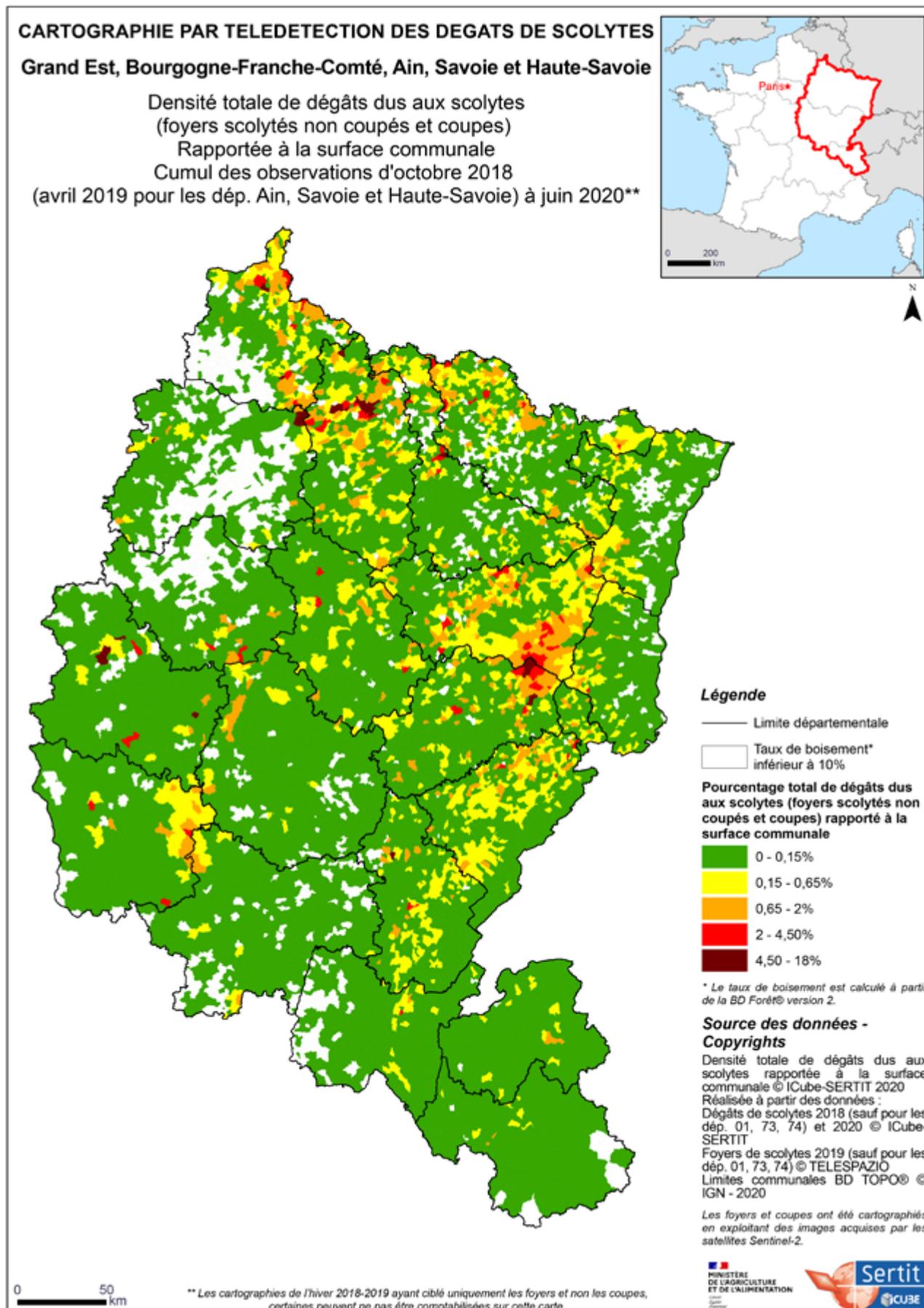


Figure 4. Extrait de l'atlas des dégâts attribués aux scolytes à fin juin 2020.

cartographiées en région Bourgogne-Franche-Comté. Les surfaces des trois départements rhônalpins restent très faibles au regard de celles des deux autres régions (Tab. 1). Globalement, 56 % des peuplements détectés avec des dégâts dans le Nord-Est étaient coupés en juin 2020. Ce taux est plus élevé dans la région Bourgogne-Franche-Comté (60 %) que dans la région Grand Est (53 %). En fait, c'est surtout la forêt privée de la région Bourgogne-Franche-Comté qui se distingue par un taux élevé dans cette région (62 %).

Du point de vue temporel, la précision des observations permet des analyses interannuelles et même entre les saisons. De la même façon, comme les coupes ont également été cartographiées et datées à partir d'avril 2019, il est possible de représenter leur répartition spatiale et la dynamique temporelle et de les comparer à celles des dégâts afin de mettre en évidence les éventuels décalages temporels entre les deux événements (Fig. 5 page suivante).

Une mine d'information à exploiter

La possibilité de croiser les cartes des dégâts et des coupes avec toute autre information géoréférencée offre bien d'autres possibilités de valorisation des données. Outre les circonscriptions administratives, il est également possible de croiser ces cartes avec la catégorie de propriété (cartographie ONF) ou les types de peuplement (exemple : cartographie forestière IGN) pour analyser la répartition des dégâts et des coupes selon ces critères.

Du point de vue épidémiologique, il est utile de connaître les stations et les situations où les dégâts ont été les plus importants. Le croisement de la carte des dégâts avec une base de données altimétriques permet de déterminer l'altitude et l'exposition des foyers (Fig. 6). La carte de la réserve utile maximale des sols et la série spatialisée de variables climatiques comme les températures et la pluviométrie permettra d'estimer la situation hydrique des sols d'une part et l'importance des populations du typographe d'autre part, le nombre de générations annuelles dépendant fortement des sommes de températures. Ces traitements permettront d'avoir des indications sur le niveau de stress des peuplements dû à la sécheresse et de les relier à l'importance des attaques. D'autres facteurs comme la composition des peuplements, la nature du paysage (fragmentation de la forêt, importance locale des résineux), la dynamique temporelle et spatiale des attaques (distance au foyer antérieur le plus proche) méritent également d'être analysés sous cet angle épidémiologique.

Enfin, ces cartographies constituent un outil intéressant dans le cadre de la reconstitution des forêts par la connaissance de la localisation de beaucoup de peuplements sinistrés. Elles pourront ainsi être mobilisées dans le cadre du plan de relance de l'État.

Conclusion : limites et perspectives

La cartographie des dégâts dus aux scolytes à l'aide de la télédétection présente malheureusement plusieurs limites. Tout d'abord, les peuplements scolytés verts restent difficiles à distinguer des peuplements sains sur les images Sentinel-2 (Abdullah et al. 2018) ; ils sont donc fortement sous-estimés. **L'absence de détection précoce fait que les cartes réalisées ne sont pas utilisables dans le cadre de la lutte**

Région	Catégorie de propriété	Sur pied	Coupe	Total	% coupe
Grand Est	Forêt domaniale	1 100	1 407	2 507	56%
	Autre forêt publique	1 473	1 534	3 007	51%
	Forêt privée	2 295	2 565	4 860	53%
	Total régional	4 869	5 506	10 375	53%
Bourgogne Franche-Comté	Forêt domaniale	77	86	162	53%
	Autre forêt publique	607	773	1 380	56%
	Forêt privée	1 647	2 673	4 320	62%
	Total régional	2 330	3 531	5 862	60%
Auvergne-Rhône-Alpes	Forêt domaniale	1	1	1	52%
	Autre forêt publique	35	60	95	63%
	Forêt privée	83	131	214	61%
	Total régional	119	192	310	62%
Total général		7 318	9 229	16 547	56%

Tableau 1. Répartition des surfaces cartographiées avec des dégâts selon le stade d'exploitation, la région et la catégorie de propriété. État fin juin 2020.

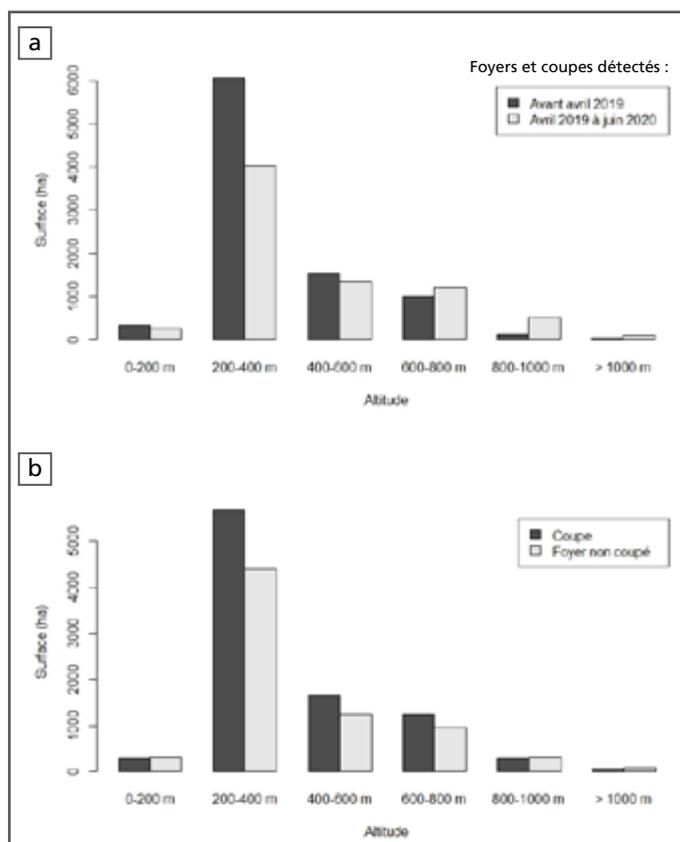


Figure 6. Répartition des dégâts attribués aux scolytes selon l'altitude et selon la période de détection (a), ou le stade d'exploitation (b). Au fil de la crise, les dégâts deviennent proportionnellement plus importants en altitude et deviennent de moins en moins exceptionnels au-dessus de 800 mètres. Fin juin 2020, l'exploitation des peuplements scolytés est plus importante proportionnellement en plaine qu'en altitude.

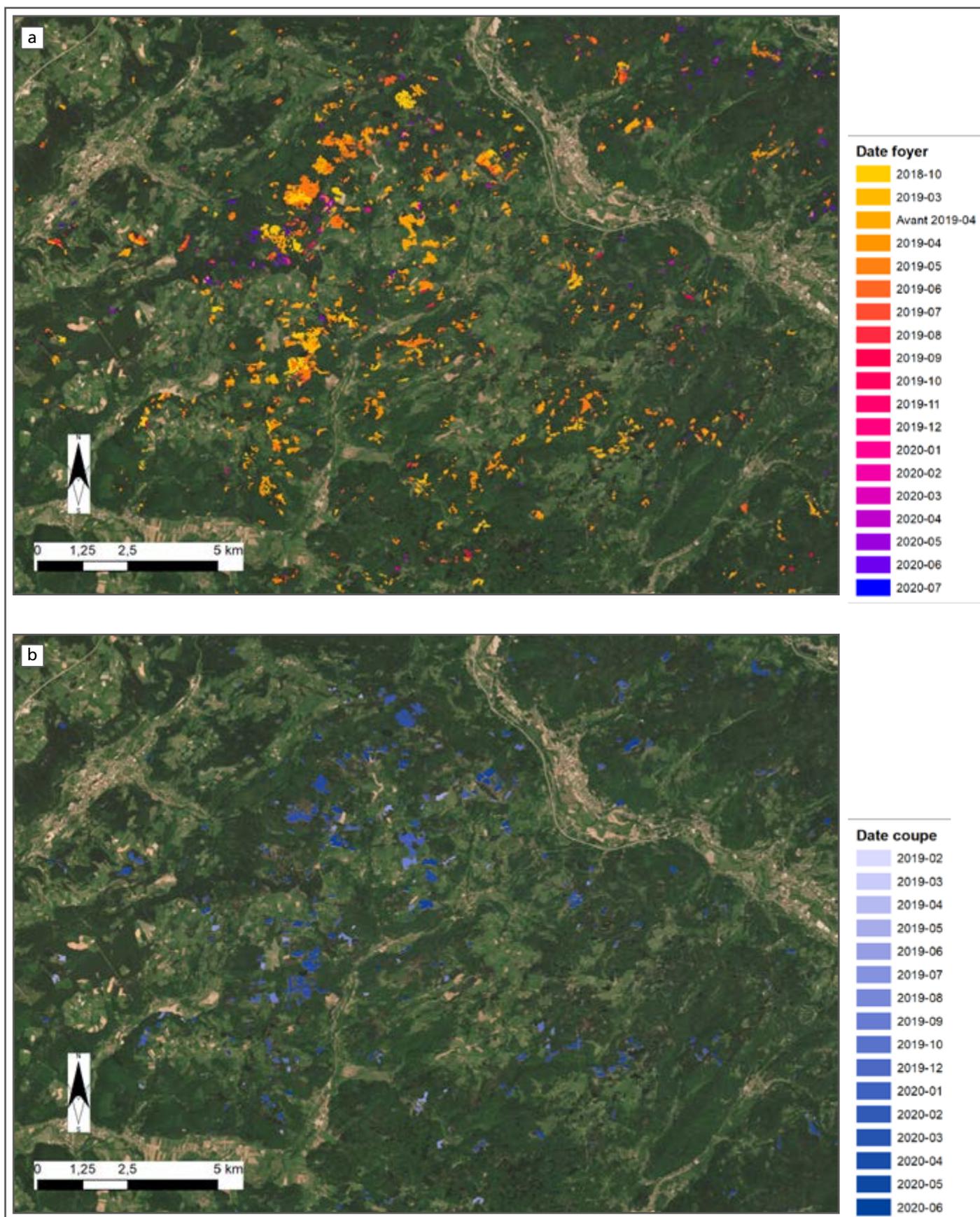


Figure 5. Cartographie des foyers de scolytes (a) et des coupes (b) avec leur date de détection : zoom sur le Parc naturel régional des Ballons des Vosges, secteur du Val d'Ajol.

Le fond de carte correspond aux images Sentinel-2 de juin 2020 (source : www.theia-land.fr).

préventive où il convient d'intervenir tôt. Cette absence de détection précoce est d'autant plus prégnante que les cartographies ne sont pas réalisées en temps réel ; il y a donc un décalage entre l'apparition du phénomène, sa détection à partir des images de télédétection et la mise à disposition du résultat des traitements. Par ailleurs, la surface minimale de détection des dégâts est de quelques pixels (5 à 10) correspondant à autant d'ares, la largeur d'un pixel Sentinel-2 étant de 10 mètres. Les plus petits foyers ne sont donc pas cartographiés. Si le masque utilisé issu de la BD Forêt® couvre une large part des peuplements de sapins et d'épicéas, il n'est pas exhaustif pour autant. Les pessières et les sapinières pures de moins de 2 hectares ne sont pas distinguées dans la BD Forêt® et peuvent donc être noyées au sein de n'importe quel thème : une part inconnue des peuplements touchés est exclue du masque utilisé et donc des cartographies. Il en est de même pour les peuplements où l'épicéa ou le sapin sont en mélange avec d'autres essences résineuses ou feuillues. D'autre part, la détection des dégâts dans les peuplements mélangés pied à pied est plus délicate que dans les peuplements purs. Dans les zones où le relief est marqué comme les zones montagneuses, la qualité des détections est certainement moins bonne du fait des ombres plus importantes sur les images. Enfin, il y a les limites liées à la précision de la classification au sein du masque. Des confusions existent entre les différentes classes (peuplement sain, peuplements scolytés rouges ou gris, coupe) entraînant de fait des sous-estimations et des surestimations. Ces confusions sont faibles puisque les bons classements des peuplements s'élèvent à 93 % (précision globale) ; si on tient compte du fait qu'un peuplement peut-être bien classé au hasard, la précision est alors de 88 % (indice Kappa). Cependant ces indicateurs ne tiennent pas compte de la précision des contours des foyers et des coupes. Or les foyers cartographiés s'avèrent en général plus petits que les foyers véritables.

Une action de recherche pour le développement d'une méthode reproductible

L'expérience a montré qu'une crise sylvo-sanitaire dure plusieurs années. La crise actuelle a débuté en 2018 et devrait au moins perdurer jusqu'en 2021. Par ailleurs, les scolytes des résineux (et tout particulièrement le typographe) font partie des principaux ravageurs des forêts françaises

et sont responsables de dégâts quasiment tous les ans, même si ce n'est pas toujours à des niveaux comparables à ceux observés actuellement. Par ailleurs, les cartes d'état des lieux telles que celles réalisées jusqu'ici ne répondent pas suffisamment aux besoins des gestionnaires qui souhaitent des informations beaucoup plus régulières et fréquentes pour orienter leur surveillance ou leurs actions de gestion. Il apparaît donc important d'avoir un dispositif de suivi permanent des dégâts dus aux scolytes. C'est pourquoi la mise au point d'une méthode fiable, robuste et transférable a été demandée aux chercheurs de façon concomitante aux marchés passés avec des sociétés spécialisées. Le choix s'est porté sur INRAE Montpellier (UMR TETIS) avec qui le MAA collabore depuis de nombreuses années, notamment dans le cadre de la cartographie des coupes rases (Ose et al. 2015). Outre la mise au point de la méthode et d'une chaîne de traitement, l'analyse comportera des préconisations pour le déploiement et l'industrialisation de la cartographie afin d'envisager une utilisation en routine, pour n'importe quelle région et pour les années ultérieures. La convention signée entre INRAE et le MAA prévoit également des actions de transfert, notamment des formations.

La cartographie des dégâts présentée ici permet de construire un bilan de la crise en surface. Un bilan en volume serait également très utile. Plusieurs méthodes sont envisageables pour y parvenir : croisement de cette cartographie avec les résultats de l'inventaire forestier de l'IGN, des données de récolte de l'ONF, de cartes de biomasse forestière existantes (Santoro 2018) ou à venir, comme celles envisagées dans le cadre des travaux de recherche conduits actuellement au Cesbio à Toulouse à partir des images satellitaires radar Sentinel-1 (Morin et al. 2019).

Remerciements

Ces opérations de cartographie de dégâts de scolytes et de recherches associées ont été rendues possibles grâce à de nombreux contributeurs. Sans pouvoir être exhaustifs, les auteurs tiennent à remercier tout particulièrement celles et ceux qui ont été contribué à la définition de la démarche et à son animation : Juliette Boiffin (CRPF Grand Est), Max Gillette (pôle DSF Grand Est), Jean-Luc Matte (DRAAF Grand Est), Xavier Thauvin (IGN), Nicolas Clouet (ONF), Nicolas Degarne (ONF), Nicolas Marchand (ONF) et Brigitte Pilard-Landeau (ONF). Ils remercient également chaleureusement toutes les personnes des DRAAF, du DSF, des CRPF et de l'ONF qui ont réalisé les indispensables relevés de zones de référence sur le terrain.

Références

Abdullah H., Skidmore A. K., Darvishzadeh R., Heurich M., 2018. Sentinel-2 accurately maps green-attack stage of European spruce bark beetle (*Ips typographus*, L.) compared with Landsat-8. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1002/rse2.93>

Colin A., Meredieu C., Labbé T., Bélouard T., 2010. Etude rétrospective et mise à jour de la ressource en pin maritime du massif des Landes de Gascogne après la tempête Klaus du 24 janvier 2009, https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/etat_zero_massif_landais_2010.pdf

Collectif : Brunier L., Delpont F., Gauquelin X (coord.), 2020. Guide de gestion des crises sanitaires en forêt. Paris : RMT AFORCE, Editions CNPF-IDF

Delpace D., 2008. Etude de méthodes de détection de foyers de scolytes (Coleoptera, Curculionidae) dans l'est de la France. Comparaison de techniques d'inventaires au sol, de surveillance aéroportée et de télédétection aérienne et satellitaire. Université libre de Bruxelles, thèse de doctorat

DRAAF Grand Est, 2020. Atlas des dégâts dus aux scolytes et des coupes dans les peuplements résineux du Nord-Est de la France – Situation fin juin 2020 (<https://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/Atlas-Scolytes>)

[grand-est.agriculture.gouv.fr/Atlas-Scolytes](https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/lif_46_poster.pdf)

IGN, 2019. La BD Forêt® V2 – Une cartographie forestière nationale pour les territoires. L'IF n° 46, https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/lif_46_poster.pdf

Morin D., Planells M., Guyon D., Villard L., Mermoz S., Bouvet A., Thevenon H., Dejoux J.-F., Le Toan T., Dedieu G., 2019. Estimation and Mapping of Forest Structure Parameters from Open Access Satellite Images: Development of a Generic Method with a Study Case on Coniferous Plantation. *Remote Sensing*, <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/11/1275>

Ose K., Deshayes M., 2015. Détection et cartographie des coupes rases par télédétection satellitaire. Guide méthodologique. UMR TETIS, Irstea

Santoro M., 2018. GlobBiomass - global datasets of forest biomass. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.894711>

SERTIT, 2011. Analyse du dépérissement de peuplements forestiers lié aux attaques de scolytes entre l'hiver 2009 et l'hiver 2010 à partir d'images satellite à l'échelle du Massif aquitain. Rapport d'étude.