INRA Centre d'Avignon

Unité de Recherches Forestières Méditerranéennes UR 629

Mémoire de Master 1 : Systèmes Ecologiques

ETUDE DE LA VARIABILITE DE PRODUCTION DE CONES ET DE SACS POLLINIQUES CHEZ LE SAPIN PECTINE (*Abies alba* Mill.)

CAILLERET Maxime

Maître de stage : Hendrik DAVI

Année universitaire : 2005/2006

Université de Bordeaux 1

UFR des Sciences Biologiques

Remerciements

Avant d'exposer mon travail, je tiens tout d'abord à remercier tous les chercheurs et techniciens de l'unité des Recherches Forestières Méditerranéennes de l'INRA d'Avignon pur leur accueil et plus particulièrement ceux de l'équipe qui m'a accueilli : Norbert TURION, Nicolas MARIOTTE, William BRUNETTO, Florence COURDIER, Hendrik DAVI et Philippe DREYFUS, l'encadrant.

Ainsi les journées passées sur le Mont Ventoux et à Lure en leur compagnie ont été de vrais moments de bonheur et d'apprentissage. Dans cette superbe région où la végétation est très diversifiée (méditerranéenne et montagnarde), ils n'ont pas hésité à me faire partager leur bonne humeur et leurs multiples connaissances, notamment en botanique et sur le fonctionnement des végétaux.

Je n'oublie pas non plus les stagiaires présents au sein de cette unité : Annabelle AMM et Johann LECOCQ avec qui les discussions autour d'un thé ou d'un verre furent très enrichissantes.

Enfin, pour finir je souhaite remercier mon maître de stage Hendrik, qui m'a accordé sa confiance durant ces 2 mois de mesures et d'analyses et dont l'aide pendant la rédaction de ce mémoire m'a été très bénéfique. De plus sa disponibilité au bureau mais aussi en dehors m'a permis de découvrir la ville d'Avignon (et ses bonnes adresses) et de m'y adapter très rapidement.

I] Introduction *1*

2] Matériel et Méthodes *3*

2.1 L'Espèce étudiée *: Abies alba* **3**

2.2 Sites d'étude **3**

2.3 Relations entre la production de cônes et le climat **3**

2.4 La production de chatons mâles. **5**

2.5 Analyse des rachis. **5**

3] Résultats *6*

3.1 Relations entre la production de cônes et le climat. **6**

3.2 La production de cônes mâles **7**

3.3 Analyse des rachis **8**

4] Discussion *10*

Conclusion *11*

I] Introduction

La production de graines des arbres en quantité et en qualité est déterminante en ce qui concerne la colonisation de nouveaux milieux mais aussi la survie à long terme de la population. Les aspects de la **dynamique** spatiale mais aussi temporelle de chaque espèce peuvent s'expliquer les modalités de leur reproduction (Sagnard, 2001). De plus, il est essentiel de connaître cette production car elle influe aussi sur le **fonctionnement** de l'écosystème. Elle peut être ainsi assimilée à un puits de carbone non négligeable, et constitue un flux de matière important. Par exemple, l'augmentation du nombre de cônes par arbre peut entraîner une baisse de la croissance radiale annuelle (Fenner, 1985).

Les modèles climatiques prévoient d'ici 2100 et selon les scénarios une augmentation de température de 1,4 à 5,8°C, associée à des augmentations de 5 à 20 % des précipitations annuelles, mais une probable augmentation de l'intensité des sécheresses estivales dans certaines régions (IPCC, 2001). Le fonctionnement et la dynamique de chaque écosystème vont évoluer en réponse au climat. Parallèlement, la production de graines changera aussi, mais probablement de manière différentiée selon les espèces. L'étude de cette thématique semble donc essentielle afin de pouvoir prédire les modifications de régénération des espèces, et plus globalement, des changements de dynamique des écosystèmes.

Quelques travaux ont portées sur l'aspect spatial de la dispersion du sapin ainsi que sur sa régénération mais peu sur les phénomènes en amont, à savoir la production de gamètes. (Dobrowolska, 1998 ; Sagnard, 2001 ; Robakowski & al., 2004). Nous avons étudié cette question dans le cadre de l'étude de la dynamique spatiale et temporelle du sapin pectiné (*Abies alba*) sur le Mont Ventoux où du sapin et du hêtre (*Fagus sylvatica*) recolonise un milieu fermé pionnier (pinèdes). Trois études distinctes y ont été menées mais elles convergent toutes vers une thématique globale portant sur l'analyse des variations de la reproduction du sapin.

1/ La première est une analyse de la production sur 4 ans des cônes femelles de 683 sapins et sa mise en relation avec les conditions climatiques. La stratégie de chaque individu étant programmée génétiquement, elle détermine quelle fraction va être allouée à la reproduction dans un environnement donné (Fenner, 1985). On note toutefois de fortes variations interannuelles dues aux facteurs météorologiques, mais aussi à la présence d'une périodicité

dans cette production de graines. Sarvas (1957) a trouvé pour l'épicéa que les variations de récolte de graines annuelles révèlent une périodicité de 12-13 ans. Parmi les paramètres climatiques, la température semble jouer un rôle plus important que les précipitations pour expliquer les variations de floraison mâle et femelle (Szabadi, 2003). Selon certains auteurs, elle est même considérée comme ayant un rôle crucial dans la production de graines et leur maturation dans les zones polaires (Sarvas, 1957), ce milieu pouvant être apparenté au domaine montagnard.

2/ La seconde étude est centrée sur la production des organes reproducteurs mâles : les chatons ou cônes mâles. Notre objectif est d'analyser la production de sacs polliniques sur un gradient altitudinal. Cette observation s'est accompagnée de différentes mesures sur les sapins étudiés afin de déterminer l'effet des facteurs entrants en jeu tel que la hauteur de l'arbre ou la densité locale. Les résultats issus de cette étude sur un gradient altitudinal (variabilité dans l'espace) donneront des indications quant à la dynamique temporelle intégrant le changement climatique : en effet en descendant en altitude, on mime notamment une hausse des températures.

3/ Le dernier travail concerne un aspect plus méthodologique. Il a consisté à étudier la relation entre le nombre de rachis présents sur le sapin (axes des cônes) avec sa production de cônes femelles des 4 années précédentes. La première étude que nous avons effectué nécessitant une méthodologie assez longue (comptage des cônes tous les ans), notre objectif est de savoir si en comptant les rachis présents sur un sapin, on peut savoir si, en moyenne, il en produit beaucoup ou non. Et plus globalement ceci pourra nous permettre de savoir si un site est très productif en graines ou non sans nécessairement posséder un jeu de données très ancien.

Ainsi ces trois études ont pour objectif global de déterminer les facteurs expliquant la variabilité spatiale et la dynamique temporelle de l'investissement dans la reproduction du sapin afin de mieux prévoir sa dynamique dans le cadre des changements climatiques.

2] Matériel et Méthodes

2.1 L'Espèce étudiée *: Abies alba*

Le sapin pectiné (*Abies alba*) est un conifère de la famille des pinacés, du genre Abies, qui peut atteindre 40 à 50 mètres de hauteur. C'est une espèce monoïque : chaque arbre possède des fleurs femelles et des fleurs mâles, ces inflorescences étant situées sur le rameau créé l'année précédente (n-1). Le développement des bourgeons reproductifs dure ainsi un peu plus d'un an, contrairement à d'autres Pinacés où la croissance des cônes (organe femelle) peut durer 2 ans (*Cedrus*) voire 3 (*Pinus*). De fin avril à mi-mai de l'année en cours (n), le pollen est dispersé par les chatons mâles (ovoïde d'1 cm de long de couleur jaune ou brune) et réceptionnés par les cônes. Cette date varie selon les conditions météorologiques mais aussi entre les individus (Szabadi, 2003). Les cônes sont ainsi fertilisés et les graines vont pouvoir mûrir pour être enfin dispersées lors de l'éclatement du cône au mois d'Octobre.

Abies alba est une espèce medio-européenne qui exige une forte humidité relative de l'air (les sécheresses tardives freinant son développement), on le retrouve ainsi en France dans toutes les régions montagneuses (Pyrénées, Vosges, Jura, Massif-Central, Alpes), et plus précisément au niveau de l'étage montagnard (900-1600) en versant Nord. C'est actuellement une espèce en expansion en France suite à l'abandon du pastoralisme et à la maturation sylvigénétique.

2.2 Sites d'étude.

La majeure partie des sapins étudiés est localisée sur le Mont Ventoux. Ce massif montagneux provençal culminant à 1909 m est un anticlinal orienté Est – Ouest situé au début des Pré-Alpes sèches. Le Mont Ventoux a été un lieu de la reforestation et de la lutte contre l'érosion (programme RTM : Restauration des Terrains de Montagne), induite au siècle dernier par la surexploitation pastorale et forestière. Ainsi les forêts qui le recouvrent actuellement sont pour la plupart pionnières (Pineraies - Cédraies), et sont la scène de la recolonisation des espèces originelles (sapin et hêtre notamment). Nous avons aussi pris en compte quelques sapins situés sur la montagne de Lure. Ce massif à l'Est du Ventoux s'apparente à celui-ci (même morphologie, mêmes types de végétation) et a plus ou moins un passé identique.

2.3 Relations entre la production de cônes et le climat

Le jeu de données utilisé est issu de la station météo des Tournières, localisée dans une clairière sur le versant sud du Mont Ventoux à une altitude proche de 1200 m. Cette station mesure toutes les heures, depuis Mai 1999: la température, le rayonnement global, la pluviométrie, l'humidité relative de l'air ainsi que la vitesse du vent. Parallèlement à ceci, nous avons utilisé une base de données existante de comptage des cônes femelles sur 683 sapins de 2002 à 2005. Ceux-ci sont essentiellement localisés sur la parcelle 34 (cf figure 1), sur la montagne de Lure, les autres étant plus ou moins disséminés sur le versant Nord du Ventoux.

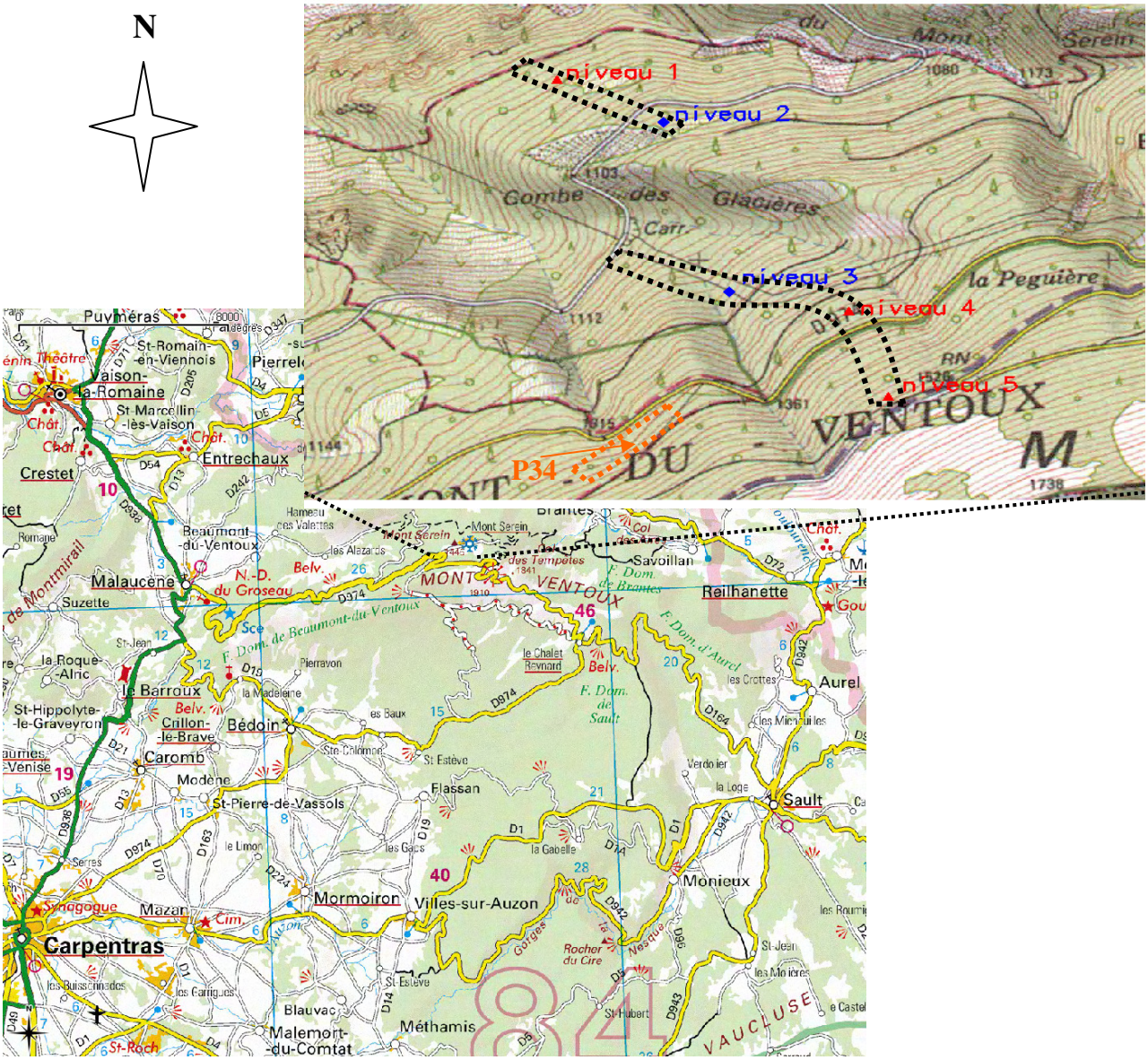


Figure 1 : *Localisation des sites étudiés sur le Mont Ventoux.*

2.4 La production de chatons mâles. (4 journées de terrain)

Cette étude a nécessité deux types de relevés :

1/ L'objectif du premier relevé, effectué début mai, est d'estimer la quantité de cônes mâles produits par le sapin en 2006 et d'étudier si elle évolue ou non selon le gradient altitudinal. Sur 65 arbres pris sur le transect situé dans l'étage montagnard d'Ubac du Ventoux (900-1600 m), nous avons évalué l'abondance des sacs polliniques pour chaque individu en décomposant l'arbre en 4 zones distinctes : Amont / Aval et Moitié haute du houppier / Moitié basse.

Ces 4 zones sont analysées visuellement et classées selon 5 classes majeures (de 0 à 4) selon la part de cônes males produits en 2006 par rapport au feuillage du rameau 2005 (la floraison mâle s'effectuant sur le rameau crée l'année précédente), c'est-à-dire la proportion de la couleur jaune ou brune, selon la maturité, et du vert.

Les 5 catégories sont définies comme tel :

- 0 : Zone sans fructification
- 1 : La proportion de sacs polliniques est comprise entre 0 et 25%
- 2 : Abondance comprise entre 25 et 50%
- 3 : Abondance comprise entre 50 et 75%
- 4 : Abondance comprise entre 75 et 100%

Chaque sapin a été pris en photographie (*Nikon Coolpix 5000*) afin de visualiser son allure générale et la structure de son houppier, mais aussi pour mieux définir les classes d'abondance des cônes mâles et pour approuver ou réfuter nos choix.

2/ La deuxième partie de cette étude a consistée à mesurer la hauteur et la base du houppier de ces sapins ainsi que la surface terrière du peuplement environnant (le statut de chaque arbre et leur circonférence étant déjà connus). Les hauteurs sont mesurées avec un dendromètre à visée : le VERTEX. La densité du peuplement autour de chaque arbre, et donc la compétition auquel il est soumis, est estimée par la surface terrière du peuplement environnant en utilisant le relascope de Bitterlich. Le long de ce gradient, une caractérisation des sols de chaque parcelle sera réalisée à *posteriori*. Pour analyser statistiquement les données, j'ai utilisé la version 2.3.0 du logiciel R.

2.5 Analyse des rachis. (3 journées de terrain)

Après l'éclatement des cônes femelles en Automne, seul l'axe du cône (rachis) reste en place sur le rameau du sapin alors que les graines sont dispersées dans l'environnement. Très

résistant, celui-ci reste ensuite en place quelques années, selon les conditions climatiques. J'ai donc compté le nombre de rachis présents sur chaque arbre dont la production de cônes femelles a été quantifiée les années précédentes. Cette étude a été réalisée sur 43 sapins que j'ai sélectionné selon leurs différences de production inter-annuelle, c'est-à-dire que j'ai plus particulièrement pris en compte les sapins qui ont produit seulement certaines années.
Ceux-ci sont localisés dans 3 endroits différents :

- 13 sont situés sur le versant nord de la Montagne de Lure
- 19 sont localisés dans la parcelle 34
- Les 11 autres sont disséminés sur la partie Nord du Ventoux (Contrat …)

Cette quantification a été réalisée à la jumelle. Les cicatrices des fleurs restant visibles jusqu'à 30 ans environ après floraison (Szabadi, 2003), nous n'avons pris en compte que les rachis intacts, c'est-à-dire ceux qui n'ont pas été cassés ou très peu.

3] Résultats

3.1 Relations entre la production de cônes et le climat.

En analysant les graphiques des différents paramètres météorologiques que nous possédons, nous pouvons noter que les deux années de forte production de cônes 2002 et 2004 (Table 1) concordent bien avec les fortes températures des années précédentes en Mai – Juin, en 2001 et 2003 (Figure 2). L'effet de la température est donc le facteur le plus visible même si la forte de production de 2004 peut être aussi mise en relation avec la sécheresse de l'air de l'été 2003 (l'humidité relative de l'air durant la période Mai – Août en 2003 est de 49% alors qu'elle est de 60% en moyenne pendant le même laps de temps sur les autres années). Par contre au niveau de l'intensité lumineuse et des précipitations, aucun enseignement n'a pu ressortir de notre étude.

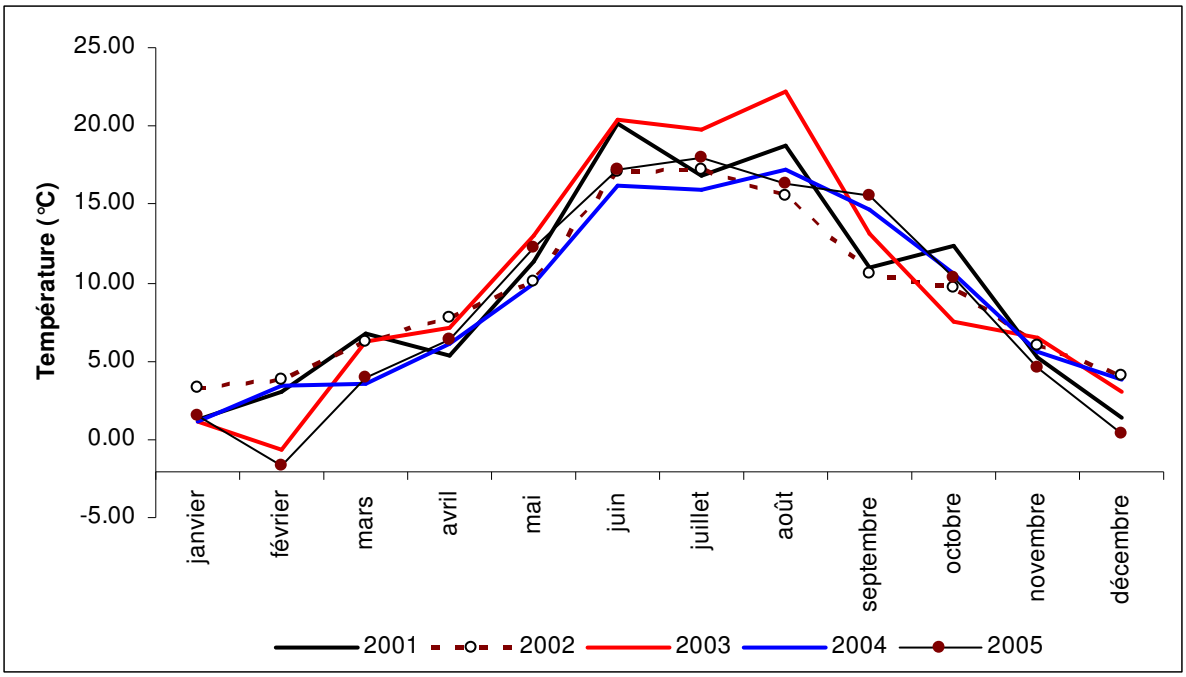


Figure 2 : *Températures moyennes mensuelles de 2001 à 2005.*

Table 1 : *Production moyenne de cônes femelles par sapin de 2002 à 2005.*

Nombre d'arbres étudiés	234	335	672	678
Année	2002	2003	2004	2005
Nombre de cônes par arbre	23.59	14.63	26.19	6.72

3.2 La production de cônes mâles

Les analyses statistiques réalisées nous permettent de mettre en évidence les relations positives entre la hauteur du sapin et la production de sacs polliniques (p-value = 3.24e-10, R^2 = 0.46) ainsi qu'avec sa position dans le peuplement (plus l'arbre domine, plus il produit) (p-value = 4.85e-9). (Figure 3).

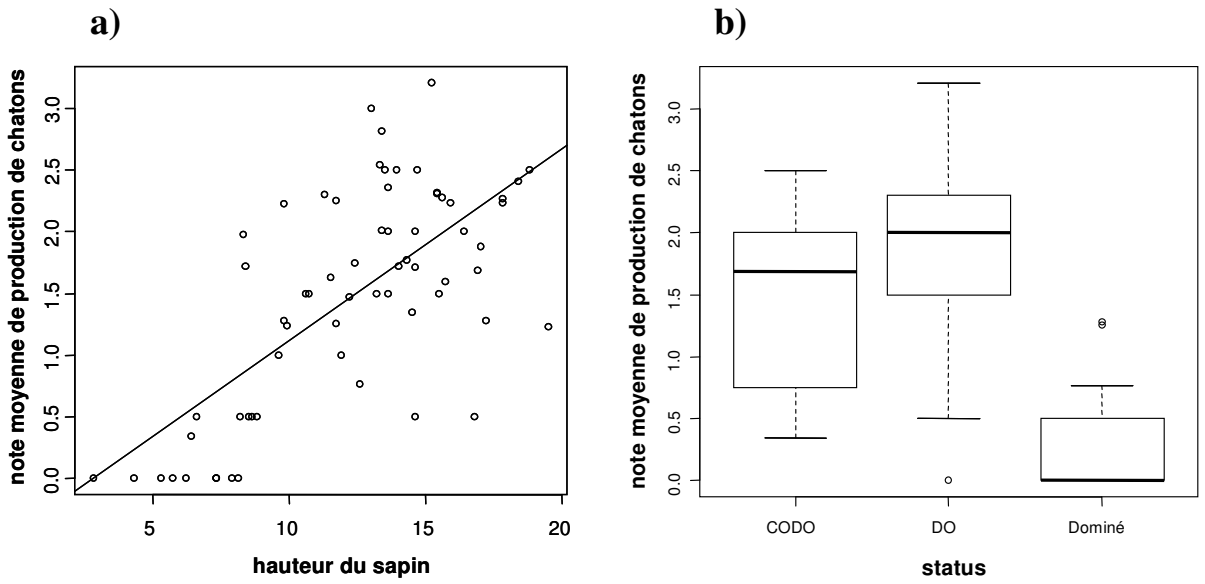


Figure 3 : *Effet de la taille du sapin (a) et de son statut (b) sur la production de chatons mâles. (CODO = Codominant ; DO = Dominant)*

La densité du peuplement environnant, symbolisée par la surface terrière totale (G), n'a par contre aucune influence sur cette production lorsqu'on l'analyse seule ($R^2 = 0.18$), mais en analyse de variance à deux facteurs on obtient une valeur de p de 6.3e-11 pour le facteur prépondérant : hauteur, et dans ce cas la densité locale a un effet significatif négatif mineur (p= 0.001). Pour l'instant, je n'ai pu avoir accès aux données altitudinales des sapins étudiés, celles-ci n'ont donc pas été intégrées à notre étude.

3.3 Analyse des rachis

Sur les 43 sapins, nous avons étudié s'il existait une relation entre le nombre de rachis présents et la production de cônes pendant les 4 années précédentes. Tout d'abord une régression linéaire a été réalisée: $n_{Rachis} = 0.78 \times n_{cônes} - 0.03 + \varepsilon$ $R^2 = 0.83$.

n_{rachis} : Nombre de rachis ; $n_{cônes}$: Nombre de cônes des 4 dernières années ; ε : résidus.

Mais ce modèle donne trop de poids aux points éloignés du « noyau » comme ceux représentants les sapins ayant produits plus de 200 cônes. Nous avons donc choisi d'utiliser 2 échelles logarithmiques (ln) pour représenter notre jeu de données afin de donner moins d'importance à ces extrêmes tout en éclatant le noyau de points afin que la relation soit plus visible graphiquement (figure 4).

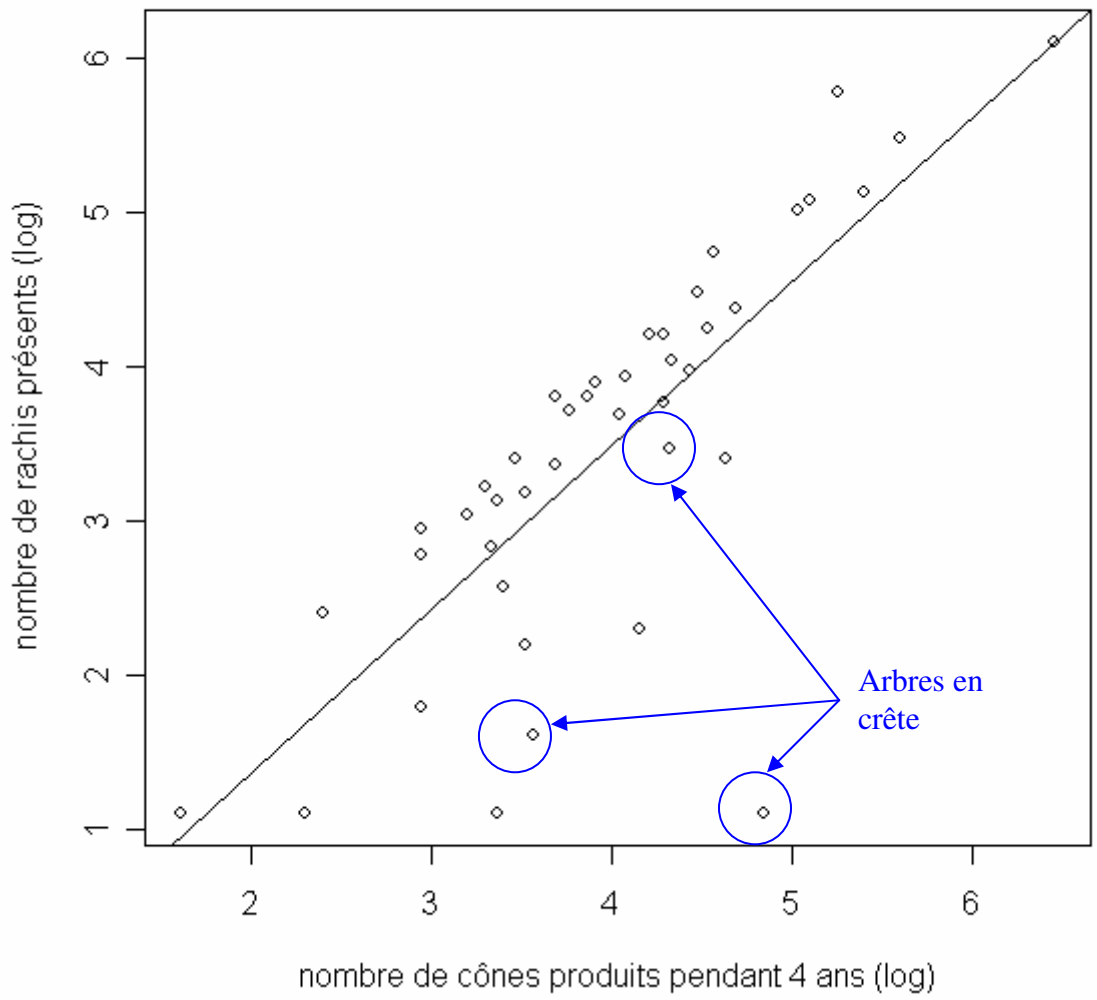


Figure 4 : *Mise en relation du nombre de rachis présents à l'instant t avec le nombre de cônes produits les 4 années précédentes (2 échelles logarithmiques)*

Mais certains sapins sont biologiquement différents des autres puisqu'ils ne situent pas dans les mêmes conditions météorologiques que les autres. Ainsi nous avons extrait les sapins situés en crête de montagne (à Lure) dont la chute des rachis diffère à cause du vent. La relation trouvée ici est alors :

$n_{rachis} = \exp(1.14 \times \ln(n_{cônes}) - 0.93 + \varepsilon)$ R=0.80

De plus j'ai réalisé un « modèle de mortalité des rachis » en me basant notamment sur les arbres qui n'ont produit qu'une seule année sur les 4. On obtient :

$n_{rachis\ t} = n_{cones\ (t-1)} + 0.85\ n_{cones\ (t-2)} + 0.77\ n_{cones\ (t-3)} + 0.36\ n_{cones\ (t-4)}$

Mais il faut rester vigilant quant à ce résultat puisque peu d'arbres m'ont permis de déterminer la probabilité que les rachis âgés de 3 ans soient encore présents

4] Discussion

Concernant l'effet du climat, nous n'avons pu avoir accès aux données météorologiques concernant le versant Nord du Ventoux. Nous avons donc mis en relation les conditions climatiques du versant Sud avec la production de cônes des sapins situés en Ubac. Pour les conifères les bonnes années de production de cônes et de graines sont en relation avec les étés chauds et secs (Sarvas, 1957). Nos résultats confirment cette hypothèse, ils démontrent notamment l'influence de la température lors de la création des bourgeons qui produiront l'année suivante les cônes femelles. Ceci peut s'expliquer par la stratégie du sapin qui se reproduit lorsque les conditions lui sont néfastes (sécheresse, fortes températures). Sur le terrain on observe d'ailleurs que les sapins qui produisent un nombre anormalement élevé de cônes présentent un mauvais état sanitaire. Avec 4 ans de données, aucune analyse statistique n'est envisageable et ce travail doit être poursuivi dans les années à venir. Pour améliorer l'aspect quantitatif une récolte de cônes et un comptage de graines s'impose afin de constater si ce sont les mêmes facteurs climatiques qui conditionnent le nombre de graines (par cône et total). Mais il semblerait que la température moyenne pendant la période de production des graines (Juin – Septembre) y joue aussi un rôle majeur, Hofgaard (1993) ayant observée qu'une baisse de celle-ci est en grande partie responsable de la moins bonne production de graines pour l'épicéa. Les résultats issus de l'étude des chatons mâles semblent indiquer que le mode opératoire utilisé est adapté. Il est logique d'observer une relation entre la production de sacs polliniques avec la hauteur, le statut de l'arbre et dans un deuxième temps la densité locale, vu qu'ils sont localisés dans les arbres et dans les branches recevant le plus de lumière. Sur le terrain on peut d'ailleurs noter que les arbres situés en bordure de piste ont énormément de chatons. Nous pouvons donc en déduire que le facteur majeur responsable de la production de pollen est la lumière. L'effet de l'altitude sera analysé *a posteriori.* Enfin, notre travail méthodologique sur les rachis indique que nous pouvons utiliser le dénombrement des rachis pour estimer le nombre de cônes femelles qui ont été crées les 4 années précédentes. On note une perte globale d'environ 20 % du nombre de rachis due aux aléas climatiques. Il faut toutefois être vigilant quant au résultat trouvé puisque le modèle linéaire n'est peut être pas le plus adapté. De plus cette étude reste qualitative et peu précise car on ne sait pas exactement

combien de temps reste le rachis. Dans certaines conditions (en crête : donc fortement exposé au vent), l'axe du cône a une forte probabilité de tomber ou d'être cassé et il n'a ainsi peu de chances de rester plus de 2 ans. Mais lors de notre comptage, nous avons aussi pu observer que certains arbres avaient plus de rachis qu'ils n'avaient produits de cônes pendant les 4 années précédentes. Le modèle de mortalité crée nous donne la probabilité qu'un rachis âgé de 1 à 4 ans soit encore présent mais le manque de données nous empêche de le conforter statistiquement (avec l'aide d'une régression multiple).

Conclusion

La production de graines chez le sapin est très aléatoire. Elle varie entre les individus, de façon périodique, mais aussi suivant les conditions climatiques de l'année en cours et de l'année précédente. Ceci se traduit par des variations de la production de pollen selon la taille de l'arbre et son statut et par une augmentation du nombre de cônes avec la température moyenne du printemps de l'année antérieure. Cette étude nécessitant une méthodologie assez longue, l'emploi des rachis comme estimateur de la production de cônes des 4 années précédentes, peut permettre un gain de temps évident. Quant au nombre de graines par cône, il semblerait qu'il soit amplifié par une augmentation de la température lors de leur production. Afin de mimer le changement climatique, nous pouvons utiliser la concordance entre l'espace et le temps en étudiant l'évolution de la production avec l'altitude. En conclusion, nous pouvons affirmer que l'élévation des températures entraînera probablement une augmentation de la production de graines chez *Abies alba* et donc une modification de sa dynamique. Ces travaux seront poursuivis cet été par la réalisation d'un comptage des cônes produits cette année. Il sera effectué sur les sapins déjà utilisés lors de l'analyse de l'effet du climat sur la production de cônes femelles afin de prolonger cette étude, mais aussi sur ceux du gradient altitudinal. Nous pourrons ainsi mettre en relation l'altitude avec la production de cônes, le tout en continuité avec l'étude de la production de sacs polliniques. Ainsi le regroupement des travaux étudiants les variations temporelles de la reproduction du sapin mais aussi spatiales, nous permettra d'en prévoir les changements à venir. Enfin à partir de mesures d'accroissement radial, nous analyserons l'influence de la production de cônes sur la croissance du sapin.

Références bibliographiques

Dobrowolska D. (1998) : Structure of silver fir natural regeneration in the 'Jata' reserve in Poland. *Forest Ecology and Management*, 110, 237-247.

Fenner M. (1985) : *Seed Ecology*. Edit. Chapman and Hall, London, 131 pages.

Hofgaard A. (1993) : Seed rain quantity and quality, 1984-1992, in a high altitude old-growth spruce forest, northern Sweden. *New Phytologist*, 125, 635-640.

IPCC. Climate Change (2001) : Synthesis report. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press.*

Robakowski P., Wyka T., Samardakiewicz S., Kierzkowski D. (2004) : Growth, photosynthesis, and needle structure of siver fir seedlings under different canopies. *Forest Ecology and Management*, 201, 211-227.

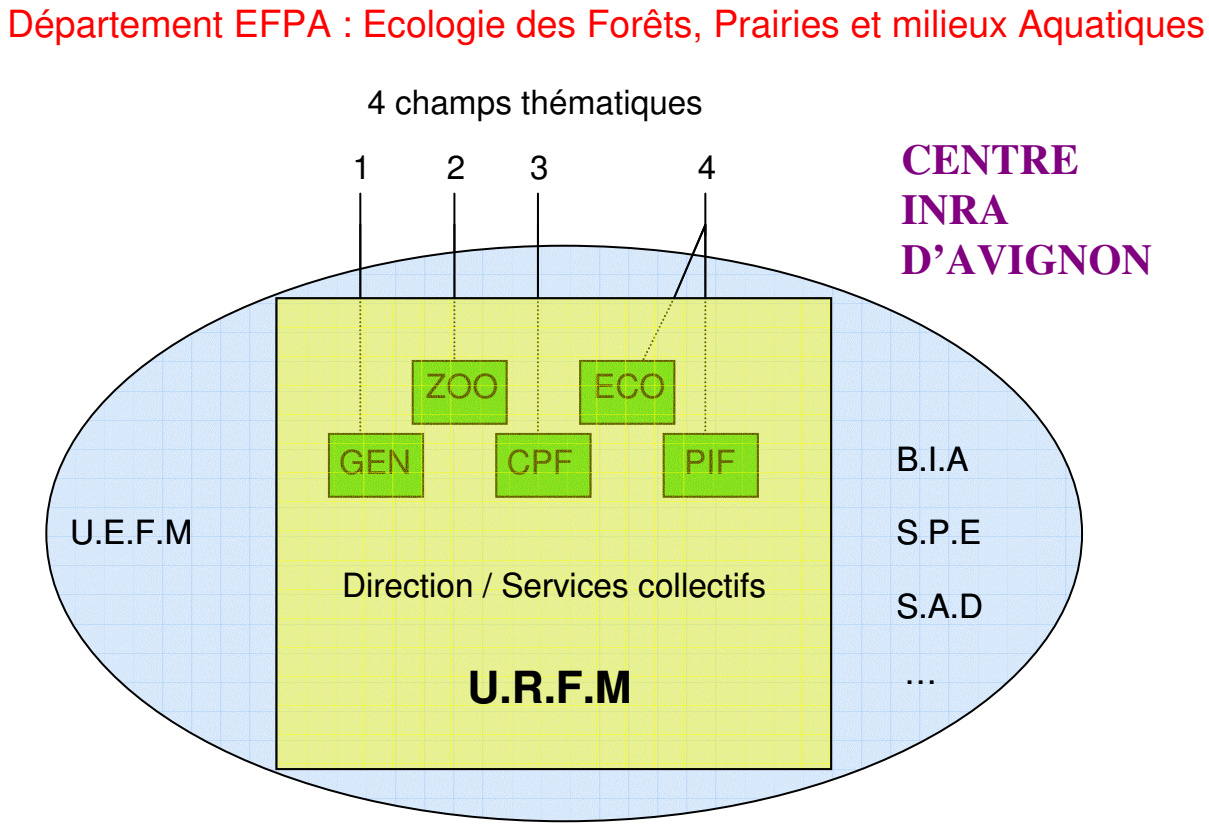
Sagnard F. (2001) – Dynamique de recolonisation des pinèdes pionnières par la hêtraie-sapinière. *Thèse, Université d'Aix-Marseille III.* **N° 01AIX30045**. 213 pages.

Sarvas R. (1957) : Studies on the Seed Setting of Norway Spruce. *Meddelelser Fra*, Bind XIV, n°48.

Szabadi I. (2003) : Quels sont les facteurs écologiques responsables de la variabilité phénologique de la floraison mâle et femelle ? Analyse d'une série chronologique de 18 années chez le sapin pectiné. *Rapport de stage DEA, Université d'Aix-Marseille III*

Ce travail a été effectué au sein de l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA) et plus particulièrement sur le centre d'Avignon dans l'Unité de Recherche Forestière Méditerranéennes (URFM). Au niveau national, les missions de l'INRA sont multiples mais peuvent être résumées en 3 domaines prépondérants : l'agriculture, l'alimentation et l'environnement.

Figure 1 : *Organigramme de l'Unité*



1: <u>CT 1 - Génétique et physiologie des arbres forestiers</u>

Programme Génôme, Diversité, Sélection

2 : <u>CT 2 - Interactions forêts et agents biotiques</u>

Programme Entomologie (Zootechnie)

3 : <u>CT 3 - Ressources forestières</u>

Programme Croissance et Production

4 : <u>CT 4 - Milieu physique et forêts</u>

Programme Ecophysiologie

Programme Sciences du Feu (Prévention des Incendies de Forêt)

Au sein du centre INRA d'Avignon, 2 pôles majeurs peuvent être différenciés :

- Pôle « Maîtrise de la qualité des produits cultivés et transformés pour la santé du consommateur ».
- Pôle « Ingénierie de la gestion de l'environnement pour les territoires cultivés et la forêt méditerranéenne ».

Celui-ci inclus de nombreuses unités de recherche dont l'UR 629 : Recherches Forestières Méditerranéennes. Les priorités scientifiques de cette unité sont axées sur un projet à long terme intitulé « Ecologie des forêts hétérogènes et des paysages méditerranéens en transition rapide. ».

Ses recherches s'appuient sur un important réseau expérimental en forêt méditerranéenne suivi sur le long terme, en collaboration avec l'Unité Expérimentale Forestière Méditerranéenne (UE348), mais aussi avec d'autres départements de l'INRA tels que le Département Biométrie et Intelligence Artificielle (B.I.A), Santé des Plantes et Environnement (S.P.E) et Systèmes Agraires et Développement (S.A.D).

Le projet d'unité, auquel les 5 équipes de l'URFM participent, a défini des axes permettant de décrire l'ensemble des activités : Acquérir des connaissances nécessaires pour protéger les forêts et pour les reconstituer si elles sont dégradées ; comprendre le fonctionnement des écosystèmes forestiers ; et élaborer des outils d'aide à la décision, des itinéraires techniques.

Ces deux derniers thèmes étant notamment ceux étudiés par l'unité qui m'a accueilli : l'équipe CPF : Croissance et conduite des Peuplements Forestiers. Celle-ci est composée de 6 agents permanents (3 chercheurs, 1 assistante ingénieur et 2 techniciens) et encadrée par Ph. Dreyfus. Leurs recherches visent à identifier et formaliser les relations de croissance des arbres et de dynamique des peuplements (régénération, structuration, production et mortalité) en fonction des conditions de milieu et de compétition qui incluent l'effet de la sylviculture pratiquée. Les espèces arborescentes étudiées sont méditerranéennes et / ou montagnardes, à savoir : le sapin pectiné (*Abiès alba*), le hêtre (*Fagus sylvatica*), le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) et 3 espèces de pins (*Pinus sylvestris*, *Pinus halepensis*, *Pinus nigra nigricans, Pinus uncinata*). Afin d'accomplir ce programme, de nombreuses mesures sont réalisées dans les forêts situées dans tout le Sud-Est et plus particulièrement celles du Mont Ventoux. Les thèmes de recherche qui étaient essentiellement focalisés sur la croissance et la production de peuplements monospécifiques (pineraies, cédraies), s'orientent depuis 1998 vers des études de la dynamique forestière, à savoir la colonisation en milieu fermé et la régénération des espèces.

RESUME

Souvent négligée, la quantification de l'investissement dans la reproduction est capitale pour analyser la dynamique d'une espèce ainsi que le fonctionnement de l'écosystème. Ce travail vise à intégrer la production de graines dans les modèles de croissance du sapin pectiné (*Abies alba*) et dans l'étude de sa dynamique temporelle et spatiale sur le Mont Ventoux sur lequel le sapin et le hêtre recolonisent des pinèdes pionnières plantées. Ce travail a été composé de trois parties rejoignant cette thématique de recherche globale : 1/ L'effet du climat sur la production de cônes, 2/ Les facteurs déterminant la production de sacs polliniques, 3/ une étude méthodologique corrélant la quantité de rachis présent et la production de cônes des années précédentes. Les résultats de nos analyses montrent que les fortes productions de cônes femelles semblent liées aux hautes températures du printemps de l'année précédente. Nécessitant une méthodologie assez lourde, l'étude de la production de cônes des 4 années précédentes peut être facilitée en estimant leur quantité à l'aide des rachis qui restent de 2 à 6 ans intacts sur l'arbre. En ce qui concerne la production de sacs polliniques, le facteur le plus influent est la lumière et nous analyserons *a posteriori* l'effet de l'altitude. Associant données temporelles et observations spatiales (sur un gradient altitudinal), ce travail a aussi pour objectif de déterminer les variations de production de graines chez le sapin avec le climat.

Versant nord du Mont Ventoux *(photo LECOCQ J.)*