

L'INCENDIE POURRAIT-IL CONSTITUER UN MECANISME DE REGENERATION NATURELLE DU GENEVRIER THURIFERE PAR ECHAPPEMENT AUX RAVAGEURS DES GRAINES ? L'EXEMPLE DE LA MONTAGNE DE RIE (FRANCE)

Roques, A. & Auger-Rozenberg, M.A.

INRA, Unité de Zoologie Forestière, BP 20619, 45166- Olivet, France. e-mail : alain.roques@orleans.inra.fr

Résumé Seulement 1 à 3 espèces d'arthropodes ravageurs des galbules ont été observées dans les différents sites de *Juniperus thurifera* des Pyrénées françaises. Avant l'incendie ayant affecté la thuriferaie de la montagne de Rié à l'été 2003, les potentialités de régénération naturelle de ce peuplement par voie sexuée y étaient très réduites en raison de l'impact de l'acarien, *Trisetacus quadrisetus* et du chalcidien des graines, *Megastigmus thuriferana*. L'incendie a détruit une partie importante du peuplement mais a dans le même temps éliminé la majorité des ravageurs présents. Aucune floraison n'a été observée l'année suivant l'incendie (2004), contribuant ainsi à éliminer les ravageurs restants. En revanche, les relevés pratiqués en 2005 indiquent une forte floraison, avec des galbules quasi-indemnes alors que des attaques existent sur les sites satellites du peuplement. Ces sites sont susceptibles de permettre, sur un plus ou moins long terme, la reconstitution de populations de ravageurs de Rié. Les phénomènes aléatoires et imprévisibles par les insectes, comme l'incendie par intermittence, pourraient jouer un rôle important dans les processus à long terme de régénération naturelle du Thurifère en cassant l'équilibre existant habituellement entre la disponibilité des galbules et les populations de ravageurs des graines.

Mots clés : insecte, acarien, ravageurs, *Juniperus thurifera*, galbules, graines, régénération naturelle, incendie

COULD A FIRE BE A MECHANISM OF NATURAL REGENERATION OF JUNIPER BY SEED PLAGUE ESCAPE? THE EXAMPLE OF MONTAGNE DE RIÉ (FRANCE).

Summary Only one to three arthropod species have been observed to attack seed cones in the natural stands of incense-juniper, *Juniperus thurifera*, of the French Pyrénées. Before the occurrence of a fire which hit a *J. thurifera* stand located at the Rié Mt. during summer 2003, natural regeneration was severely hindered by the damage jointly caused by a seed mite, *Trisetacus quadrisetus*, and a seed chalcid, *Megastigmus thuriferana*. The fire destroyed a large part of the stand but simultaneously killed most of insect seed predators. No juniper seed cone was initiated during the year after (2004), thus contributing to eliminate the remaining predators. In contrast, a large flowering was observed on incense-juniper at Rié during 2005. Quite no damage was observed on the 1st year cones whereas arthropod attacks were observed on cones present in the few juniper stands surrounding the Rié Mt. These stands may serve as a reservoir to allow the seed predators to colonize again the Rié Mt. Hazards such as intermittent fires may play an important part in the natural regeneration processes of incense-juniper by disrupting the equilibrium usually existing between cone abundance and predator populations.

Keywords : insect, mite, pests, *Juniperus thurifera*, seed cones, seeds, natural regeneration, fire

¿UN INCENDIO PODRÍA SER UN MECANISMO CLAVE DE REGENERACIÓN NATURAL DE LA SABINA POR EL ESCAPE DE LAS PLAGAS DE SEMILLAS? EL EJEMPLO DE MONTAGNE DE RIÉ (FRANCIA).

Resumen Antes del incendio que afectó a los sabinares de la Montagne de Rié (Pirineo Francés) en el verano de 2003, un seguimiento constante del desarrollo de los gálbulos mostró que los potenciales de regeneración natural de esta población por vía sexuada eran muy reducidos debido al impacto de las plagas de gálbulos, entre las que tuvieron un papel dominante el ácaro *Trisetacus quadrisetus* y el chalcidien de las semillas *Megastigmus thuriferana*. El incendio destruyó una parte importante de la población pero, al mismo tiempo, eliminó a la mayoría de plagas presentes, que estaban en estado de larva en el momento del incendio y, por lo tanto, no pudieron escapar. No se observó ninguna floración el año siguiente al incendio (2004), lo que contribuyó a eliminar las plagas restantes. Sin embargo, las lecturas que se practicaron en 2005 indicaron una fuerte floración, con gálbulos indemnes a más del 99% de los ataques de las plagas aunque los ataques tuvieron lugar sobre los emplazamientos periféricos de la población de Rié, a los que el incendio no afectó. Estos emplazamientos son susceptibles de permitir, a mayor o menor largo plazo, la reconstitución de las poblaciones de plagas en la Montagne de Rié. Se debate el papel que los fenómenos aleatorios, como el incendio con intermitencia, pueden tener a largo plazo en el proceso de regeneración natural de la sabina, comparándolo con otras coníferas que sufren plagas sobre la semilla.

Palabras clave: Insecto, ácaro, *Juniperus thurifera*, gálbulos, semillas, regeneración natural, incendio.

INTRODUCTION

Alors qu'elle avait été longtemps négligée par les forestiers, la prédation des graines par des arthropodes spécialisés dans l'exploitation des cônes et des galbules durant leur phase de développement est maintenant considérée comme un facteur important de limitation de la régénération naturelle (Turgeon *et al.*, 1994). Cependant, les travaux concernant l'entomofaune exploitant les cônes et galbules de Cupressacées ne se sont développés que récemment, principalement autour de la Méditerranée (Roques & El Alaoui El Fels, 2005). Ces études concernent essentiellement les Cyprès mais confirment l'impact essentiel que peuvent avoir certains insectes et acariens sur la régénération des peuplements, de manière directe (prédation des graines ; Guido *et al.*, 1995 ; Battisti *et al.*, 2003 ; Rouault *et al.*, 2005) comme indirecte (punaises des graines vectrices de champignons phytopathogènes ; Battisti *et al.*, 1999).

En lien avec l'observation de difficultés persistantes de régénération naturelle dans certaines parties de l'aire du Genévrier thurifère, *Juniperus thurifera* L., on a aussi assisté à une montée progressive en puissance des études concernant son entomofaune dans les Alpes (Roques *et al.*, 1984), puis au Maroc (El Hassani & Messaoudi, 1987; El Alaoui El Fels *et al.*, 1999a ; El Alaoui El Fels & Roques, 2006) et en Espagne (El Alaoui El Fels *et al.*, 1999b). Tous ces travaux ont clairement indiqué que les insectes et acariens exploitant les structures reproductrices sont susceptibles de limiter de manière notable les potentialités de régénération du Thurifère, en réduisant le nombre de graines viables susceptibles d'être disséminées. C'est en particulier le cas des peuplements marocains où la prédation fait chuter le nombre de graines aptes à germer en dessous de 0.2 en moyenne par galbule, rendant improbable la régénération naturelle compte-tenu des facteurs de mortalité post-germination (El Alaoui El Fels *et al.*, 1999a). En revanche, aucune donnée n'était disponible avant 2002 pour les peuplements du versant français des Pyrénées. Un dispositif d'étude a donc été mis en place avec pour objectifs d'inventorier la faune d'arthropodes colonisant les galbules sur le site de Rié et ses stations satellites, ainsi que dans les stations isolées de Haute-Ariège, et d'estimer précisément l'impact sur la régénération.

La survenue d'un incendie accidentel en Août 2003 à Rié, qui a détruit une partie conséquente du peuplement de Thurifère, a largement perturbé ce dispositif d'étude. Il est apparu néanmoins intéressant de considérer l'action du feu sur les populations de ravageurs des galbules et notamment d'observer si ce mécanisme perturbateur imprévisible pouvait jouer un rôle régulateur sur la prédation des graines. La grande majorité des arthropodes associés sont en effet connus pour être spécifiques de leur hôte, au moins au niveau du genre végétal (Roques, 1983), et pour être à l'état larvaire, sans capacité de mobilité, dans les galbules en Août.

Ce travail, après avoir présenté la faune inventoriée sur les sites pyrénéens, vise donc à comparer la composition et les niveaux d'infestation des arthropodes avant et après l'incendie sur le site de Rié, avec une comparaison simultanée de la situation dans les peuplements satellites et les autres essences pouvant servir de refuge.

MATERIEL ET METHODES

Inventaire de la faune associée au Thurifère dans les Pyrénées Françaises

Les ravageurs spécialisés étant supposés coloniser et quitter les galbules à des moments spécifiques du développement de l'hôte, les échantillonnages ont concerné des galbules de différents âges (1^{ère} et 2^{ème} année) selon trois périodes temporelles distinctes (fin Mai- début Juin, fin Juillet- début Août, Mi- Octobre) fixées d'après El Alaoui El Fels & Roques (2006). Sur le

site de Rié, on a ainsi récolté au hasard en 2002 et 2003, pour chacune des périodes précitées, 30 galbules de 1^{ère} et 2^{ème} année par arbre sur 10 arbres tirés de manière aléatoire selon un cheminement en zig-zag dans le peuplement (Tableau 1). En revanche, les sites périphériques de Rié (Bezins-Garraux, St Béat), n'ont été échantillonnés qu'à deux reprises, au début de l'été 2002 et à l'automne 2005, tandis que ceux de Haute-Ariège (Vèbre, Quié de Lujat) ne l'ont été qu'à l'été 2002. Des galbules de l'espèce sympatrique, *Juniperus communis* L., ont également été récoltés lors de chaque prélèvement afin de comparer les faunes.

Chaque galbule récolté a tout d'abord été analysé extérieurement afin de détecter d'éventuels traces externes de dégâts, puis il a été disséqué et les dégâts internes éventuels notés. Les graines de tous les galbules de 2^{ème} année ont été extraites et collées, par lot individualisé, sur des plaques autocollantes afin d'être soumises à radiographie X (appareil Faxitron-43855® ; Films Kodak Industrex® ; exposition : 1min30s, 20Kv et 3 mA). Après radiographie, les graines ont été séparées en lots de graines apparemment saines, vides et infestées (larve ou nymphe visible à l'intérieur). Les graines infestées ont été placées en élevage individuel en tubes eppendorf disposés sous abri extérieur.

Les variables mesurées ont donc été i) le pourcentage d'attaque global et spécifique des galbules par année et par site ; ii) le nombre moyen de graines saines, vides et infestées selon l'état sanitaire du galbule.

Estimation de l'impact des arthropodes sur le potentiel de régénération à Rié avant et après l'incendie

Afin d'apprécier l'impact des prédateurs de graines sur le potentiel de régénération, il importait de suivre le devenir d'une génération de galbules depuis leur initiation jusqu'à la maturité des graines. Pour cela, on a repris un protocole déjà expérimenté avec succès sur Cyprès (Roques *et al.* 1999). En Mai 2003, 15 arbres fructifères ont donc été tirés au hasard sur une carte du peuplement, et sur chaque arbre on a sélectionné 2 branches. Chaque branche a été marquée avec un numéro INRA et la totalité des galbules des différentes années ont été comptés et cartographiés par la mesure de leur distance à l'apex de la branche. On a ainsi relevé un total de 769 galbules mûrs de 2^{ème} année (soit 25.6 en moyenne par branche) et 674 galbules de 1^{ère} année en développement (soit 22.5 en moyenne par branche) avec de larges variations selon les arbres (Figure 1). A cette occasion, tous les galbules de 2^{ème} année ont été récoltés, puis analysés et leur contenu passé à la radiographie alors que les galbules de 1^{ère} année ont été laissés sur place. Il était prévu de suivre le développement de ces derniers, et l'apparition de dégâts, au travers de relevés réguliers tous les 2 mois jusqu'à leur maturité en 2004. Mais, l'incendie d'Août 2003 a largement compromis ce dispositif. Seulement 8 branches sont restées apparemment indemnes, 10 autres ont présenté un roussissement du feuillage supérieur à 25%, et 12 branches, positionnées sur des arbres entièrement calcinées, ont disparu. L'ensemble des galbules survivants a été collecté en Juin 2004, et leurs graines analysées comme précédemment.

Les variables mesurées ont été i) le pourcentage de galbules disparus par période de relevé ; ii) le pourcentage d'attaque global et spécifique des galbules ; et iii) le nombre de graines saines susceptibles d'être finalement disséminées rapporté au nombre de fleurs femelles initiales. Cette dernière valeur constitue un indice permettant de comparer le potentiel de régénération entre peuplements (El Alaoui El Fels *et al.*, 1999a).

Après l'incendie, en 2004 et 2005, on a cherché à répéter l'expérience de suivi dans le temps du devenir des galbules sur branches marquées. Cependant, il n'y a pas eu de floraison en 2004. En Mai 2005, 10 arbres survivants florifères ont pu être utilisés, avec un total de 553 galbules de 1^{ère} année qui ont été régulièrement suivis jusqu'à l'hiver 2005-2006.

RESULTATS ET DISCUSSION

Composition de la faune associée au Thurifère dans les Pyrénées Françaises

Au total, seulement 3 espèces, un acarien et deux insectes, ont été identifiées dans les galbules de Genévrier thurifère des Pyrénées (Tableau 1). L'acarien, *Trisetacus quadrisetus* Thomas (Acarina : Eriyophiidae) était déjà connu sur Genévrier thurifère dans les Alpes (St- Crépin ; Roques *et al.*, 1984) et au Maroc (El Alaoui *et al.*, 1999a) mais aussi sur les autres espèces de genévrier alpino- nordiques (*J. communis* L., *J. sabina* L.) comme méditerranéens (*J. oxycedrus* L., *J. phoenicea* L.) (Roques, 1983). Ces acariens se développent dans les graines et leurs dégâts, spécifiques, consistent en une hypertrophie caractéristique des graines qui ressortent de manière très visible des galbules. Les acariens pondent dans les galbules lors de la première année de développement, puis les larves pénètrent dans la graine. L'ensemble du développement jusqu'à l'adulte s'effectue ensuite dans le même galbule. Plusieurs centaines d'acariens peuvent être présents dans une même graine, dont le contenu est alors totalement desséché. L'acarien, important à Rié, ne semblait pas présent au Quié de Lujat et à St Béat, au moins en 2002 (Tableau 1). On l'a aussi trouvé sur *J. communis* à Rié.

La deuxième espèce est un chalcidien des graines, *Megastigmus thuriferana* Roques et El Alaoui (Hymenoptera : Torymidae), qui vient d'être identifié comme spécifique du Thurifère (Auger-Rozenberg *et al.*, 2006). L'ensemble de son développement se déroule également à l'intérieur d'une graine, la femelle pondant directement dans la graine à l'aide de son ovipositeur. La larve consomme la totalité de l'endosperme et de l'embryon, avant de se nymphoser. L'émergence de l'adulte est signalée par un trou de sortie circulaire, directement relié à la graine sous-jacente, et visible sur la surface du galbule. Avant que n'existe ce trou de sortie, aucun moyen autre qu'une radiographie des graines n'existe pour apprécier la présence du chalcidien. Cet insecte est également présent à St Crépin (Roques *et al.*, 1984, sous le nom de *M. amicorum*), au Maroc (El Alaoui El Fels & Roques, 2006) et en Espagne (El Alaoui El Fels *et al.*, 1999b). Dans les Pyrénées, il est présent sur l'ensemble des sites étudiés, pouvant attaquer jusqu'à 40% des galbules (Tableau 1). Malgré une importante prospection, on ne l'a pas trouvé dans les galbules de *J. communis* à Rié.

La troisième espèce est une cochenille cosmopolite, *Carulapsis juniperi* (Bouché) (Homoptera : Diaspididae), qui a été déjà observée sur toutes les espèces de genévriers. L'insecte est visible sous la forme de coques blanches situées sur la surface externe des galbules. L'insecte insère son stylet à travers les tissus pour se nourrir aux dépens du parenchyme. La cochenille n'a été observée qu'à Rié et Bezins- Garraux mais on l'a aussi trouvée sur *J. communis* à Rié.

Des différences notables existent entre sites, au plan qualitatif comme quantitatif, mais aussi entre années sur le site de Rié (Tableau 1). La faune de Haute-Ariège n'est représentée que par une seule espèce au Quié de Lujat et deux espèces à Vèbre. Cette faune est notablement appauvrie par rapport aux 5 espèces observées dans les Alpes du Sud (Roques *et al.*, 1984) et en Espagne (El Alaoui El Fels *et al.*, 1999b), et encore plus par rapport à celle du Maroc (9 espèces ; El Alaoui El Fels & Roques, 2006). Si le chalcidien et l'acarien observés dans les Pyrénées sont aussi des composantes importantes de la faune dans le reste de l'aire du Thurifère, on doit noter que tous les insectes s'attaquant en endophytes aux tissus du galbule sont absents des Pyrénées. Les Lépidoptères (*Pammene juniperana* [Millière]- Tortricidae ; *Argyresthia* spp. [Staudinger]- Yponomeutidae), qui sont dominants sur de nombreux autres sites (Espagne, Moyen- Atlas, Corse ; Roques, 1983 ; El Alaoui *et al.* 1999a, b), comme le Curculionidae *Nanodiscus transversus* Aubé, ou encore le Diptère Cecidomyiidae *Contarinia* sp. n'ont ainsi jamais été

trouvés lors de nos récoltes. De fait, ne subsistent que les espèces spécialisées dans l'attaque des graines, si l'on excepte *Carulapsis* qui reste marginale. Cela pourrait indiquer une séparation assez ancienne des faunes, qui aurait été réduite à sa composante la plus spécialisée dans les Pyrénées lors de la fragmentation de l'aire du Thurifère, et n'aurait pas encore été recolonisée par des espèces moins spécialisées s'attaquant aux tissus.

Impact des arthropodes sur la qualité sanitaire des graines

Le Tableau 2 présente le résultat des analyses radiographiques des graines extraites des galbules collectés à maturité. Le nombre total de graines par galbule n'est affecté par aucun ravageur (ANOVA [analyse de la variance] ; $F_{3,74} = 0.75$, $P = 0.5278$). En revanche, le nombre moyen de graines saines diminue significativement dès lors que le galbule est attaqué par l'acarien ou le chalcidien (ANOVA ; $F_{3,74} = 3.19$, $P = 0.028$, suivie d'un test de Tukey de comparaison des moyennes. Alors que certains galbules présentent plus de 10 cochenilles, celles-ci n'ont pas d'effet direct et ne semblent pas avoir d'effet indirect sur la qualité des graines. En effet, le nombre de graines pleines n'est pas significativement différent entre les galbules sains et les galbules avec cochenilles (ANOVA ; $F_{3,74} = 0.40$; $P = 0.7525$).

Les mêmes résultats ont été obtenus en 2003. Le nombre moyen de graines par galbule observé dans les galbules sains de 2^{ème} année (2.95 ± 0.19) n'était pas significativement différent de celui observé en 2002, le maximum noté étant de 6 graines dans un galbule. Cette valeur autour de 3 en moyenne semble donc être une caractéristique du peuplement de Rié. Au final, ces résultats permettent d'estimer qu'il y a en général un peu moins d'une graine susceptible de germer par galbule non attaqué à Rié, et environ une graine pour quatre galbules attaqués par les ravageurs.

Estimation de l'impact des arthropodes sur le potentiel de régénération à Rié

Le suivi des branches marquées a conduit aux résultats indiqués dans la Figure 1. L'analyse des 769 galbules de 2^{ème} année récoltés avant l'incendie, en Juillet 2003, montre que le pourcentage d'attaque total d'attaque des galbules varie significativement entre arbres (Figure 1a), suggérant des différences de susceptibilité qui avaient déjà été notées pour *Trisetacus juniperinus* dans un dispositif clonal de cyprés (Guido *et al.*, 1995). En conséquence, il existe une forte variation de la disponibilité finale en graines pleines susceptibles d'être disséminées au niveau de chaque arbre, qui variait de 0 à 228 par branche (Figure 1b).

La récolte finale opérée en Juin 2004, après l'incendie, a permis de récupérer 424 galbules matures sur les 18 branches non entièrement calcinées. Ce chiffre est à mettre en regard avec les 512 galbules initiaux portés par ces mêmes branches, soit une diminution somme toute limitée de 17.2%. Cependant, la majorité des galbules présentaient une couleur révélatrice d'un mauvais état sanitaire au lieu d'une couleur verte caractéristique. Les galbules de couleur bordeaux ne présentaient pas de dégâts mais ne contenaient que des graines vides alors les galbules bleu/violet étaient tous attaqués par des acarions, leurs graines étant également vides (Figure 2). En revanche, quelques graines pleines subsistaient dans les galbules noirs et marron-jaune. A l'ouverture, les galbules marron-jaune différent des galbules bordeaux par la couleur encore relativement verte des tissus internes, totalement desséchés dans l'autre cas. On peut cependant s'interroger sur les capacités germinatives réelles de ces graines. L'analyse comparative de galbules collectés sur des arbres témoins éloignés de l'incendie a montré une diminution significative des dimensions (longueur, largeur, volume- données non montrées) des galbules de couleur atypique. Il semble donc que le feu a stoppé la croissance des galbules même s'il ne les a pas directement détruits, et les galbules marron/jaune et bordeaux pourraient correspondre à des

dégrés différents d'exposition au feu. Les galbules de couleur extérieure noire étaient cependant significativement plus volumineux que ceux présentant les autres couleurs, et quelques-uns contenaient des larves de *Megastigmus*.

Pour ces galbules collectés en 2004, l'analyse radiographique a révélé un total de 106 graines pleines pour un nombre de départ de 512 galbules de 1^{ère} année sur ces mêmes branches, soit 0.21 graines éventuellement susceptibles de germer par galbule de départ. La perte directement imputable à l'action des arthropodes (dégâts visibles) a été chiffrée à 294 graines pour *Trisetacus* et seulement 14 graines pour *Megastigmus*. En extrapolant le nombre moyen de graines potentielles à 2.78-2.95 (valeurs 2002-2003), on peut estimer que la diminution globale est donc de l'ordre de 92% mais ces chiffres doivent évidemment être tempérés par l'incertitude sur l'action respective de l'incendie et des prédateurs. Il n'en reste pas moins que cette valeur est de l'ordre de celle observée dans le Haut-Atlas Marocain où les arthropodes, acariens principalement, limitent à 0.13 le nombre moyen de graines pleines par galbule de Thurifère (El Alaoui El Fels *et al.*, 1999a).

Impact du feu sur les arthropodes prédateurs des graines

Parmi les galbules collectés en 2004, 100% de ceux collectés sur des arbres touchés par le feu à plus de 25% ne contenaient que des insectes et acariens morts. En revanche, sur les arbres moins touchés par le feu 32 galbules attaqués par les acariens présentaient des individus apparemment survivants, 4 contenaient des larves vivantes de *Megastigmus* et 4 des cochenilles vivantes. Ce qui indique qu'au moins une partie des populations d'insectes et d'acariens inféodés au Thurifère a survécu à l'incendie et a pu se développer jusqu'à terme dans les galbules de 2^{ème} année avec une émergence imaginale en 2004, alors que l'incendie est survenu lors d'une période où ces espèces sont à des stades non mobiles (El Alaoui El Fels & Roques, 2006). Cependant, toutes leurs populations ont largement diminué entre 2003 et 2004 (Tableau 1).

Comme conséquence vraisemblable du feu, aucun arbre n'a présenté de floraison femelle en 2004 sur le peuplement de Rié. Les espèces considérées ne présentant pas de diapause prolongée permettant un échappement temporel (Turgeon *et al.* 1994), l'absence d'hôtes dans le peuplement de Rié n'a pu se traduire que par l'extinction, ou pour les uns totalement dépendants de la ressource l'émigration vers les sites satellites (*Megastigmus*), et pour les autres par le passage possible sur un hôte alternatif (*J. communis* pour *Trisetacus* et *Carulaspis*). En contraste, une floraison abondante a été observée en 2005 sur le site de Rié, avec une moyenne d'environ 250 galbules de 1^{ère} année par arbre. Quasiment aucune attaque n'a été observée sur ces galbules (Tableau 1) alors que les sites satellites étaient faiblement attaqués par les deux espèces principales.

Il est donc vraisemblable qu'un nombre important de graines pleines va arriver à maturité en 2006 et pourrait se traduire par une germination conséquente, sans que l'on ne puisse cependant exclure un effet différé du feu sur leur physiologie. L'incendie pourrait donc constituer un élément décisif du processus de régénération naturelle en cassant l'équilibre existant entre populations de ravageurs et de galbules, où en général la majorité des graines sont consommées. Cette action du feu peut donc correspondre à une stratégie de régénération permettant de renouveler le peuplement en minimisant l'impact des insectes associés à la prédation sur graines. Une sorte de « fenêtre » de régénération serait ainsi ouverte, permettant d'expliquer l'existence de peuplements relativement équiennes. Un tel effet du feu n'a encore jamais été observé, ni postulé bien qu'Andersen (1987) ait indiqué que la libération massive de graines après le feu chez *Eucalyptus baxteri* (Benth.) Maiden & Blakely ex J. Black et *Casuarina pusilla* Macklin. en

Australie pouvaient entraîner la satiété des prédateurs et conduire à un important recrutement de plantules. La plupart des travaux concernant les relations insectes-feu-régénération indiquent en général des relations négatives. Ordonez & Retana (2004) ont ainsi montré que les fourmis prédatrices des graines de *Pinus nigra* Arnold pouvaient limiter le recrutement après l'incendie tandis que ont montré que les insectes défoliateurs pouvaient jouer un rôle négatif sur la régénération de *Picea mariana* Britton., Stern & Poggenb. en limitant la banque de graines avant l'incendie (Simard & Payette, 2005). Pour avancer dans la compréhension des phénomènes de régénération du Thurifère, il semble donc important de tester l'hypothèse énoncée ci-dessus en surveillant simultanément l'évolution des niveaux de populations des ravageurs et le recrutement des jeunes plantules dans les années à venir à Rié .

Remerciements

Nous remercions le Conservatoire botanique pyrénéen, et notamment J. Cambecèdes, pour l'aide apportée, ainsi que J.P. Raimbault et P. Lorme (INRA Orléans) pour les radiographies et élevages de graines infestées. Cette étude a été financée par l'Etat Français (DIREN Midi-Pyrénées) et le Conseil Régional de Midi-Pyrénées.

BIBLIOGRAPHIE

ANDERSEN, A. N.; 1987. Effects of seed predation by ants on seedling densities at a woodland site in SE Australia. *Oikos* 48: 171-174

AUGER- ROZENBERG, M.A.; KERDELHUÉ, C.; MAGNOUX, E.; TURGEON, J.; RASPLUS, J.Y. & ROQUES, A.; 2006. Molecular phylogeny of conifer seed chalcids in the genus *Megastigmus* (Hymenoptera: Torymidae) and evolution of host-plant use. *Syst. Entomol.* 31: 47-64.

BATTISTI, A.; CANTINI, R.; ROUAULT, G. & ROQUES, A. ; 2003. Serotinous cones of *Cupressus sempervirens* provide viable seeds in spite of high seed predation. *Ann. For. Sci.* 60: 781-787.

BATTISTI, A.; ROQUES, A.; COLOMBARI, F.; FRIGIMELICA, G. & GUIDO, M.; 1999. Multiple insect-fungus association in the cypress seed cone. *Naturwissenschaften.* 86: 479-483.

EL ALAOUI EL FELS, M.A.; ROQUES, A. & BOUMEZZOUGH, A.; 1999a. Les arthropodes liés aux galbules et aux graines du genévrier thurifère, *Juniperus thurifera* L, dans les Atlas Marocains. *Ecol. Medit.* 25: 95-110.

EL ALAOUI EL FELS, M. A.; BLASCO- ZUMETTA, J.; BIGOT, L.; BOUMEZZOUGH, A. & ROQUES, A.; 1999b. Contribution à la diversité faunistique dans deux peuplements à genévrier Thurifère au Maroc (Tizrag) et en Espagne (Monegros). In : Association Marocaine de Biodiversité (ed.), Journées « *Etat de l'environnement et biodiversité des systèmes terrestres* ». Univ. Cadi Ayyad. Marrakech. Non paginé.

EL ALAOUI EL FELS, M.A. & ROQUES, A.; 2006. Guide d'identification franco- arabe des ravageurs des cônes et des graines des résineux autochtones du Haut Atlas Occidental. *Naturalia Marocana*, sous presse.

EL HASSANI, A. & MESSAOUDI, J. ; 1987. Les ravageurs des cônes et graines de conifères et leur distribution au Maroc. In: Roques, A. (ed.), *Proceedings 2nd Cone and Seed Insects IUFRO Working Party Conference* : 5- 14. INRA. Versailles.

GUIDO, M.; BATTISTI, A. & ROQUES, A.; 1995. A contribution to the study of cone and seed pests of the evergreen cypress (*Cupressus sempervirens* L.) in Italy. *Redia* 78: 211- 227.

GUIDO, M.; BATTISTI, A. & ROQUES, A.; 1998. Mortality factors affecting cones and seeds of the evergreen cypress, *Cupressus sempervirens*, in the predispersal phase. In: Battisti, A.

& Turgeon, J.J. (eds.), *Proc. 5th Cone and Seed Insects IUFRO Working Party Conf.*): 209-214. Inst. Agric. Entomol. Padova.

ORDONEZ, J. L. & RETANA, J.; 2004. Early reduction of post-fire recruitment of *Pinus nigra* by post-dispersal seed predation in different time-since-fire habitats. *Ecography* 27: 449-458

ROQUES, A. ; 1983. *Les insectes ravageurs des cônes et graines de conifères en France*. INRA. Versailles. 135 pp.

ROQUES A., RAIMBAULT J. P. & GOUSSARD, F. ; 1984. La colonisation des cônes et galbules des genévriers méditerranéens par les insectes et acariens et son influence sur les possibilités de régénération naturelle de ces essences. *Ecol. Medit.* 10 : 147-169.

ROQUES, A. ; MARKALAS, S. ; ROUX, G. ; PAN, Y.Z. ; SUN, J.H. & RAIMBAULT, J.P. ; 1999. Impact of insects damaging seed cones of cypress, *Cupressus sempervirens*, in natural stands and plantations of South-eastern Europe. *Ann. For. Sci.* 56: 167-177.

ROQUES, A. & EL ALAOUI EL FELS, M.A.; 2005. Overview of the arthropod fauna that colonises seed cones in the Mediterranean region. In: Lieutier, F. & Ghaioule D. (eds.), *Entomological Research in Mediterranean forest ecosystems*: 59-78. INRA. Versailles.

ROUAULT, G. ; CANTINI, R. ; BATTISTI, A. & ROQUES, A. ; 2005. Geographic distribution and ecology of two species of *Orsillus* (Hemiptera: Lygaeidae) associated with cones of native and introduced Cupressaceae in Europe and the Mediterranean Basin. *Can. Entomol.* 137: 450- 470.

SIMARD, M. & PAYETTE, S.; 2005. Reduction of black spruce seed bank by spruce budworm infestation compromises post-fire stand regeneration. *Can. J. For. Res.* 35: 1686-1696.

TURGEON, J. ; ROQUES, A. & DE GROOT, P. ; 1994. Insect fauna of coniferous seed cones: diversity, host plant interactions, impact and management. *Ann. Rev. Entomol.* 39: 175-208.

Tableau 1. Faune d'arthropodes associée aux galbules de 1^{ère} (1^{ère} A) et 2^{ème} année (2^{ème} A) de *Juniperus thurifera* dans les Pyrénées françaises et leur pourcentage d'attaque entre 2002 et 2005

Site	Nb galbules récoltés		<i>Megastigmus</i> (%)		<i>Trisetacus</i> (%)		<i>Carulaspis</i> (%)	
	1 ^{ère} A	2 ^{ème} A	1 ^{ère} A	2 ^{ème} A	1 ^{ère} A	2 ^{ème} A	1 ^{ère} A	2 ^{ème} A
Rié 2002	50	175	0	40.0	4.0	5.0	44.0	41.7
Rié 2003	150	300	0	5.3	25.4	12.0	2.5	2.0
Rié 2004	0	150	*	2.0	*	19.0	*	2.0
Rié 2005	500	0	0	*	0.2	*	12.5	*
St Béat 2002	0	154	*	4.2	*	0.0	*	0.0
Bezins-Garraux 2002	0	135	*	13.5	*	0.7	*	2.9
Bezins-Garraux 2005	25	43	0	6.1	0.4	2.3	12.0	13.9
Vèbre 2002	0	21	*	4.8	*	0.7	*	0.0
Quié de Lujat2002	0	35	*	2.9	*	0.0	*	0.0

Tableau 2. Impact spécifique des différents ravageurs sur le nombre de graines de *Juniperus thurifera* et leur qualité sanitaire à Rié en 2002.

Type de galbule	Total graines	Graines saines	Graines Vides	Graines infestées
Sain	2.78 (0.23)a	0.78 (0.18)a	2.00(0.24)a	0.00 (0.00)a
<i>Carulaspis</i>	2.46 (0.27)a	0.92 (0.33)a	1.54 (0.27)a	0.00 (0.00)a
<i>Trisetacus</i>	3.00 (0.71)a	0.25 (0.25)b	0.50 (0.29)b	2.25 (0.63)b
<i>Megastigmus</i>	2.47 (0.14)a	0.26 (0.08)b	1.06 (0.16)b	1.15 (0.07)b

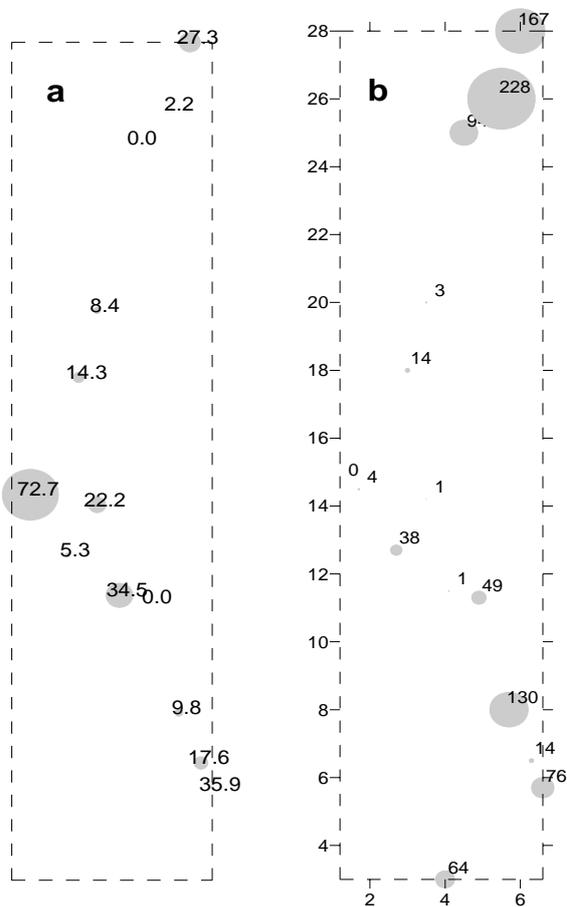


Figure 1: Position relative des Thurifères surveillés à Rié (échelles en mètres sur le graphe de droite) et comparaison du pourcentage global d'attaque des galbules de 2^{ème} année en Juillet 2003 (a) et des graines pleines associées par branche surveillée (b). La taille des cercles est proportionnelle au pourcentage (taille maximale 100%- figure 1a) et au nombre de graines (taille maximale 228 graines).

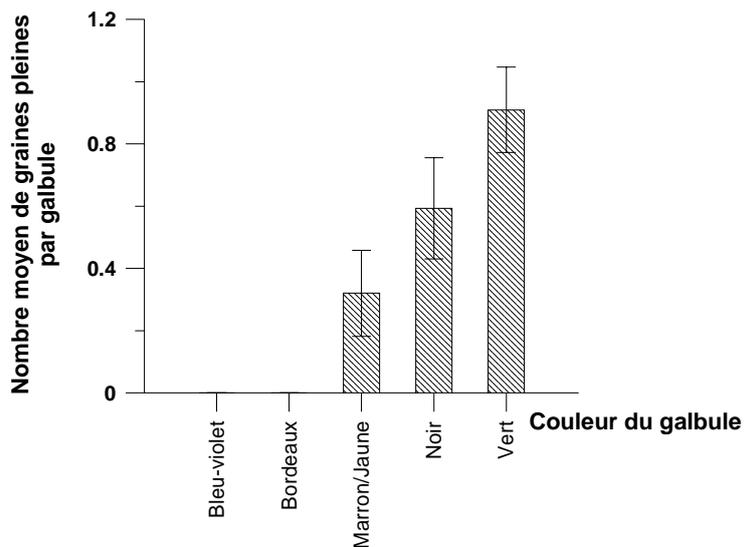


Figure 2: Variation du contenu en graines pleines du galbule de Thurifère en fonction de sa couleur extérieure en 2004 après l'incendie à Rié.