



HAL
open science

RAPPORT DE CONVENTION EPICLIM, influence des interactions Epinotia-climat sur le dépérissement du sapin pectiné

Pilar Fernandez-Conradi, Thomas Boivin

► **To cite this version:**

Pilar Fernandez-Conradi, Thomas Boivin. RAPPORT DE CONVENTION EPICLIM, influence des interactions Epinotia-climat sur le dépérissement du sapin pectiné. inrae. 2023. hal-04191921

HAL Id: hal-04191921

<https://hal.inrae.fr/hal-04191921>

Submitted on 30 Aug 2023

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.

RAPPORT DE CONVENTION

EPICLIM, influence des interactions *Epinotia*-climat sur le déperissement du sapin pectiné

Sous la direction de Pilar FERNANDEZ-CONRADI & Thomas BOIVIN

Etabli le 17 juillet 2023

Durée du projet : 1 an (2022)

INRAE Centre de recherches Provence-Alpes-Côte-d'Azur,
UR629 Ecologie des forêts méditerranéennes (URFM)
Domaine Saint-Paul, Site Agroparc, CS 40509, 84914 AVIGNON cedex 09
pilar.fernandez@inrae.fr ; thomas.boivin@inrae.fr

Comité de pilotage

DSF : François-Xavier SAINTONGE, Bernard BOUTTE, Jean-Baptiste DAUBREE

INRAE : Pilar FERNANDEZ-CONRADI, Thomas BOIVIN

Rappels de contexte et enjeux de EPICLIM

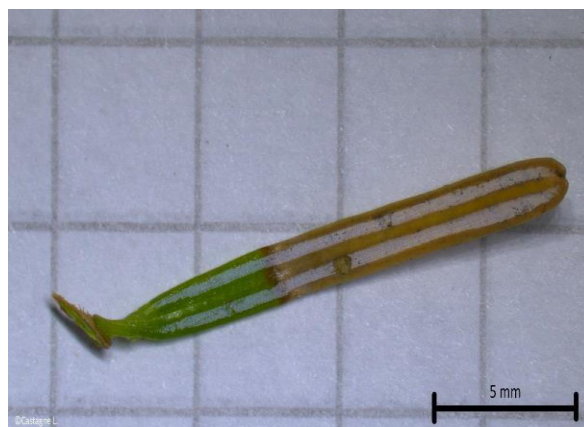
Depuis la fin des années 1980, l'augmentation significative de la fréquence et de l'intensité des sécheresses est à l'origine de dépérissements forestiers massifs à l'échelle mondiale (Allen et al., 2010). En zone méditerranéenne, les changements climatiques prévus vont fortement impacter les aires de répartition de nombreuses essences forestières, et des communautés animales et végétales qui leur sont associées. Il est également attendu un accroissement des dépérissements et une hausse du taux de mortalité chez certaines espèces d'arbres. Le dépérissement est déclenché par des sécheresses répétées, mais les peuplements ont des capacités de résilience, qui leur permettent dans certains cas d'éviter la mort et de profiter du retour de conditions favorables. Un facteur déterminant ces possibilités de résilience est la présence ou non de facteurs aggravants biotiques. Leur impact est connu mais peu étudié concernant les dépérissements en cours.

Le sapin pectiné (*Abies alba*) est une espèce autochtone d'intérêts économique et écologique majeurs en Europe mais sensible à la sécheresse. Il montre des surfaces de dépérissement et de mortalité croissantes en France, et en particulier dans ses populations en marge sud de son aire de distribution (Cailleret et al., 2014). L'intensification des événements climatiques sévères est attendue pour accentuer ces vagues de mortalité déjà visibles 1) directement par une altération des fonctions physiologiques des arbres et 2) indirectement en favorisant les populations d'insectes phytophages indigènes ou exotiques. Depuis 2017, des pullulations d'un lépidoptère défoliateur indigène, la mineuse *Epinotia subsequana* (Lepidoptera : Tortricidae), sont associées à des dépérissements marqués dans un nombre croissant de peuplements de sapins pectinés des Alpes-Maritimes, des Alpes de Haute-Provence et du Var. Ce lépidoptère est présent en Ile-de-France, le Grand-Est, le Massif-Central et en région Sud. Actuellement, seules ses populations méridionales présentent des caractéristiques de ravageur indigène émergent, mais les facteurs prédisposants des attaques et leurs conséquences pour le sapin pectiné sont toujours inconnus.

Depuis leur émergence, les foyers méridionaux d'*E. subsequana* tendent à l'expansion géographique. Ceci suggère 1) la colonisation de nouveaux peuplements depuis les premiers foyers, 2) des croissances démographiques locales résultant par exemple de l'altération de l'état physiologique des arbres, et 3) une combinaison de ces deux processus. Les dynamiques actuelles d'*E. subsequana* et des dépérissements du sapin pectiné dans le sud de la France sont une opportunité de comprendre comment les changements climatiques déclenchent de nouveaux risques associés à des insectes phytophages indigènes.

Epinotia subsequana, en bref...

Epinotia subsequana (Haw.), appelée Mineuse des aiguilles du Sapin, est un lépidoptère de la famille des Tortricidae et du sous-genre *Asthenia* (Schwenke 1978). Mesurant jusqu'à 13 mm, les adultes émergent du sol à partir de fin avril et présentent des vols actifs jusqu'à début juin. Les femelles pondent entre 4 et 12 œufs, sur les rameaux supérieurs externes des sapins. Le stade larvaire constitue le stade défoliateur du cycle de développement, les chenilles peuvent mesurer jusqu'à 6-7 mm, elles pénètrent les jeunes aiguilles par la face inférieure. Après la deuxième mue, elles peuvent s'attaquer aux aiguilles plus anciennes. A l'issue du dernier stade larvaire, au cours de l'été, elles rejoignent le sol par un fil de soie et s'enterrent dans les cinq premiers centimètres pour se nymphoser. La chrysalide passe l'hiver dans le sol, jusqu'à la mue imaginale et l'émergence de nouveaux adultes au printemps suivant (principalement en mai). *E. subsequana* semble spécifique des sapinières, c'est un défoliateur secondaire dans les populations au stade endémique, mais primaire au stade épidémique.



Adulte *Epinotia subsequana*, aux ailes postérieures pâles et frangées typiques (à gauche), et symptômes caractéristiques d'une aiguille minée, montrant un trou circulaire sur la face inférieure et décoloration brune de la partie supérieure de l'aiguille. Photos : INRAE

Objectifs de EPICLIM

Dans l'objectif d'évaluer l'influence du stress climatique sur les pullulations d' *E. subsequana*, nous avons combiné des suivis entomologiques à des mesures de la réponse passée et actuelle des sapins pectinés au stress climatique dans des peuplements présentant des niveaux contrastés d'abondance d'insectes et de dépérissement. Cette approche a reposé sur deux grands axes structurants :

1. **Connaître la distribution actuelle d'*E. subsequana*** dans cette marge sud de la distribution du sapin pectiné, où ses populations sont les plus exposées au stress hydrique. Cet axe a impliqué la mise en place d'un réseau régional de surveillance des populations de *E. subsequana* par piégeage phéromonal sexuel.
2. **Déterminer les niveaux de vulnérabilité passée et actuelle de sapinières en dynamique de dépérissement dans les foyers connus d'*E. subsequana***. Cet axe a impliqué une approche dendrochronologique par carottage et le prélèvement d'aiguilles pour l'analyse de leur composition chimique dans des échantillons d'arbres présentant des pourcentages d'attaque par *E. subsequana* variables.

Implémentation d'un réseau de piégeage d'*E. subsequana* en région Sud

Dispositif

En concertation avec le DSF et avec l'aide des correspondants observateurs, nous avons installé des pièges à phéromones sexuelles dans les foyers d'infestation connus en région Sud, dans des peuplements de sapins périphériques, et dans des peuplements où *E. subsequana* n'a pas encore été signalée. Les quatre départements suivants ont été ciblés : les Alpes maritimes, les Alpes-de-Haute-Provence, le Var et le Vaucluse. L'objectif était de renseigner la dynamique des foyers connus, de détecter de nouveaux foyers potentiels, et d'établir un point zéro dans les sapinières où la tordeuse est a priori absente ou peu abondante (i.e. sans dégât notable observable). Cette information est particulièrement importante dans les peuplements montrant déjà des signes de dépérissement mais où la tordeuse n'est pas détectée.

Un total de 14 sapinières ont été équipées de trois pièges phéromonaux chacune (Fig. 1 et 2), couvrant des conditions stationnelles et des altitudes variées (de 970 à 1640 m) mais toutes situées en versant nord. Ces peuplements sont généralement issus de régénération naturelle. Les peuplements 1 à 5 (respectivement Mont Lachens (haut et bas), Bleine, Seranon, Caille) sont situés dans la zone majeure d'infestation par *E. subsequana*. Le massif

du Mont Lachens est considéré comme le foyer initial en 2017, qui se serait étendu ensuite à Seranon et Caille, puis à Bleine. Le peuplement 12 (Chamatte) montrait des premiers signes d'attaques, alors tous les autres (Turini, Cairos, Forêt domaniale du Labouret, Grand Bois de Poligny, Champsaur, Forêt domaniale de l'Issole, Mont Ventoux) en semblaient exempts jusqu'à présent.

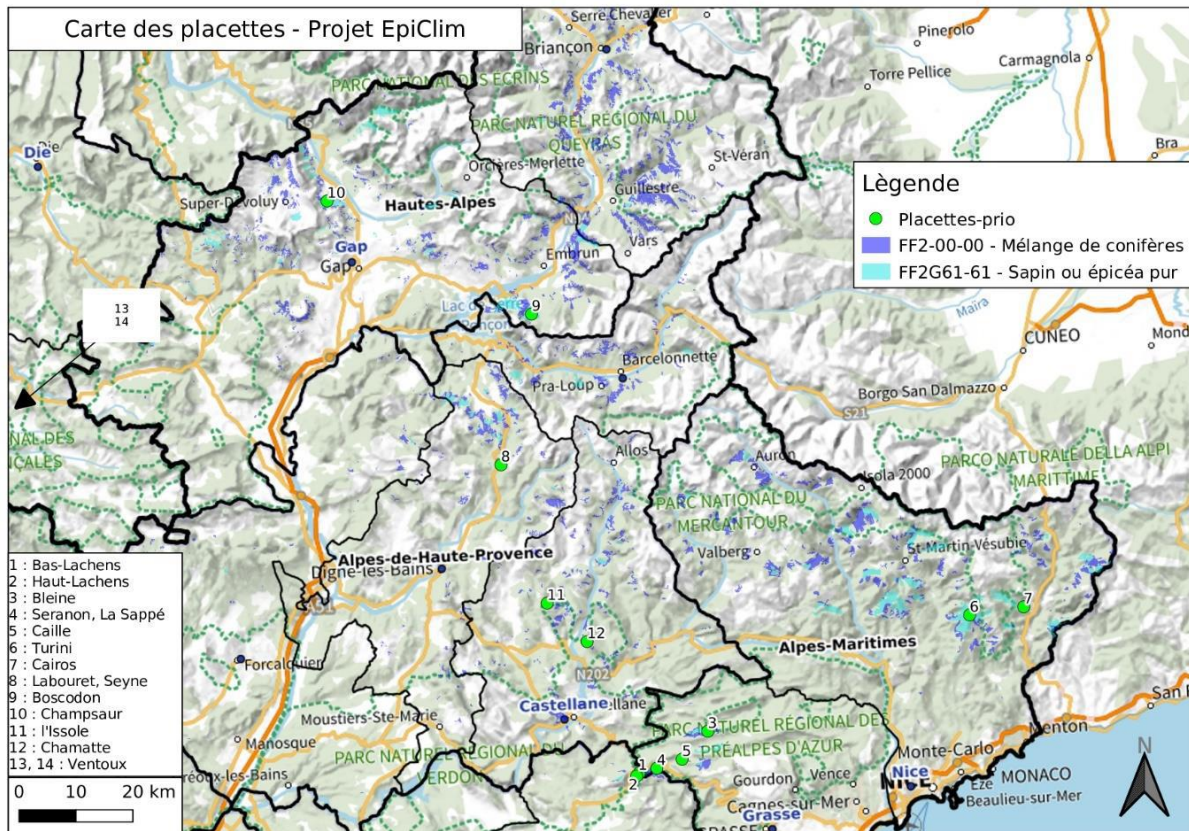


Figure 1. Distribution régionale des peuplements de sapins pectinés équipés en pièges phéromonaux pour *Epinotia subsequana* en 2022 (Source : BD forêt®, IGN).



Figure 2. Piège Funnel trap en sapinière (Mont Ventoux) et diffuseur à phéromones sexuelles de types « lures » (Pherobank, référence '50414'). Photos : INRAE

Les pièges utilisés sont des pièges de type « Funnel trap », couramment destinés à la capture des lépidoptères, appâtés avec des phéromones sexuelles. Aucune information phéromonale spécifique à *E. subsequana* n'étant disponible à ce jour, nous avons fait le choix d'utiliser un leurre attractif décrit comme généraliste pour le genre *Epinotia* (Stevens et al. 1985). Un filet insecticide a été placé au fond de chaque piège (piégeage sec). La récolte des pièges a été programmée toutes les deux semaines, couvrant la période d'avril à juin (6 relevés au total), avec l'aide de nos partenaires locaux de l'ONF5, du CNPF6 et de la DDT7. Dans chaque peuplement, les trois pièges ont été disposés en un triangle équilatéral de 30 m de côté et préférentiellement dans des espaces ouverts (bordure de piste ou de clairières) pour faciliter la diffusion de l'attractif.

La complexité de l'identification visuelle des microlépidoptères forestiers nous a conduit à réaliser des groupes de morphotypes capturés, selon Schwenke (1978) et <https://lepiforum.org/>, puis à séquencer l'ADN d'un sous-échantillon de chaque morphotype pour identification moléculaire (COI ; amorces LEP-F1, 5'-ATTCAACCAATCATAAAGATAT-3' et LEP-R1, 5'-TAAACTTCTGGATGTCCAAAAA-3'). Une analyse complémentaire des *genitalia* a également été réalisée (Bruno Rasmussen, INRAE) sur des morphotypes dont l'ADN ne montrait aucune concordance avec les bases de données Bold et NCBI, pour comparaison avec Razowski (2002).

Résultats de la campagne régionale de piégeage en 2022

Un total de 6337 microlépidoptères a été capturé dans le réseau régional de 14 sapinières que nous avons implémenté. Le tableau 1 résume la distribution des effectifs collectés, il indique que les genres *Phyllocytera* (Gracillariidae, deux espèces : *P. mespilella* et *P. blancardella*) et *Cydia* (Tortricidae, 2 espèces : *C. coniferana* et *C. zebeana*) représentent la quasi-totalité de nos échantillons. La littérature indique que *P. mespilella* et *P. blancardella* sont plutôt des mineuses de Rosaceae (respectivement *Sorbus* et *Malus*), tandis que les *Cydia* sont connues comme des insectes à développement sous-cortical sur conifères (respectivement *Pinus sylvestris* et *Larix decidua*). La présence en grand nombre dans les pièges d'espèces a priori peu inféodées aux sapinières (*P. mespilella*, *P. blancardella* et *C. zebeana*) interroge sur le niveau de connaissance actuel sur ces espèces, mais également sur la portée attractive des phéromones utilisées. Seule la capture de *C. coniferana* suscite moins d'inattendu puisqu'une part importante des sapinières échantillonnées étaient en mélange avec du Pin sylvestre.

Le taux de capture d'*E. subsequana* était très faible dans sa globalité : 12 individus toutes dates et peuplements confondus, soit environ 1% seulement des captures. Un total de 35 individus sont restés non-identifiés par manque de concordance entre les bases Bold et NCBI, les *genitalia* et la littérature. *Epinotia subsequana* a été capturée exclusivement dans les sites identifiés comme les foyers actuels. La première capture a eu lieu le 4 mai 2022, mais les faibles effectifs n'apportent pas d'information phénologique fiable.

Tableau 1. Effectifs de captures de microlépidoptères dans les pièges phéromonaux à *Epinotia subsequana* dans 14 peuplements de sapins pectinés de la région Sud. *Phyllonoryctera* : *P. mespilella* et *P. blancardella*, *Cydia* : *C. coniferana* et *C. zebeana*, Non-ID : spécimens non identifiés.

Peuplement		<i>Phyllonoryctera</i>	<i>Cydia</i>	<i>Epinotia subsequana</i>	Non-ID	Total
1	Bas-Lachens	966	114	0	1	1081
2	Haut-Lachens	125	51	1	0	177
3	Blein	164	268	6	0	438
4	Seranon	385	117	3	0	505
5	Caille	342	218	2	3	565
6	Turini	174	148	0	2	324
7	Cairos	120	70	0	2	192
8	Seyne	103	133	0	4	240
9	Boscodon	138	106	0	1	245
10	Champsaur	27	92	0	5	124
11	l'Issole	127	165	0	7	299
12	Chamatte	219	218	0	3	440
13	Mont Ventoux 1	454	253	0	7	714
14	Mont Ventoux 2	868	163	0	2	1033
	Total	4212	2116	12	37	6377

Estimation de la vulnérabilité passée et actuelle des sapinières de la zone de foyer à *E. subsequana*

Dispositifs

Nous avons mis en œuvre une approche rétrospective de la croissance des sapins pectinés en zones de foyers à *E. subsequana* et présentant des niveaux contrastés de dépérissement. Sur les mêmes individus, nous avons estimé des pourcentages de défoliation par *E. subsequana* en 2022, et nous avons prélevé des échantillons d'aiguilles produites en 2022

pour une analyse métabolomique de la réponse des arbres aux stress biotiques et abiotiques au cours de l'été 2022.

Approche rétrospective de la vulnérabilité du Sapin pectiné par dendrochronologie

Les analyses dendrochronologiques ont été réalisées sur des arbres situés dans la zone de foyers d'*E. subsequana*, c'est-à-dire dans les sites du Haut et Bas Lachens (sites 1 et 2), de Caille (site 5), de Seranon (4) et de Bleine (3). La campagne de carottage des arbres à la tarière de Pressler s'est déroulée du 07/06/2022 au 10/06/2022 (Fig. 3). Sur chacun des 5 sites, 20 arbres ont été carottés et mesurés en hauteur et circonférence (à 1,30 m). Ils ont été choisis pour leur statut dominant et/ou codominant. Ce statut facilite l'analyse dendrochronologique car ce type d'arbres ne subit pas ou peu les effets de la compétition. Cela permet de supprimer l'effet de ce facteur dans l'interprétation des largeurs de cernes. Les carottes collectées ont été séchées à l'étuve pendant 2 jours à 30°C, puis poncées et scannées pour les mesures des longueurs de cernes avec le logiciel WinDENDRO TM (Régent instrumentTM). Nous avons ensuite suivi une procédure d'inter-datation qui permet de s'assurer de la bonne datation d'une série chronologique de cernes en attribuant à chaque cerne son année réelle de formation (Lebourgeois, Mérian 2012). Cette étape s'appuie sur l'identification d'années caractéristiques (*pointer year*), elles correspondent à des niveaux de croissances extrêmes (très faibles ou très fortes), qui peuvent être liés à différents événements climatiques limitants (sécheresse, gelée tardive, etc.). Enfin, la procédure de standardisation de Lebourgeois et Mérian (2012) a été conduite pour éliminer des signaux de croissance indésirables (signaux de basse et moyenne fréquences, à faible et moyenne échelles temporelles) au cours des séries de croissance de long terme qui nous intéressent pour retracer la trajectoire de l'arbre au cours de sa vie (signaux de haute fréquence sur un pas de temps de 30 ans). Cette standardisation a pour bénéfice d'uniformiser les séries de croissances de long terme entre les arbres pour mieux les comparer; elle a été réalisée avec le package R Core Team 'dplR'. Nous utilisons donc un pas de temps de 30 ans. Toutes ces étapes ont été réalisées grâce au package R Core Team 4.2.3 'dplR'.



Figure 3. Carottage d'un Sapin pectiné et extraction d'une carotte. Photos : INRAE

Evaluation des pourcentages de défoliation des sapins par *E. subsequana* en 2022

Nous avons collecté quatre rameaux exposés à la lumière sur chaque arbre carotté, selon deux axes orthogonaux et dans la moitié supérieure du houppier (soit un total de 400 rameaux pour 100 arbres). Sur chaque rameau, trois pousses de l'année ont été prélevées pour l'évaluation des pourcentages d'attaque des aiguilles a posteriori au laboratoire (soit un total de 1200 pousses pour 100 par arbre). Le pourcentage de défoliation estimé pour chaque arbre correspond au nombre total d'aiguilles attaquées par rapport au nombre total d'aiguilles collectées par arbre, multiplié par 100. Seules les pousses de l'année ont été analysées ainsi car les aiguilles des années précédentes pouvaient être affectées par divers facteurs jusqu'à la collecte, et de façon indistincte.

Caractérisation de la réponse chimique des sapins pectinés aux attaques d'*E. subsequana* en 2022

Pour préciser les relations fines entre les attaques de mineuses et la chimie et la physiologie des arbres dans les foyers d'infestation, nous avons visé la mise en relation du niveau de défoliation et l'historique de croissance de l'arbre avec la chimie foliaire par des approches de métabolomique (e.g., synthèse de composés défensifs des arbres suite à des stress).

Sur les mêmes arbres carottés et collectés pour les pourcentages de défoliation, nous avons prélevé 12 aiguilles réparties sur 4 branches différentes dans une jeune pousse de l'année (3 aiguilles par pousse). Les aiguilles ont été immédiatement congelées à l'azote liquide pour préserver les composés secondaires présents, qui seront visés par une analyse métabolomique. Au laboratoire, les aiguilles ont été lyophilisées directement après leur passage en azote liquide, puis broyées. Pour chaque échantillon de poudre d'aiguille lyophilisée et broyée, 10 mg ont été pesés et mis en tube individuellement pour envoi à la plateforme "Bordeaux metabolome", notre prestataire en HPLC et traitement bio-informatique.

Relation entre stress passée et le niveau d'attaque par *E. subsequana* en 2022

Pour chaque arbre, nous avons calculé des indices de résistance Lloret (Lloret et al. 2011, Schwarz et al. 2020) pour estimer leur résistance aux sécheresses passées en utilisant le package R 'pointRes'. La relation entre le pourcentage d'attaque par *E. subsequana* en 2022 et l'indice de résistance à la sécheresse de Lloret et al. (2011) a été testée au moyen de modèles linéaires mixtes généralisés (GLMM) avec le package R Core Team 'lme4'. Nous avons utilisé un GLMM avec une distribution binomiale des erreurs avec le nombre d'aiguilles

attaquées et le nombre d'aiguilles saines par arbre comme variable de réponse. Nous avons utilisé le site, l'indice de résistance de Lloret et leur interaction comme variables explicatives.

Résultats des analyses de vulnérabilité du Sapin pectiné en région Sud

Vulnérabilité passée : approche par dendrochronologie

En moyenne, pour les 100 arbres carottés sur les cinq sites de la zone de foyers, nous observons une augmentation exponentielle de la surface terrière (BAI) depuis 1854 jusqu'à 2017. Cependant, à partir de 2017, jusqu'à 2021, nous montrons une perte drastique de croissance des arbres en moyenne dans ces peuplements (Fig. 4).

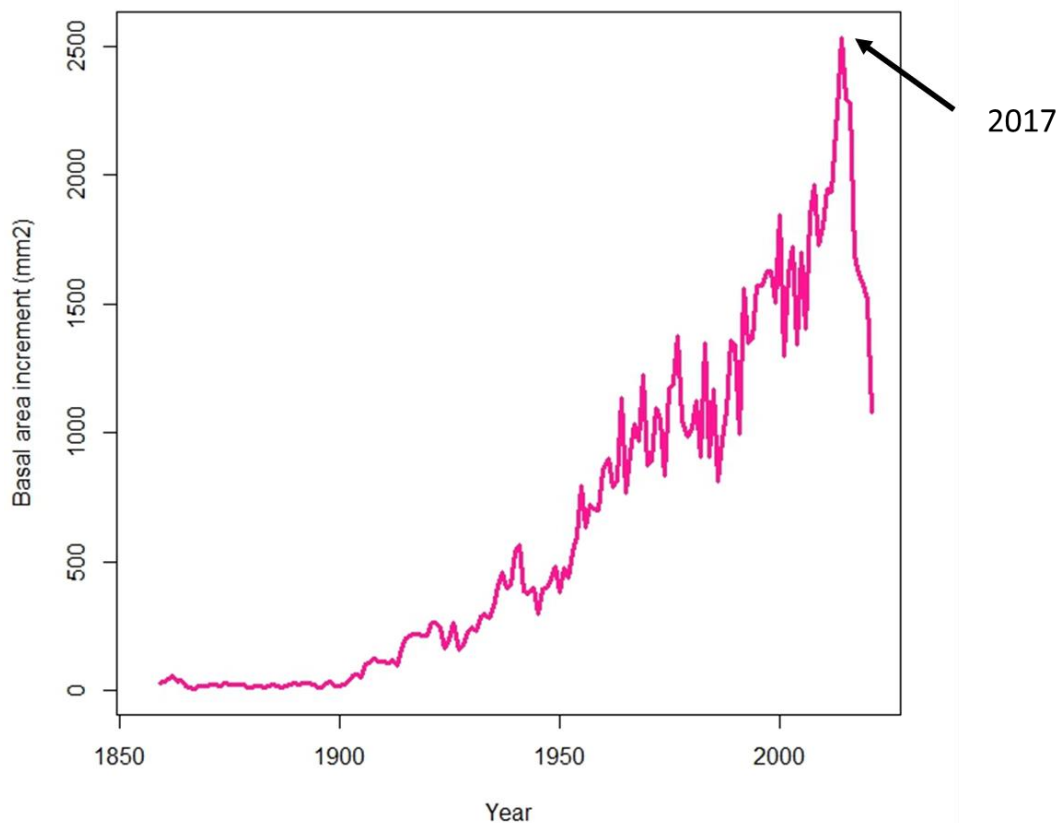


Figure 4. Évolution de la surface terrière moyenne (BAI : *basal area increment*) estimée par carottage de sapins pectinés dans les cinq sites de la zone foyer actuelle d'*E. subsequana*.

L'indice standardisé de croissance relative (*Relative growth index*, RWI) présente de la variabilité inter-sites (Fig. 5). Une valeur de RWI inférieure à 1 indique une croissance des arbres inférieure à leur moyenne pour une année donnée, alors qu'un RWI supérieur à 1 indique une croissance supérieure à la croissance moyenne de chaque arbre. Plusieurs

années avec des RWI faibles correspondent à des années de sécheresse (voire post-sécheresse) comme 1991, 2004, 2006 et 2017. Ces diminutions et augmentations sont similaires dans les cinq sites échantillonnés. Cependant, à partir de 2017 il y a une désynchronisation des sites, avec le site du foyer le plus important (Bas du massif du Lachens), qui répond différemment des autres pour les 3 dernières années (2019, 2020, 2021).

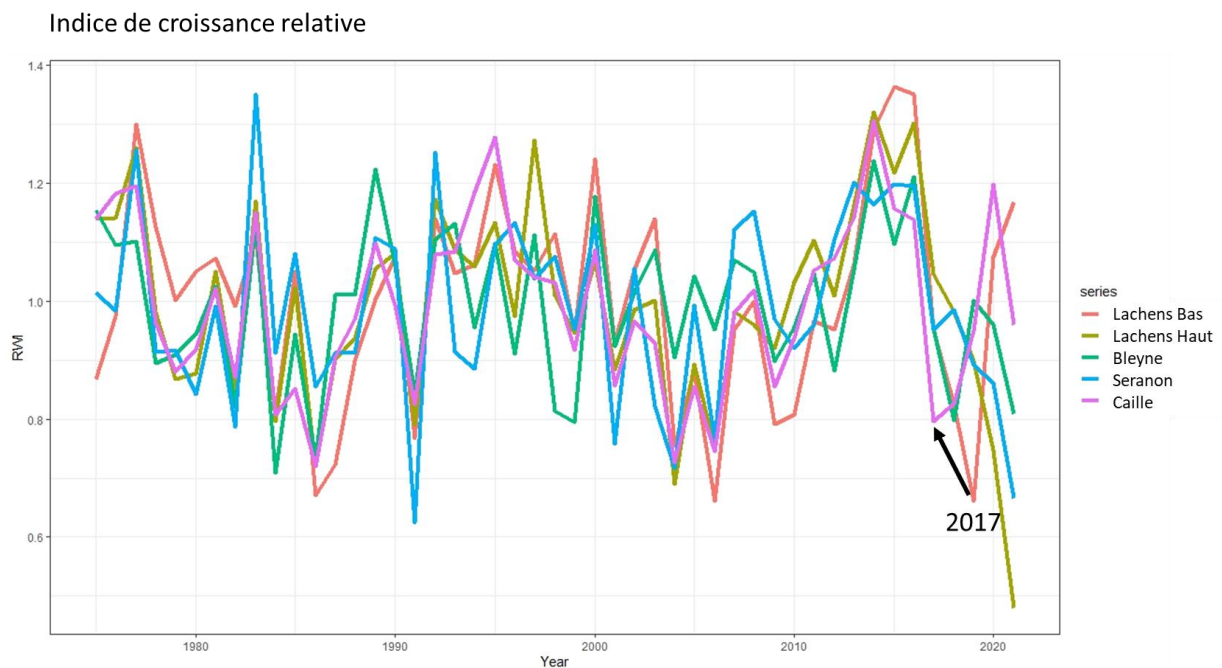


Figure 5. Indice de croissance relative (RWI, relative growth index) moyen des sapins pectinés par site, pour les cinq sites de la zone de foyers à *E. subsequana* (n= 100 arbres).

Vulnérabilité actuelle : pourcentages de défoliation des sapins pectinés par *E. subsequana* en 2022

Les pourcentages d'attaque sont variables en sites, le Bas Lachens étant celui qui subit la plus forte intensité d'attaque (Fig. 6). Le pourcentage moyen d'attaque sur tous les sites est de 26%, variant de 4.3 % à 59.5%. Le site avec le plus fort pourcentage d'attaque est le Bas du Lachens (Site 1, 42.11% moyenne), suivi du site de Blaine (Site 3, 30.77%, Fig. 6). Les sites avec le plus faible pourcentage d'attaques en 2021 sont le Haut du Lachens et Caille (21.57% et 20.77% d'attaques respectivement).

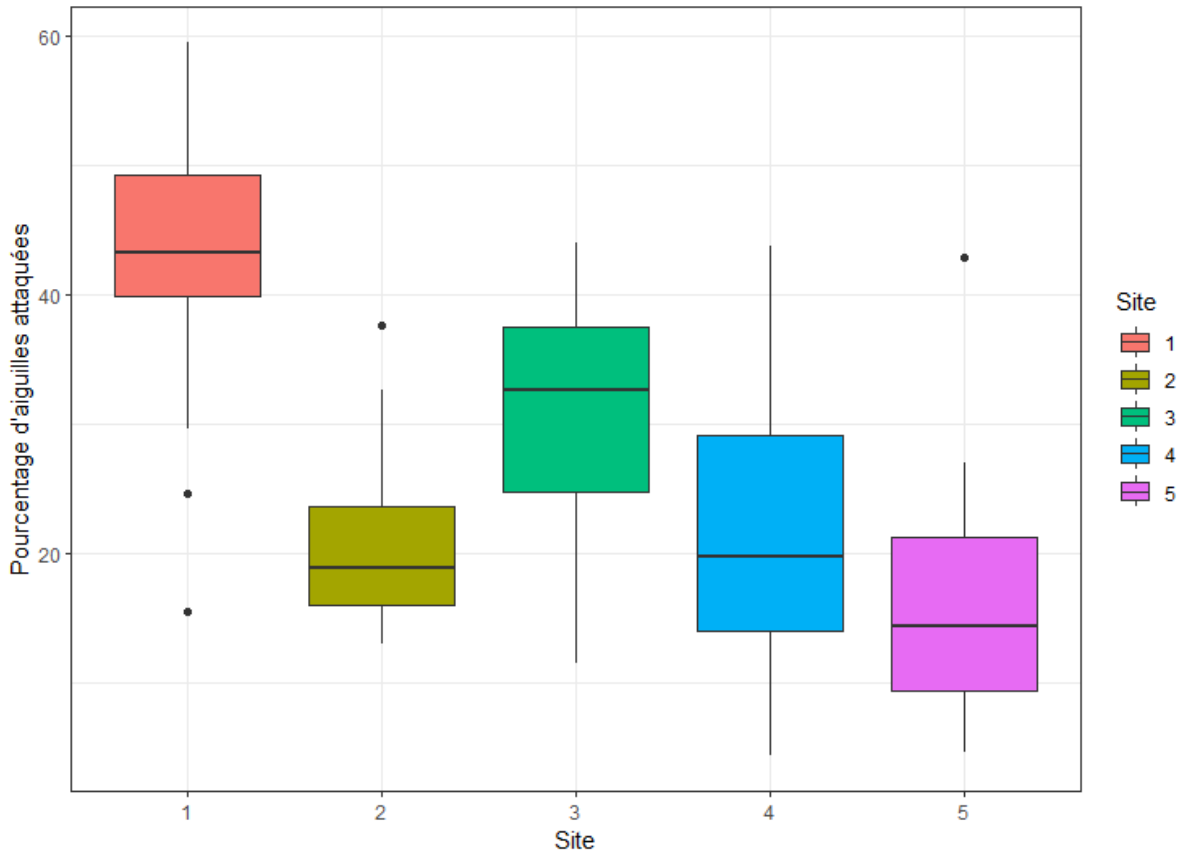


Figure 6. Pourcentage moyen de aiguilles attaquées par site (n= 100 arbres, 20 arbres/site).

Relation entre vulnérabilité à la sécheresse et niveaux d'attaques actuels

Le pourcentage d'attaque des sapins en 2021 est dépendant de leur indice de résistance à la sécheresse en 2017 ($\chi^2 = 13.66$, $df = 1$, $P < 0.001$), du site ($\chi^2 = 302.04$, $df = 4$, $P < 0.0001$) et de leur interaction ($\chi^2 = 30.47$, $df = 4$, $P < 0.0001$; Fig. 7). Il est intéressant de constater que seuls les sites d'intensité de défoliation intermédiaire montrent une relation positive significative entre l'indice de résistance à la sécheresse et le pourcentage de défoliation.

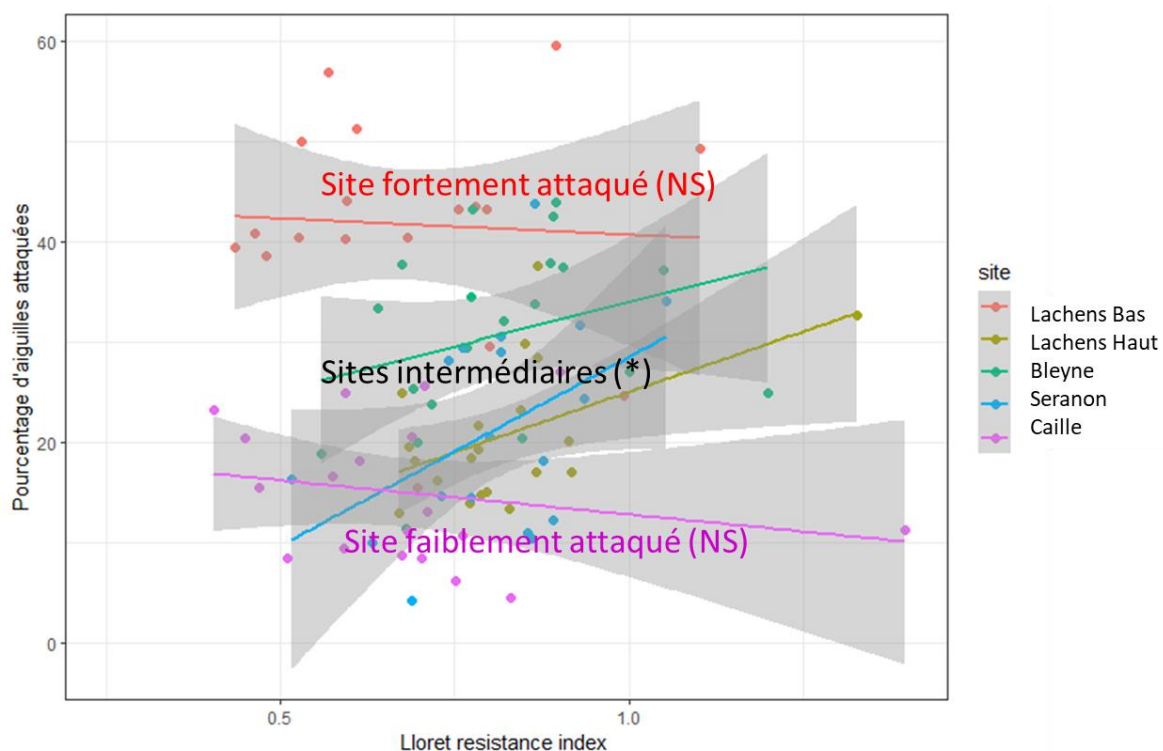


Figure 7. Pourcentage d'aiguilles attaquées par arbre en fonction de leur indice de Lloret (résistance à la sécheresse) calculé pour la sécheresse de 2017. Chaque point représente un arbre échantillonné (n= 100) et les couleurs représentent les sites (n = 5). Les droites représentent les résultats du modèle linéaire pour chaque site.

Discussion générale et perspectives

Le projet EPICLIM a constitué une approche préliminaire et pluridisciplinaire des facteurs de dépérissement du Sapin pectiné en région Sud ; en particulier de l'interaction possible entre un aléa biotique (pullulations d'*E. subsequana*) et un aléa climatique (sécheresses répétées). Il a reflété la complexité d'adresser une problématique de ravageur émergent en milieu naturel, où le manque de connaissances initiales est une contrainte forte pour un projet inscrit dans un temps court (1 an), en particulier pour le déploiement d'une méthode efficace de suivi des populations d'insectes. En nous intéressant également à des caractères de vulnérabilité des sapins pectinés, nos travaux suggèrent 1) un impact très probablement significatif de sécheresses répétées sur des baisses de croissance annuelle au cours de la vie des arbres, 2) que les peuplements en zone de foyer *Epinitia* montrent des niveaux de défoliation variables dont il sera nécessaire de suivre l'évolution spatio-temporelle, et 3) que les arbres les plus résistants à la dernière sécheresse de 2017 seraient davantage défoliés que les

moins résistants dans les peuplements à défoliation intermédiaire. En revanche, il est encore difficile de dissocier les effets du climat et d'*E. subsequana* sur les variations de croissance des sapins depuis 2017, des études plus approfondies qui sont en cours devraient jeter une nouvelle lumière sur ces processus d'interaction climat/insectes.

Réseau de surveillance

En matière de biologie, de comportement et d'écologie chimique, la littérature est si peu abondante concernant *E. subsequana* qu'on peut considérer que tout reste à découvrir sur cette espèce. La campagne de piégeage d'*E. subsequana* à l'échelle régionale que nous avons réalisée en 2022 indique clairement l'efficacité presque nulle du piégeage sec en Funnel trap avec une phéromone générique à *Epinotia*. Les très faibles effectifs de capture dans toutes les zones connues de foyers d'infestation, présentant des dégâts importants et continus depuis 2017, suggèrent qu'ils ne reflètent très probablement pas un effondrement des populations d'*E. subsequana* échantillonnées en 2022, mais une inefficacité des pièges. Pour cette raison, il nous est impossible de conclure sur l'absence ou un niveau endémique de la mineuse dans des peuplements où des foyers de dégâts n'ont pas encore été signalés. L'échec du piégeage phéromonal dans nos essais peut s'expliquer comme suit :

1. La phéromone utilisée n'est pas assez spécifique à *E. subsequana* ou pas suffisamment efficace dans les zones à faible densité d'insectes Ceci contraint directement son utilisation pour la mise en place d'un dispositif de détection de l'espèce et de surveillance des populations connues ;
2. Dans les foyers actuels d'infestation, la forte densité locale en insectes femelles entre en interférence (par compétition) avec les diffuseurs de phéromones sexuelles, si bien que les mâles trouveraient préférentiellement des femelles plutôt que les pièges ;
3. La combinaison de ces deux hypothèses, qui expliquerait les niveaux faibles (ou absence de) captures dans les zones à faible et à forte densités.

Parallèlement à l'implémentation du réseau de pièges, des échantillons de litière (couche de sol superficielle) avaient été prélevés dans un foyer historique d'*E. subsequana* (Mont Lachens) en mars 2022, et placés à température ambiante (20°C) au laboratoire pour des suivis d'émergence d'adultes depuis leur site de diapause hivernale. Nous avons obtenu plusieurs dizaines d'*E. subsequana* émergeant de ces lots de litière quelques jours plus tard, suggérant l'opportunité d'un protocole d'échantillonnage précoce au stade nymphal diapausant par prélèvement de sol. Aussi, la mise en place de pièges à émergence d'insectes sur le sol dans des zones fortement infestées pourrait permettre une meilleure connaissance de la phénologie d'émergence et la collecte d'individus mâles et femelles avant leur reproduction. Enfin, une autre voie de surveillance des populations larvaires pourrait résider

dans l'interception des chenilles dans leur descente vers le sol pour s'enterrer, grâce à un fil de soie tissé depuis le houppier (Sánchez Peña et al. 2000; Camarero et al. 2002). Des systèmes de collecteurs semblables à des collecteurs de litière couramment utilisés par exemple dans les placettes RENECOFOR pourraient être déployés pour une approche démographique et phénologique des populations larvaires d'*E. subsequana*. Dans l'attente de la mise au point d'une méthode fiable de surveillance des populations de mineuses par pièges phéromonaux ou d'autres dispositifs, il est donc raisonnable de poursuivre les inspections régulières des niveaux de défoliation des sapins pectinés dans la région Sud.

Vulnérabilité des peuplements de sapins en zone de foyers d'*E. subsequana*

Les analyses dendrochronologiques nous ont permis de retracer l'historique de croissance dans un échantillon d'arbres des cinq sites foyer d'*E. subsequana*. Après un traitement des données brutes supprimant les effets de l'âge sur la croissance des sapins pectinés, nous avons mis en évidence un patron classique d'augmentation de la surface terrière (BAI) jusqu'en 2017, puis une perte notable de croissance des arbres. Cette diminution dans la croissance moyenne des arbres coïncide avec les premiers signalements de pullulations d'*E. subsequana* par le DSF. Cependant, cette année étant aussi caractérisée par une forte sécheresse, il n'est pas encore possible de distinguer l'effet des pullulations d'*E. subsequana* des effets du manque de précipitations sur la croissance des sapins depuis 2017.

Cette diminution de croissance des sapins en 2017 est aussi observable avec les indices de croissance relative calculés pour chaque site. Cet indice de croissance relative nous permet de comparer les croissances des sapins après avoir enlevé les tendances dues à l'âge et aux tendances de moyenne fréquence qui apparaissent tous les 30 ans. Dans ces séries on observe des diminutions brutales dans l'indice de croissance en 1984, 1986, 1991, 2004, 2006 et 2017 pour tous les sites. Ces années correspondent à des années très sèches sauf pour 2004 et 2006 mais qui reflètent très probablement les effets des sécheresses de 2003 et 2005. Cependant, à partir de 2017 la dynamique de croissance des sapins diffère entre les sites. Notamment, sur le site du bas du massif du Lachens, nous pouvons observer une augmentation de l'indice de croissance les deux dernières années (2020 et 2021). C'est précisément sur ce site où *E. subsequana* a été remarquée pour la première fois et où les taux d'attaques restent les plus élevées. Compte tenu des limites de nos données, nous ne pouvons pas encore conclure sur les effets des défoliations dues à *E. subsequana* sur la résistance des sapins face à la sécheresse. Une interaction entre ces deux stress est probable. Une hypothèse à explorer réside dans une réduction de la surface foliaire des sapins due aux attaques d'*E. subsequana* qui diminuerait la perte en eau des sapins par évapotranspiration des aiguilles, limitant ainsi les effets des années sèches successives sur leur niveau de stress hydrique.

Enfin, des informations supplémentaires sur la réponse des sapins stressés aux attaques d'*E. subsequana* seront apportées par les analyses métabolomiques en cours sur des aiguilles collectées simultanément aux rameaux évalués pour les pourcentages de défoliation des insectes. Le retour des résultats de ces analyses par notre prestataire en métabolomique ayant été retardé puis repoussé à septembre 2023 (nous avons envoyé les échantillons fin 2022), nous n'avons pas été en mesure de les présenter dans ce rapport de convention. Néanmoins, grâce à ces futures analyses nous pourrions mieux appréhender les mécanismes fins d'interaction entre le niveau de stress des arbres et les dégâts causés par *E. subsequana* via des changements dans la physiologie des aiguilles des sapins. Notamment, nous pourrions évaluer les effets des stress biotiques et abiotiques sur les composés nutritifs et défensifs des arbres, qui peuvent en retour influencer les performances des chenilles d'*E. subsequana* et leur survie. Nous communiquerons ces nouvelles informations au D.S.F. ultérieurement.

Valorisation des travaux

Ces travaux ont déjà fait l'objet d'une communication de restitution des travaux EPICLIM le 23 Mars 2023 pour les correspondants-observateurs du DSF qui ont participé au projet, ainsi que pour la réunion nationale du DSF à Ramatuelle le 23 Mai 2023. De plus, ces travaux feront l'objet d'une communication à un colloque du Groupement des Entomologistes Forestiers Francophones (GEFF) en octobre 2023, et d'une publication scientifique dans un journal international à comité de lecture courant 2024. EPICLIM a contribué à la formation de Loïs Castagne pour son stage de fin d'étude de l'Institut AGRO d'Angers, qui a fait l'objet d'un rapport écrit ("Approche multifactorielle du dépérissement forestier dans les sapinières (*Abies alba*) sous contraintes climatiques et entomologiques en région méditerranéenne", 103 pp) et d'une soutenance orale le 5 septembre 2022 à Angers. Les approches mises en places et les premiers résultats d'EPICLIM seront également capitalisés et développés dans le cadre d'un projet collaboratif entre INRAE et l'Inria (ROBFORISK, 2023-2024) sur cette même problématique de dépérissement du Sapin pectiné en région Sud.

Références bibliographiques

ALLEN et al., 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259, 660-684.

CAILLERET et al., 2014. Drought-induced decline and mortality of silver fir differ among three sites in Southern France. *Annals of Forest Science*, 71(6), 643-657.

CAMARERO et al., 2002. Estudio dendroecológico del ataque de *Epinotia subsequana* Hw.(Lepidoptera: Tortricidae) sobre un abetar (*Abies alba* Mill.) del Pirineo aragonés (Diazas, Torla). *Forest Systems*, 11(2), 395-407.

LEBOURGEOIS, François et MÉRIAN, Pierre, 2012. Principes et méthodes de la dendrochronologie. 2012. AgroParisTech. Disponible à l'adresse: <https://hal.archives-ouvertes.fr/cel-01627048/document>

LLORET, Francisco, KEELING, Eric G. et SALA, Anna, 2011. Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos*. 2011. Vol. 120, n° 12, pp. 1909-1920.

RAZOWSKI, Jozef, 2002. Tortricidae of Europe. Bratislava.

SÁNCHEZ PEÑA, G., HERNÁNDEZ ALONSO, R., CAÑADA MARTÍN, J. F., DIESTE OTAL, J. et PÉREZ FORTEA, V., 2000. Note on monitoring the tortricid *Epinotia subsequana* Hw., mining fir needles and notes on its life cycle and development. *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas*. 2000. Vol. 26, n° 1, pp. 21-26.

SCHWENKE, A, 1978. Die Forstschadlinge Europas. . Paul Parey. Berlin.

STEVENS, R. E., SARTWELL, C., KOERBER, T. W., POWELL, J. A., DATERMAN, G. E. et SOWER, L. L., 1985. Forest tortricids trapped using *Eucosma* and *Rhyacionia* synthetic sex attractants. 1985. Disponible à l'adresse: <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/31801>