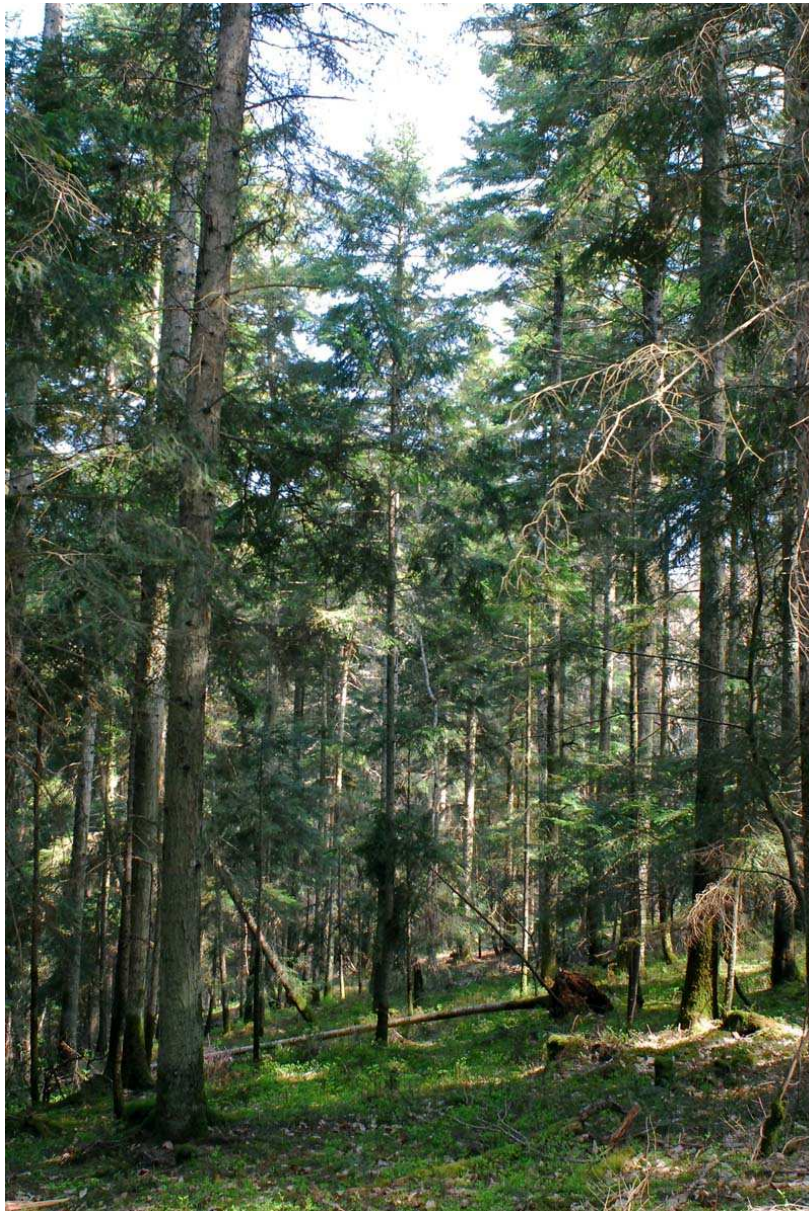


Caractérisation génétique et origine du Sapin pectiné (*Abies alba* Mill.) de Ste Croix Volvestre (Ariège) et du massif pyrénéen

mai 2014



Etude réalisée avec la participation financière
de la Région Midi-Pyrénées et
du Fonds européen de développement régional de l'Union européenne

Caractérisation génétique et origine du Sapin pectiné (*Abies alba* Mill.) de Ste Croix Volvestre (Ariège) et du massif pyrénéen

mai 2014

Responsable du programme :

E. Roulier

Parc naturel régional des Pyrénées Ariégeoises
Pôle d'activités-Ferme d'Icart, 09240 Montels
info@parc-pyrenees-ariegeoises.fr

Coordination technique :

P. Gonin, G. Sajdak

Institut pour le Développement Forestier
Maison de la Forêt, 7 ch. de la Lacade, 31320 Auzeville Tolosane
pierre.gonin@cnpf.fr, gregory.sajdak@cnpf.fr

Partenaires :

B. Fady

INRA, UR629, Ecologie des Forêts Méditerranéennes
Site Agroparc, Domaine Saint Paul, 84914 Avignon Cedex 9
bruno.fady@avignon.inra.fr

B. Musch, A. Valadon

Conservatoire Génétique des Arbres Forestiers (CGAF),
Office National des Forêts, Centre INRA,
2163 Avenue de la pomme de pin, BP 20619 Ardon, 45166 Olivet Cedex
brigitte.musch@orleans.inra.fr

J.-P. Métaillé

GEODE UMR 5602 – CNRS
Maison de la Recherche, Univ. Toulouse II, 5 allées Antonio Machado,
31058 Toulouse cedex 1, jean-paul.metailie@univ-tlse2.fr

G. Corriol, G. Largier

Conservatoire Botanique National des Pyrénées et de Midi-Pyrénées
Vallon du Salut, BP 315, 65203 Bagnères de Bigorre cedex
gilles.corriol@cbnmpm.fr, gerard.largier@cbnmpm.fr

J.-P. Ortisset, Ph. Thévenet

Centre Régional de la Propriété Forestière Midi-Pyrénées
Maison de la Forêt, 7 ch. de la Lacade, 31320 Auzeville Tolosane
jean-pierre.ortisset@crpf.fr, philippe.thevenet@crpf.fr

J. Touyarou

Centre Régional de la Propriété Forestière Aquitaine
Chambre d'Agriculture, 124 boulevard Tourasse, 64000 Pau
pau@crpfaquitaine.fr

B. Lecomte

Centre Régional de la Propriété Forestière Languedoc-Roussillon
Parc Euromédecine 1, 378 rue de la Galéra, BP 4228,
34097 Montpellier cedex 5, benoit.lecomte@crpf.fr

E. Alger, F. Chollet

Office National des Forêts, Direction Territoriale Sud-ouest
23 bis Bd Bonrepos, 31000 Toulouse
francois.chollet@onf.fr

Référence du rapport : Gonin P. (coord.), Fady B., Musch B., Métaillé J.-P., Galop D., de Munnik N., Cunill R., Poulblanc S., Abbe J.-L., Corriol G., Sajdak G., Delarue A., Valette P., Drenou Ch. : 2014 - *Caractérisation génétique et origine du Sapin pectiné (Abies alba Mill.) de Ste Croix Volvestre (Ariège) et du massif pyrénéen.* – PNR Pyrénées Ariégeoises, IDF, mai 2014, 160 p.

Photo de couverture : sapinière à Ste Croix Volvestre (09), © P. Gonin

Remerciements

L'étude a été réalisée grâce aux **partenaires cités dans le rapport** (voir p. 1 et §1.3 p. 8), mais aussi avec l'appui de nombreuses personnes qui ont contribué à la mise en œuvre de ce programme et nous les en remercions :

- à **l'INRA d'Avignon** : Anne Roig et Matthieu Lingrand qui ont réalisé toutes les opérations de biologie moléculaire faites par l'INRA.
- au **CGAF** : Bénédicte Le Guerroué et Ruth Chircop-Beck qui ont réalisé toutes les opérations de biologie moléculaire faites à l'ONF et Thierry Lamant qui a participé à des opérations de récolte.
- à **GEODE** : Nicolas de Munnik, et à **FRAMESPA** (FRance Méridionale et ESPagne ; UMR 5136 - CNRS) : Jean-Loup Abbé.
- **personnel de la forêt privée** pour le choix des peuplements et l'appui sur le terrain : Jean-Michel Faucher (CRPF 31), Mathilde Harel (CRPF 65), Laurent Larrieu (CRPF 65), Bruno Mariton (CRPF 66), Jérôme Moret (CRPF 09), Julien Mori (Syndicat des propriétaires forestiers 66), Guilhem Sors (CRPF 09).
- **personnel de l'ONF** pour le choix des peuplements et l'appui sur le terrain dans les forêts bénéficiant du régime forestier : Jean-Claude Auriat, Joël Bignaud, Michel Bordenave, Michel Caillabet, Frédéric Campredon, Renaud Cantegrel, Clotilde Noël-Hetier, Gilbert Coureau, Jérôme Coy, Yann Dilin, Gérard Donnadille, Serge Dumas, Dominique Duverger, Pierre Elhorry, Jean-Marc Fayolle, Jean-Luc Fiol, Guy Fontaine, Alain Gaillat, Michel Geraud, Michel Guitard, Bernard Kazadjian, René-Jean Lacroix, Bernard Latour, Laurent Lespine, Sebastien Maitia, Fabien Malais, Vivien Marty, Patrick Nolan, Thibaut Pallec, Jean-François Perarnaud, Christian Pires, Jean-François Quéheille, Jean-Marie Quiles, Louis Rocca-Serra, Stéphane Roche, Lucien Rousse, Lionel Roux, Pierre Sallaberry, Jean-François Sanche, Serge Sentenac, Louis Segui, Josian Tavallo, François Traisnel, Claude Tudon, Françoise Valadon, David Veneau, Gilles Vergez, Olivier Vinet.
- pour le **Réseau conservatoire national du Sapin pectiné** : Jean-Michel Fargeix (ONF).
- pour le **réseau RENECOFOR** : Marc Lanier et Manuel Nicolas (ONF).
- **Parc national des Pyrénées et Parc national des Cévennes**, pour leur autorisation d'étude et de prélèvements en zone cœur du Parc : Grégoire Gautier (PNC), Eric Sourp (PNP).
- pour les relevés dans le **Parc national des Cévennes** : Vinciane Febvre.
- **propriétaires** publics et privés qui nous ont donné leur accord pour effectuer observations et prélèvements, notamment en forêt privée : Jean-Louis Chaire (Président du GF d'Hêches), Charles Courtié (Propriétaire), M. de Levis de Mirepoix (Propriétaire), Philippe Gourmain (Expert forestier), Gilles Hubert (Garde forestier), M. Lannes (Propriétaire), Gilles Lefrançois (Garde forestier), Pierre Naudin (Propriétaire).
- **appui au niveau météo** : Christian Pareti pour l'autorisation d'installer une station météo sur sa propriété à Ste Croix Volvestre et Jean-Philippe Chevaillier-Auriac pour la fourniture de données météo à Ste Croix Volvestre.
- pour le **calcul des données météo** sur les sapinières étudiées : Michel Chartier et Jean Lemaire de l'IDF, ainsi que Christian Piedallu d'AgroParisTech pour la mise à disposition du modèle Hélios.
- **fourniture d'azote liquide et stockage des échantillons par le CNRS** : Patrick Bermudes, Francis Carbonne, Charles Gers, Nathalie Séjalon-Delmas

Sommaire

1 - INTRODUCTION	5
1.1 - Contexte	5
1.2 - Objectifs de l'étude	6
1.3 - Déroulement de l'étude et méthodes	7
2 - HISTOIRE ET PALEO-ECOLOGIE DES SAPINIÈRES DU VOLVESTRE	11
2.1 - Synthèse historique des sapinières du Volvestre	11
2.1.1 - Approche historique de la forêt de Sainte-Croix-Volvestre	11
2.1.2 - Approche historique de la forêt de Montbrun-Bocage	28
2.2 - Approche palynologique : l'enregistrement pollinique de Pélissié	41
2.3 - Approche pédo-anthracologique des forêts de Sainte-Croix-Volvestre et Montbrun	48
2.3.1 - Résultats des sondages dans la forêt de Sainte-Croix	49
2.3.2 - Résultats des sondages réalisés dans la forêt de Montbrun	58
2.4 - Synthèse générale	73
3 - CARTOGRAPHIE DES SAPINIÈRES PYRÉNÉENNES	75
4 - ÉCHANTILLONNAGE DES SAPINIÈRES ET PROTOCOLE DE RELEVÉ	83
4.1 - Plan échantillonnage et relevé de terrain	83
4.1.1 - Nombre de placettes	83
4.1.2 - Stratification	84
4.1.3 - Choix des placettes	86
4.1.4 - Protocole de relevé	86
4.2 - Caractéristiques de l'échantillonnage	87
4.2.1 - Répartition géographique	87
5 - ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE DES SAPINIÈRES	89
5.1 - Synopsis phytosociologique des sapinières pyrénéennes	90
5.2 - Détail des groupements	91
5.3 - Tableau récapitulatif des groupements pyrénéens à sapin	98
5.4 - Interprétation des relevés de sapinières de Sainte Croix Volvestre (09)	99
5.5 - Répartition phytosociologique des sapinières échantillonnées	101
5.5.1 - Relevés effectués dans les Pyrénées	101
5.5.2 - Relevés effectués hors des Pyrénées	102
6 - STATIONS ET CLIMAT	103
6.1 - Exigences stationnelles et climatiques du sapin pectiné	104
6.2 - conditions climatiques à Ste Croix Volvestre	105
6.2.1 - Les précipitations	105
6.2.2 - La température	106
6.2.3 - La subsécheresse estivale	107
6.2.4 - Conclusion	107
6.2 - Caractérisation stationnelle et climatique des sapinières échantillonnées	108
6.2.1 - Répartition écologique	108
6.2.2 - Répartition en étages bioclimatiques	108
6.2.3 - Répartition selon les précipitations	110
6.2.4 - Position climatiques des sapinières du Volvestre	110
6.3 - Conclusion sur l'échantillonnage	111
7 - ANALYSE GÉNÉTIQUE	113
7.1 - Protocole d'échantillonnage et méthode de génotypage	113

7.2 - Résultats de l'analyse nSSR dans le massif pyrénéen	114
7.3 - Résultats de l'analyse cpSSR	115
8 - GESTION	117
8.1 – Gestion sylvicole	117
8.1.1 - Gestion des sapinières dans le massif pyrénéen	117
8.1.2 - La forêt domaniale de Sainte Croix Volvestre : une sapinière emblématique	119
8.2 – Méthode ARCHI : diagnostic visuel de l'état de santé des sapinières	123
8.2.1 - Qu'est-ce qu'un arbre dépérissant ?	126
8.2.2 - Qu'est-ce que la méthode ARCHI ?	126
8.2.3 - Application de la méthode ARCHI au sapin	126
8.3 - Gestion des ressources génétiques	128
8.3.1 - Le réseau de conservation génétique et sa gestion	128
8.3.2 - Le renouvellement des sapinières	129
BIBLIOGRAPHIE	131
LEXIQUE	135
ANNEXES	139
Annexe 1 - Définition des types de peuplement IFN comportant du sapin	140
Annexe 2 - Surfaces des types de peuplement IFN comportant du sapin, par département	142
Annexe 3 - Surfaces des types de peuplement IFN comportant du sapin, par type de propriétaire	143
Annexe 4 - Liste des placettes	144
Annexe 5 - Localisation des placettes dans les Pyrénées	147
Annexe 6 - Protocole de relevé	148
Annexe 7 - Classement des relevés au niveau phytosociologique et dans l'écogramme	152
Annexe 8 – Méthodes d'analyses génétiques	153
Annexe 9 - Résultats des analyses génétiques	156

1 - INTRODUCTION

1.1 - CONTEXTE

Le Sapin pectiné (*Abies alba* Mill.) occupe une place importante dans la chaîne pyrénéenne (tab. 1) où il trouve des conditions propices dans l'étage montagnard. Les populations de sapin du massif pyrénéen sont reconnues comme ayant une origine évolutive différente de celles des Alpes (Konnert et Bergmann 1995 ; Fady 1999 ; Liepelt *et al.*, 2009). Cependant, le nombre de refuges glaciaires à l'origine des populations actuelles de sapin dans les Pyrénées demeure inconnu. Cette origine post glaciaire peut avoir son importance pour la structuration actuelle de la diversité génétique dans les Pyrénées. Ayant colonisé des stations variées dans toute la chaîne des Pyrénées, les populations ont pu individualiser une structure génétique dépendant des conditions dans lesquelles la recolonisation post glaciaire s'est faite, tout autant que des conditions actuelles de flux de gènes et des adaptations locales, en lien avec l'histoire de la gestion forestière.

Tableau 1 - Surface des sapinières dans les Pyrénées françaises

(source IFN : types de peuplements mentionnant la présence de sapin, année 1987 à 1999 ; en ha)

	domanial	communal	privé	TOTAL
Languedoc-Rousillon	9 638	4 228	6 950	20 816
Midi-Pyrénées	11 398	31 766	9 649	52 813
Aquitaine	0	17 498	986	18 484
TOTAL	21 036	53 492	17 585	92 114

Le Réseau conservatoire national du Sapin pectiné, piloté par la Commission nationale des Ressources Génétiques Forestières (CRGF) et animé par l'ONF, est destiné à conserver *in situ* l'espèce (Plas *et al.*, 2008). Dans les Pyrénées, il est actuellement composé de cinq unités conservatoires situées dans la partie est de la chaîne (Ariège, Pyrénées-Orientales, Aude) : il n'est sans doute pas représentatif de la diversité génétique des sapinières pyrénéennes occidentales et il est projeté d'étendre et compléter ce réseau à l'issue des résultats de l'étude.

Dans les Pyrénées, les **plantations de Sapin pectiné** doivent être réalisées avec du matériel de reproduction issu de peuplements sélectionnés appartenant à deux **régions de provenance** (AAL601 Pyrénées et AAL361 Aude). Les zones concernées sont larges, mais l'absence de données génétiques précises ne permet pas de confirmer que la variabilité des sapinières est bien couverte, en particulier pour les stations de basses altitudes auxquelles s'intéressent particulièrement les sylviculteurs dans la perspective de changement du climat prévisible.

Dans ce contexte général, la **sapinière située à Ste Croix Volvestre** (Ariège) a toujours suscité l'intérêt :

- elle est très excentrée au nord par rapport à l'aire naturelle du Sapin localisée dans le Front pyrénéen et la Haute Chaîne (région "Petites Pyrénées et Plantaurel" ; voir fig. 1) ;
- elle est située à très basse altitude, entre 330 et 400 m, situation assez rare dans les Pyrénées car le Sapin s'étend habituellement à l'étage montagnard, entre 800-1000 m et 1600-1800 m.

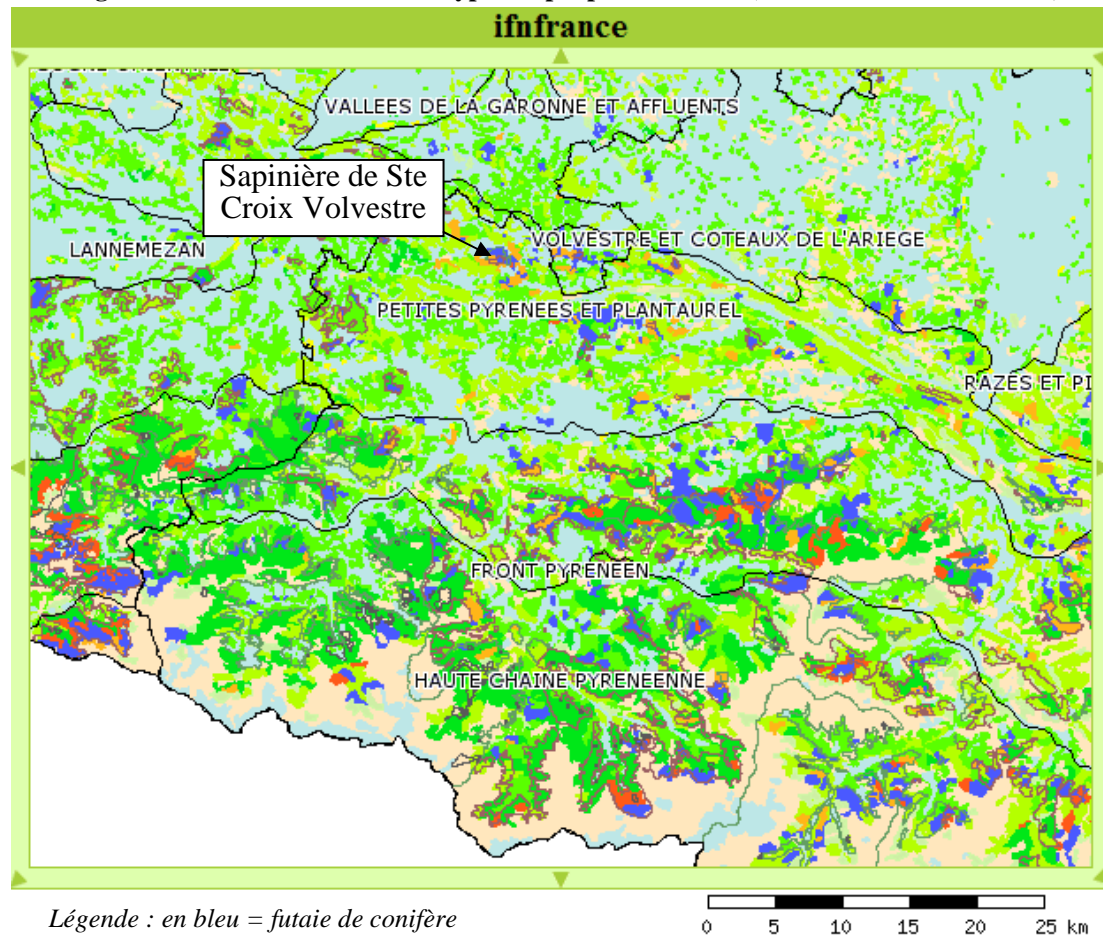
On considère généralement cette sapinière comme relique, héritée de la dernière période glaciaire, mais l'hypothèse d'une plantation par les religieuses installées à Ste-Croix a également été avancée. L'origine de ce peuplement reste donc à déterminer ainsi que sa similitude avec les autres sapinières pyrénéennes, ce qui permettrait d'en préciser l'intérêt au niveau patrimonial et en matière de biodiversité génétique.

Dans cette région du Volvestre, la sapinière couvre environ 70 ha en forêt domaniale et plus de 80 ha en forêt privée. Elle est répartie principalement sur Ste Croix Volvestre, mais aussi sur d'autres communes environnantes.

Dans ce cadre stationnel très particulier, le sapin pectiné est plus sensible aux conditions de sécheresse qui devraient s'accroître avec le changement du climat. Localement, le dépérissement

constaté d'une partie des arbres pose la question de la **gestion** des forêts à la fois privées et domaniales et d'une éventuelle action de conservation *ex situ* de cette ressource génétique.

Figure 1 - Extrait de la carte des types de peuplements IFN (site www.ifn.fr : cartoweb)



Une interrogation similaire sur l'**origine des sapinières cévenoles** a conduit à compléter l'étude génétique sur les plus anciennes sapinières dans les Cévennes, pouvant témoigner de l'histoire de l'occupation du sapin dans la région.

1.2 - OBJECTIFS DE L'ETUDE

Les différentes interrogations portant sur le Sapin pectiné conduisent à étudier cette essence à trois échelles complémentaires :

1 - **Massif de Ste Croix Volvestre**, dont la sapinière présente un fort enjeu patrimonial doublé d'un intérêt économique. La caractérisation de cette sapinière et la détermination de son origine nécessitent plusieurs recherches :

- recherche **historique** sur la sapinière de Ste Croix Volvestre, à partir de l'étude d'archives et, pour la période plus ancienne, par analyse **palynologique** ou **pédoanthracologique** en fonction des gisements trouvés ;
- analyse **phytosociologique** et **stationnelle** pour replacer ce massif dans le cadre général des sapinières pyrénéennes ;
- **caractérisation génétique** du Sapin pectiné de Ste Croix et comparaison avec les autres sapinières pyrénéennes.

Cette analyse débouche sur une réflexion, d'une part en matière de **gestion forestière**, d'autre part en matière de **gestion des ressources génétiques**, avec notamment les problématiques

suivantes :

- choix du maintien du sapin comme essence objectif, définition éventuelle de nouvelles sylvicultures (espacement, structure, durée de rotation, âge et diamètre d'exploitabilité),
- choix de stratégies de conservation : *in situ* grâce à la modification des pratiques sylvicoles (voir ci-dessus), avec ou non renforcement des populations, éventuellement avec d'autres sources ; *ex situ* (où, quand, comment, qui ?).

Ces connaissances seront ensuite valorisées au niveau local par des **plaquettes d'information** pour les propriétaires, mais aussi pour l'ensemble des usagers car le site a été aménagé pour l'accueil du public (sentier de découverte).

2 - **Massif pyrénéen**, avec étude de la diversité génétique neutre et identification des différentes populations la composant. Les connaissances acquises permettront de replacer le **Réseau conservatoire** existant par rapport à la diversité génétique de l'espèce et apporteront des éléments pour faire évoluer ce réseau. Elles permettront aussi d'alimenter la réflexion sur les **régions de provenance** et sur la stratégie d'utilisation de ressource en graine à l'échelle du massif.

3 – **Cévennes et autres massifs proches des Pyrénées**, avec étude de la diversité génétique neutre sur quelques sapinières et comparaison avec les résultats obtenus dans les Pyrénées.

Cette étude s'intègre dans une réflexion plus large sur les sapinières faisant l'objet d'autres études dans les Pyrénées :

- **sanitaires** (description et causes des dépérissements, préconisations de gestion). Le programme SILVAPYR a déjà engagé une action pour étudier le dépérissement du Sapin pectiné sur les Pyrénées à partir d'un réseau de 34 placettes installées sur le versant français et d'autres sur le versant espagnol ; ce réseau a été complété par une placette à Ste Croix Volvestre.
- de **croissance** des peuplements en fonction des **stations forestières** ; à ce sujet, une étude de typologie des stations forestières a été réalisée sur la bordure pyrénéenne incluant la sapinière de Ste Croix Volvestre (Gonin, 2001) ainsi que sur les Pyrénées centrales (Savoie, 1995) ; par ailleurs, la **fragilité chimique des sols** sur roche acide a été étudiée dans une hêtraie-sapinière de la vallée d'Aure dans les Pyrénées centrales (Larrieu *et al*, 2007).
- de **vulnérabilité** face au changement climatique ; dans le cadre du programme DRYADE (étude de la vulnérabilité des forêts face aux changements climatiques, programme coordonné par l'INRA, associant ONF, IDF, IFN, DSF et université d'Orléans), une étude est menée dans les Alpes du sud sur les mécanismes écologiques, écophysologiques et génétiques impliqués dans les dépérissements du sapin ; cette réflexion pourrait être étendue aux sapinières pyrénéennes de basses altitudes, comme celle de Ste Croix Volvestre .
- d'**aménagement du massif forestier** de Ste Croix Volvestre, avec en particulier le réaménagement de la forêt domaniale, et les projets d'accueil du public et de création d'une réserve biologique mycologique.

1.3 - DEROULEMENT DE L'ETUDE ET METHODES

Les méthodes d'études historiques et génétiques ont fortement évolué ces dernières années, permettant des analyses et des interprétations plus poussées.

Au niveau historique, les méthodes palynologiques et anthracologiques ont permis de remonter sur une échelle de temps plus grande que l'analyse des archives, avec souvent des informations plus précises sur la composition de la végétation. La palynologie, par l'étude des pollens et spores de végétaux conservés dans les tourbières et les mouillères, permet de reconstituer l'histoire de la végétation, depuis son installation. L'analyse pédoanthracologique s'appuie sur l'identification et la datation des fragments de charbons de bois, issus des incendies ou des essartages agricoles, présents dans les sols et permet également une reconstitution de l'évolution de la végétation.

Ces méthodes sont régulièrement mises en œuvre par le laboratoire GEODE, en particulier sur les Pyrénées.

Au niveau génétique, il est désormais possible de caractériser la diversité génétique neutre¹ à l'aide de marqueurs génétiques et ainsi d'identifier une population avec précision. Ainsi, le profil génétique de la sapinière de Ste Croix Volvestre a pu être comparé aux profils de peuplements de référence dans les Pyrénées. Des comparaisons similaires ont également été réalisées entre massifs (Pyrénées, Cévennes, Alpes du sud, Corse).

Ces méthodes sont actuellement maîtrisées par l'équipe Génétique de l'Unité de Recherches Forestières Méditerranéennes (URFM) à l'INRA Avignon et par le Conservatoire Génétique des Arbres Forestiers (CGAF) à Orléans.

L'étude a été décomposée en cinq tâches :

Tâche 1 – Etude historique

- Recherche historique sur l'origine de la sapinière de Ste Croix Volvestre par étude d'archives, analyses palynologiques et pédoanthracologiques.
- Responsable : **J.-P. Métaillé** (GEODE).

Tâche 2 – Analyses stationnelle et phytosociologique

- Description des différentes associations végétales et des types de stations composant les sapinières du Volvestre. Inventaire bibliographique des associations végétales correspondant aux sapinières pyrénéennes, ce qui a permis de positionner la sapinière du Volvestre du point de vue phytosociologique, d'apprécier la variabilité phytosociologique des sapinières à l'échelle de la chaîne et de juger de la représentativité de l'échantillon génétique.
- Responsable : **G. Corriol** (CBP).
- Partenaire : **P. Gonin, G. Sajdak** (IDF).

Tâche 3 – Cartographie des sapinières pyrénéennes

- Réalisation d'une cartographie des sapinières pyrénéennes à partir des données IFN, intégrée dans le SIG du CRPF Midi-Pyrénées. Edition de tableaux synthétiques sur les sapinières pyrénéennes. L'ensemble de ces données a ensuite été utilisée pour établir le plan d'échantillonnage génétique.
- Responsable : **P. Gonin** (IDF).
- Partenaire : **A. Delarue** (CRPF Midi-Pyrénées), pour le traitement sous SIG.

Tâche 4 – Etude génétique

- Caractérisation de la diversité génétique neutre de la sapinière de Ste Croix Volvestre et des sapinières pyrénéennes, et comparaison avec les massifs environnants. Cette tâche est décomposée en trois parties :
 - a - Elaboration du plan d'échantillonnage à partir de la cartographie des sapinières, des données historiques et phytosociologiques, aboutissant à un réseau de 52 placettes (Pyrénées : 45, Cévennes : 4, Alpes du sud : 2, Corse : 1).
 - Responsable : **P. Gonin, G. Sajdak** (IDF).
 - Partenaires : **B. Fady** (INRA) et **B. Musch, A. Valadon** (CGAF) ; **J. P. Ortisset** (CRPF Midi-Pyrénées), **J. Touyarou** (CRPF Aquitaine) et **B. Lecomte** (CRPF Languedoc-Roussillon) ; **E. Alger** (ONF) et personnel ONF.
 - b - Sur chaque placette : prélèvement d'échantillons pour les analyses génétiques et description stationnelle, phytosociologique et dendrométrique ; classement stationnel et phytosociologique par rapport aux sapinières pyrénéennes.
 - Responsables : **P. Gonin, G. Sajdak** (IDF).
 - Partenaires : **J.-P. Ortisset** (CRPF Midi-Pyrénées), **J. Touyarou** (CRPF Aquitaine) et **B. Lecomte** (CRPF Languedoc-Roussillon) ; **E. Alger** (ONF) et personnel ONF ; **G. Corriol** (CBP).
 - c - Caractérisation génétique de chaque sapinière par analyse du polymorphisme de l'ADN sur une dizaine de marqueurs chloroplastiques et nucléaires ; analyse de

¹ diversité génétique neutre : diversité résultant de l'évolution des populations, indépendamment de l'influence du milieu.

- la diversité génétique neutre et comparaison des profils de référence ;
interprétation sur les liens de filiation entre sapinières.
- Responsables : **B. Fady** (INRA) et **B. Musch** (CGAF).

Tâche 5 – Gestion

- Réflexion sur la gestion à deux niveaux :

- a - A l'échelle du massif de Ste Croix Volvestre, élaboration de conseils en matière de protection de la sapinière, de gestion sylvicole et de conservation des ressources génétiques ; réalisation de deux plaquettes, l'une pour vulgariser ces conseils auprès des propriétaires forestiers, l'autre destinée à présenter les résultats auprès du public qui visite le massif.
- Responsables : **P. Gonin** (IDF).
- Partenaires : **Ch. Drénou** (IDF), **J.-P. Ortisset** (CRPF Midi-Pyrénées), **J. Touyarou** (CRPF Aquitaine) et **B. Lecomte** (CRPF Languedoc-Roussillon) ; **P. Valette** (ONF) ; **G. Corriol**, **G. Largier** (CBP) ; **E. Roulier** (PNR des Pyrénées Ariégeoises) ; **B. Fady** (INRA) et **B. Musch** (CGAF).
- b - A l'échelle des Pyrénées, les résultats permettront d'orienter l'élargissement du Réseau conservatoire national du Sapin pectiné pour couvrir l'étendue de la diversité génétique ; ils alimenteront également la réflexion sur le choix de peuplements sélectionnés et la définition des régions de provenance.
- Responsables : **B. Fady** (INRA) et **B. Musch** (CGAF).
- Partenaires : **J.-M. Fargeix** (ONF) ; **G. Corriol**, **G. Largier** (CBP).

La **coordination administrative et financière** a été assurée par **E. Roulier** (PNR des Pyrénées Ariégeoises), tandis que la **coordination technique** de l'étude a été assurée par **P. Gonin** (IDF).

Outre le **Comité technique** regroupant les partenaires du programme, deux Comités ont été régulièrement informés de l'avancement de l'étude : le **Comité de suivi de la Charte forestière du Couserans** et un **Comité de pilotage** constitué pour l'étude avec : Parc national des Pyrénées, Parc naturel régional des Pyrénées Catalanes, Irstea Nogent/Vernisson, INRA Orléans - Unité de Recherche Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières (J.-C. Bastien), DSF Bordeaux, spécialistes et laboratoires mycologiques (laboratoire Evolution et Diversité Biologique de l'Université Toulouse P. Sabatier, Association ARIANE).

2 - HISTOIRE ET PALEO-ECOLOGIE DES SAPINIÈRES DU VOLVESTRE

Coordinateur : Jean-Paul METAILIE, GEODE, jean-paul.metailie@univ-tlse2.fr
Palynologie : Didier GALOP, GEODE ; Nicolas de Munnik, GEODE.
Pédoanthracologie : Raquel CUNILL, GEODE.
Histoire : Sébastien POUBLANC, FRAMESPA (FRANCE Méridionale et ESPagne ; UMR 5136 - CNRS) ; Jean-Loup ABBE, FRAMESPA ; Jean-Paul METAILIE, GEODE.

2.1 - SYNTHÈSE HISTORIQUE DES SAPINIÈRES DU VOLVESTRE

En préambule, il importe de signaler qu'aucune étude historique spécifique n'avait été menée jusqu'à présent sur les forêts des Pré-Pyrénées en général, et du Volvestre en particulier. Le travail présenté ici constitue donc une première avancée qui demanderait évidemment à être approfondie, tant sur les peuplements précis qui ont été étudiés (sapinières de Ste-Croix et de Montbrun) que sur les autres grandes forêts voisines. L'histoire précise des forêts du piémont, tant au niveau de l'évolution des peuplements que de leur rôle dans la vie et l'économie locale, reste à faire.

2.1.1 - APPROCHE HISTORIQUE DE LA FORÊT DE SAINTE-CROIX-VOLVESTRE

L'étude de la forêt de Sainte-Croix-Volvestre est rendue disponible par la multiplicité d'archives qui la concerne : des papiers du monastère à ceux de la réformation en passant par la maîtrise de Comminges, il est possible d'en réaliser une approche historique. Elle ne peut être menée qu'en étudiant l'histoire de son propriétaire – le monastère éponyme - dont elle épouse les vicissitudes tout autant que les réussites.

2.1.1.1 - Aux origines du monastère de Ste-Croix et de la forêt abbatiale

Le monastère est fondé aux alentours de 1114-1117, peu après la création du monastère de Lespinasse par Robert d'Arbrissel, fondateur de l'ordre de Fontevraud. C'est à partir de cet établissement que celui de Sainte-Croix Volvestre est fondé². Il est impossible de connaître la date exacte, aucune charte ne le mentionnant et les moniales ne le sachant pas elles-mêmes :

Premièrement disent lesdites filles qu'elles ne peuvent dire précisément l'année de leur fondation pour n'avoir pu trouver dans les archives l'acte de la fondation dudit monastère, pour avoir été esgaré et fort pillé lesdites archives, avec presque tous les anciens titres et documents dudit couvent, soit par les ennemis de la religion, soit par les ennemis de l'état et autres guerres civiles³.

Dom Vaissette atteste de son existence en 1145 et attribue sa fondation à l'évêque Amélius de Toulouse⁴. Mais la première mention dans les sources date de 1150 : il s'agit d'une donation de Hugues, abbé de Saint-Sernin, faite en faveur de Navarre, prieure de Volvestre. D'autres donations tout au long du XIII^e siècle achèvent de composer le temporel du prieuré. Celui-ci connaît une évolution majeure en 1263 avec le legs de la forêt de Sainte-Croix Volvestre en faveur du couvent :

² Gustave DUCOS, *Sainte-Croix-Volvestre et son monastère des origines à la Révolution, 1117-1789*, Paris, Office d'édition du livre d'histoire, 1937, p. 32.

³ ADA, H 105, L'état de déclaration du revenu temporel, charges, réparations et autres dépenses, 1667.

⁴ Joseph VAISSETTE, *Histoire générale de Languedoc avec des notes & les pièces justificatives : composée sur les auteurs & les titres originaux, & enrichie de divers monumens*, Toulouse, Privat, \$, vol.3, p. 625.

Par une autre donation (~~par (?) la mesme chose appert par une coppie donation~~) qui nous a este faite de toute la forest de Sainte-Croix par dame Gentile de Gensac, laquelle pour le remede de son ame et celle de ses parents donne a Dieu a la bien- heureuse Vierge sa mere a tous lest saints de Dieu et de Sainte-Croix de Volvestre et au convent de Sainte-Croix toute ladite forest comunement appallee la forest de Sainte Croix, avec toutes ses appartenances et depandances. Laquelle a pour confrontation et limites ainsi qu'il est declaré par la susdite donation, sçavoir : de lavede des Bausses [*Bauces*] jusques a lavede de Mahrage [*Maharage*] et depuis lavede de Mahrage [*Maharage*] jusques a la croix de Banere [*Croix-de-Banère*] ; et de la croix de Banere [*Croix-de-Banère*] jusques au lieu appellé les Moreaux de lisard, [les *Moureux-de-Mozard*] d'un ruisseau a l'autre, et du ruisseau de Lisard [*Lizard*] jusqu'au ruisseau de Tourtouse et ce de l'an mil deux cens soixante et trois. Laquelle susdite forest a toujours esté possedée noblement jusques a present comme estant d'ancienne fondation⁵.

Il s'agit là de la première mention connue de la forêt. Les papiers du monastère n'en précisent pas la contenance, à la différence de Gustave Ducos qui indique 240 arpents, mais sans en préciser la source⁶

Dès cette époque, la mention du toponyme *lavede*, - sapin - atteste de la présence de conifères dans la sylvie. La possession de ce bois permet à la communauté de grandir, jusqu'à atteindre le nombre de 63 religieux et de 25 religieuses⁷.

Pour protéger la ressource ligneuse, un garde forestier est nommé en 1331. Mais peut après, entre 1360 et 1420, le monastère est pillé et incendié, vraisemblablement par des routiers :

Après avoir mis le feu dans votre dit monastere et contraint par cette desolation generale toutes les personnes religieuses de l'un et de l'autre sexe d'abandonner vostre susdit prieuré, lequel est demeuré inhabité presque l'espace de deux siecles et de plus jusques a l'année mil six cens vingt que madame Louyse de Bourbon, abbesse d'heureuse memoire votre predecesse (sic) y envoya des religieuses pour restablir la susdite maison et y faire le service divin et autres observances regulieres⁸.

Les documents sont alors dispersés ou détruits – sauf ceux d'entre eux qui sont dans le trésor de Fontevrault –, tandis que moines et moniales abandonnent le prieuré détruit. Les fruits et revenus en dépendant n'échappent toutefois pas à l'ordre de Fontevrault puisqu'ils sont tenus en séquestre par les consuls de La Bastide-Besplas pour l'abbesse de l'ordre⁹. En vertu du séquestre, des transactions régulières sont passées entre le procureur des dames et les habitants de Sainte-Croix Volvestre, notamment à propos de la forêt.

En 1581, le prieuré est visité : il est en ruine mais le bâti apparaît encore.

⁵ ADA, H 105, L'état de déclaration du revenu temporel, charges, réparations et autres despenses, 1667. Entre crochets et en italique, la transcription de Ducos.

⁶ Gustave DUCOS, *Sainte-Croix-Volvestre et son monastère des origines à la Révolution, 1117-1789, op. cit.*, p. 39.

⁷ ADA, H 105, L'état de déclaration du revenu temporel, charges, réparations et autres despenses, 1667.

⁸ Ibidem.

⁹ Gustave DUCOS, *Sainte-Croix-Volvestre et son monastère des origines à la Révolution, 1117-1789, op. cit.*, p. 47.

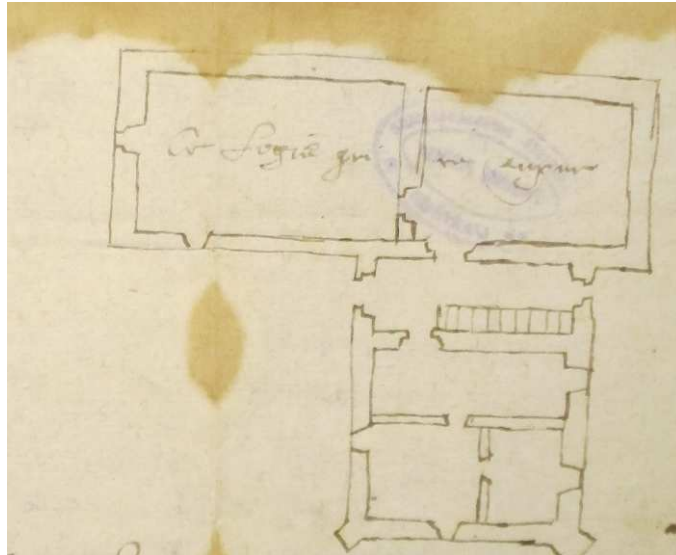


Figure 1 - Plan du prieuré au XVIIe siècle.

Source : ADA, H 108, *La visitation qui a esté faite au prieure de Ste Croix*, 1581.

En 1584, une transaction est passée entre Meynier, procureur de madame de Fontevraud et les habitants de Sainte-Croix¹⁰ :

Les habitans de Ste Croix sont usagers dans la foret des dames religieuses. Par celle de 1584, il n'est pas fait aucun reglement de l'espece du bois qu'ils doivent prendre pour leur chauffage mais qu'ils en useront en bons peres de famille et sans en abuser¹¹.

Pour pouvoir bénéficier de leurs privilèges, les habitants sont tenus de payer les censives : c'est l'acte de naissance de la charte communale qui va être reprise en 1649¹².

En 1613, un autre acte atteste que le prieuré de Sainte-Croix n'est pas rétabli à cette époque ; ses biens sont toujours tenus en séquestre.

En 1620, le monastère est relevé et de nouveaux religieux s'emploient à le rebâtir : c'est le début de conflits d'usages entre la population de Sainte-Croix Volvestre et les habitants du monastère ; ils commencent par une députation d'habitants de Sainte-Croix Volvestre auprès de madame de Fontevraud pour la supplier de les maintenir dans le privilège d'user de la forêt et autres droits¹³.

Un an plus tard, une lettre du 6 mars 1621 de l'abbesse de Fontevrauld affecte divers biens au prieuré de Sainte-Croix (dont la forêt éponyme), sous la redevance de 10 livres tournois de subsides¹⁴.

Le conflit d'usage traîne en longueur et en 1649, une transaction est passée entre la dame prieure de Sainte-Croix et les consuls et habitants dudit lieu : elle porte sur l'obligation d'entretenir 2 gardes, dont l'un payé par le monastère¹⁵ :

Par celle de 1649, les habitans pretendent prandre pour leur chauffage et usage du bois mort et mort bois et en deffaut de l'un des deux, de celluy quy se trouvera le moins utile en lad. foret¹⁶.

¹⁰ ADHG, 8 B 139 Q 33.

¹¹ ADA, H 108, *Mémoire*, s.d.

¹² Gustave DUCOS, *Sainte-Croix-Volvestre et son monastère des origines à la Révolution, 1117-1789*, op. cit., pp. 56□59.

¹³ ADHG, 8 B 139 Q 33.

¹⁴ ADA, H 105.

¹⁵ ADHG, 8 B 139 Q 33.

¹⁶ ADA, H 108, *Mémoire*, s.d.

2.1.1.2 – La forêt au temps de la Réformation

En 1661, la grande réformation des forêts du royaume est lancée ; elle concerne l'intégralité des sylvies royales, ecclésiastiques et des communautés laïques. Des commissaires sont envoyés dans chacune d'entre elles afin de les arpenter, mesurer, border et cartographier. Parallèlement, les propriétaires doivent fournir les preuves de leur propriété et les usagers, celles de leurs privilèges. Les dossiers qui en résultent fourmillent d'informations capitales : elles fournissent un véritable « instantané » de l'état forestier à l'instant « T ».

En 1667, les réformateurs atteignent le monastère, obligeant les religieuses à présenter leur temporel qui se compose ainsi :

Premièrement de la seigneurie dudit lieu et paroisse de Ste Croix et Cittas, son annexe, avec toute justice haulte, moyenne et basse, toute feodalité et diversité, desquels droits le couvent a toujours jouy en seul ou les abbesses dans le temps qu'il n'y avoit plus de religieuses depuis la fondation d'y celuy jusques a presant (...). Plus pour les cens et oublyes des biens contenus dans ladite juridction, seigneurie, paroisse de Ste Croix & Cittas, de la contenance tant de terre labourable que de vignes, bois et pasturages, de la quantité de mille deux cens quarante arpants come il apparait par l'arpantement general cy dessus déclaré qui en a esté fait par autorité de justice l'an mil six cens soixante (blanc). Le tout a un sol par chasque arpant & revenant chasque année a la some de soixate et deux livres - 62 lt¹⁷.

Les religieuses possèdent entre autre le droit de carnelage. Leur chauffage est le suivant :

De plus, nous avons de proffit prend par chaque année pour le chaufage et entretien (?) de tout le monastere dans la forest appellée de Ste Croix le nombre de deux cens cinquante charrettées, estimées comunement dans led. pais de montaigne, dix sols le char, le tout revenant a deux cent vingt & cinq livres --- 225 lt¹⁸.

Le monastère s'avère assez délabré et ne peut accueillir convenablement les 23 religieuses ; de nouveaux bâtiments sont nécessaires :

Plus vos dittes filles proliges (?) disent qu'elles ont un grandissime besoing de faire un dortoir et une infirmerie avec trois autres costés du cloistre, en en aiant qu'un presentement de rebasti et que quatorze cellules pour vingt trois religieuses, ce qui empeche fort une ponctuelle observance de la ? pour estre obligées de demeurer deux dans chaque cellules, et mesmes avec les novices et postulantes, les malades estant aussi contraintes de demeurer dans leurs chambres du dortoir pour estre privées de chambre d'infirmerie, tous les bastiments aiant este abattus deux fois jusques a fleur de terre par les ennemis de la religion comme il se verifie par proces verbaux, et autres personnes anciennes qui disent avoir veu cette desolation aiant mesme abbattu la moitié de leur eglise, n'ayant laissé de vestige, ny de marque de ce monastere que la moitié des murailles de cette eglise et de la closture, ce qui oblige a vosdittes filles au commencement du restablissement, d'employer la plus grande partie de leurs dots a rebastir laditte eglise et un dortoir composé de 14 cellules et la closture¹⁹.

La question n'est pas anodine, car elle sollicite doublement la forêt : en vendant des coupes de bois, elles peuvent récupérer du numéraire pour payer les artisans ; en coupant à leur profit, elles peuvent extraire le merrain nécessaire à la construction du dortoir et de l'infirmerie.

En parallèle, le réformateur Louis de Froidour dresse un procès-verbal de visitation du bois :

L'an mil six cens soixante sept et le vingt deuxiesme jour du mois d'aoust, nous Louis de Froidour, escuyer, seigneur de Serizy, conseiller du roy en ses conseilles, president lieutenant general civil et criminel au baillage et en la maistrise des Eaux et Forests du comté de Marle et La Fere, commissaire deputé par sa majesté pour la reformation generale des Eaux et Foretz au departement de la grande maistrise de Tholoze, sur la declaration a nous faite par Alexandre de Grand, no[t]aire ?] & arpenteur demeurant a Saint Helix auquel nous avons donné commission pour arpenter et nous rapporter ses proces verbaux des mesurages avec les plans et figures du bois et forestz appartenans au roy et aux communautez ecclesiastiques & seculieres en l'etendue de l'evesché de Rieux. Que s'estant transporté en la forest de Sainte Croix pour en faire le mesurage, il avoit sté empesché de ce faire par l'ordre de la dame de Rabat, prieure du couvent des religieuses de Sainte Croix, ordre de Fontrevaux, qui pretendoit que ladite forest leur appartient en proprieté. Auquel arpentage pour cet effet il n'avoit pü vacquer nonobstant les ordres que nous luy en avons donnez, et sur la remonstrance qui nous a esté faite par le sieur de Panneboeuf, susbtitue du procureur du roy que ladite forest se trouvant en nostre chemin pour la visitation des forestz du pays de Comminge qui sont dans les montagnes, il estoit important que nous en fissions la visite. Avons ordonné audit de Gran et mesmes a Francois Rey,

¹⁷ ADA, H 105, Estat general du revenu du prieure & monastere de Sainte Croix fait suivant l'ordonance de madame de Fontebraud, chef et generale de l'ordre de Fontebraud, 7 décembre 1667.

¹⁸ Ibidem.

¹⁹ Ibidem.

arpenteur estant a nostre suite de s'y transporter incessamment pour en faire la reconnoissance et nous y attendre au lendemain matin. Lequel jour estant advenu, nous, commissaire susdit, accompagné dudit sieur de Panneboeuf, de Jean Agede, marchand demeurant a Saint Helix et de Germain Rives, marchand demeurant a Montbrun, expertz en fait de bois & de maistre Pierre Bertrand nostre greffier, nous sommes transportez en lad. forest dite de Sainte Croix, assise sur le bord de la petite riviere de Volpe dans la juridiction et consulat du lieu de Sainte Croix, distant de deux lieues des portes de Cazeret et Tersac, et de deux lieux et demye de celui de Saint Julien sur Garonne. Laquelle forest nous avons veue et visitée a l'indication desdits arpenteurs trouvés sur les lieux et reconnu qu'elle est en une assiete fort bossue et montueuse ainsy que tout le pays de cette contrée, que le fonds en est bon et qu'elle peut estre de la concistance d'environ trois cens arpens, tenant du costé d'orient au grand chemin qui conduit de Sainte Croix a Saint Girons, d'occident et septentrion aux terres des religieuses du couvent de Sainte Croix ordre de Fontevraux, et du midi y'a quelques terres en friche. Lesquels trois cens arpens de bois sont distinguez et separez en trois triages par deux ruisseaux appellez le rieu Ela et le rieu de Biquette, dont le premier et le plus considerable est appellé les Couraux, qui peut contenir cent cinquante arpens ou environ, plantez en bois de sapins de belle essence et de belle venue, de differens aages depuis vingt, jusqu'à quarante ans, de hauteur & grosseur proportionnées audit aage, depuis un jusqu'à trois pieds et parmy lesdits bois de sapins quelques chesnes de belle hauteur, peu considerables neanmoins et en tres petit nombre sur la proportion d'un pour deux a trois cens sapins, dans lequel triage nous avons reconnu quelques legers delits. Le second triage, separé du precedent par le rieu Ela, est appellé Macharage et contient environ cent arpens plantez de chesnes d'essence de fustaye et demye fustaie de differens aages et grosseurs depuis cinquante jusqu'a cent & cent vingt ans, d'assez belle venue et de trois, quatre, cinq et six pieds au plus de tour dont plusieurs sont gelez. Lesquels arbres nous avons trouvez clairsemez, paroissant qu'on en a coupé un tiers ou environ par delit à deux pieds hors de terre la pluspart, ce qui cause la ruyne dudit triage, d'autant plustost que comme toutes sortes de bestiaux boeufs, moutons & chevres vont paturer incessamment en icelluy ainsy que nous l'avons veu a mesme temps que l'on en a coupé, il n'en restoit jamais aucun, tant parce que cette maniere a eu fini de couper les arbres a deux piedz hors de terre est cause que les souches ne poussent aucun rejet, qu'a cause que le peu qu'elles peuvent couper et que ce qui est produit par la semance & glandz qui tombent des arbres sont devorez a mesme temps par les bestiaux, les coupes par delit et par piedz d'arbres donnant lieu a cette ruine irreparable. Le troisieme triage est séparé des autres par le ruissau de Biquette et contient environ cinquante arpens plantez en bois de hestre d'essence de fustaye de soixante a quatre vingtz ans dans laquelle nous avons trouvé quelques legers delitz. Et nous estant informez des gens dud. lieu de Sainte Croix a qui lesdits bois appartenoient et de la maniere dont l'exploitation s'en faisoit, nous avons appris que la propriété estoit pretendue par lesdites religieuses qui y prenoient le bois necessaire pour la confection & entretien de leurs batiments, pour leurs arratoires et autres commoditez et pour leur chauffage et s'en servoient aussy pour le paturage de leurs bestiaux, et que les habitans dudit lieu jouissoient de la faculté d'y prendre aussy du bois pour leurs bastimens & chauffages & d'y faire paturer leurs bestiaux et que pour cela tant lesdites religieuses qu'habitans y faisoient couper du bois leurs besoins ainsy que bon leur sembloit, sans regle et sans mesure, et n'en faisoient autre debit sauf que depuis deux ans, ledit Agede par l'ordre du sieur de Seuil, commissaire de la Marine, y avoit marqué vingt trois piedz de chesnes pour faire du bordage dont on en a abbattu & façonné huit, le reste estant demeuré a façonner a cause des menances que les habitans dud. lieu de Sainte Croix faisoient aux ouvriers de les tuer s'ils continuoient ledit travail. Ce qui a fait quitter et abandonner ausditz ouvriers lesd. ouvrages a la (?) desquels ledit Agede n'a pu tenir la main, tant a cause que led. sieur de Seuil quitta la province que parce que pendant qu'on travailloit a cela, ledit Agede est tombé dans une maladie qui lui a duré dix huit a vingt mois. Et tout ce que dessus fait, nous, sur la resqueste dudit Panneboeuf audit nom, avons ordonné que lesdites religieuses ensemble lesdits habitans de Sainte Croix seront assignez pour représenter les titres des droits par eux pretendus en ladite forest, et que par ledit de Grand, il sera incessamment procedé au mesurage et arpentage de ladite forest, pour le tout fait, communiqué au procureur du roy, luy ouy en ses conclusions estre fait droit et donné tel reglement qu'il appartiendra, dont et de tout ce que dessus nous aurions fait et dressé le proces verbal le vingt troisieme jour dudit mois d'aoust mil six cens soixante sept. De Froidour, Panneboeuf procureur du roy, Aede, Moreaut, Bertrand²⁰.

C'est pour le réformateur, la première fois qu'il rencontre des sapins. Homme du nord, il est saisi par leur qualité :

Elles (les religieuses de Sainte-Croix Volvestre) ont une forest ainsy que je vous ay dit cy dessus, laquelle je visitay et c'est la premiere que j'ay veüe plantée de sapins. J'ay eu grand plaisir à voir cette sorte d'arbres qui sont hauts de soixante, quatre vingts et cent pieds, droits comme des flèches et sans branches qu'au houppié. Ces arbres ne viennent que dans des lieux froids et humides et que de semence. A l'aage de quarante ans, ils commencent a estre beaux pour des sollives et a cent pour les poultries. On peut les couper pendant toutes les saisons de l'année pourvu que ce soit auparavant la plaine lune. Les meilleurs sont ceux dont on n'a point tiré la sève, je crois que vous savez bien que leur

²⁰ ADHG, 8 B 139 Q 33, Procès-verbal de vision de la forêt de Sainte-Croix, 22 août 1667

sève est ce que nous appellons térébentine que l'on tire à la mesme saison en laquelle tous les autres arbres sont en sève, qui est à dire en avril et may²¹.

Malgré l'opposition des religieuses, Froidour parvient à faire arpenter le bois :

Lequel afforet est scitué sur de penchans et en plaine qui regardent partie d'iceux le levant, midi et septantrion et sur un terrain de terre fort bastart qui est de la contenance de dix arpens du costé de septantrion et le restant sur de boubenne blanche et en terre boubenne sabluze. Dans lequel afforet avons remarqué y avoir de ballibeaux de chesnes de hauteur de six, huit, dix, douter et a saize cannes et de tour carré au pied d'iceux d'un pan, un pan et demy a deux pans, ayant de circonférence l'un de l'autre de trois, quatre, six, huit et doutze cannes. Parmi lesquels avons aussi remarqué qu'il en y a de coupés au pied un cinquiesme depuis longtemps ainsy qu'il nous a appareu par les sousches, vers le quartier de Las Cabannisses, commançant au levant jusques aux ruisseaux, et vers le couchant jusques ausy aux ruisseaux, les ballibeaux qui y sont ont de circonférence l'un de l'autre d'une, deux, trois, quatre et a cinq cannes. Dans lequel quartier avons remarqué en y avoir de coupés et depuis longues années un dixiesme ainsy qu'il nous a appareu par les sousches ; auquel quartier avons remarqué y avoir deux arpens de terre herme broucau ; comme ausy avons remarqué dans led. afforet qu'il y a de bois de haistre et chesne tout ensemble, et les baillibeaux dud. chesne estre de hauteur de six, huit, dix et a doutze cannes et de tour carré au pied d'iceux d'un pan et demy a deux pans, et ceux de haistre de hauteur de huit, dix, doutze et a quatorze cannes et de grandeur de tour carré au pied d'iceux, de deux et a trois pans et demy, ayant de circonférence l'un de l'autre de deux, trois, quatre, et a cinq cannes. Dans lequel quartier avons remarqué n'y avoir baillibeaux de coupés qu'un doutziesme, lequel bois de haistre est sur le penchant qui regarde le levant, quartier appelé Poutservé. Comme aussi il y a dans led. afforet cent doutze arpens de bois sapin scitués sur le penchant qui regarde le septantrion, dans lequel il y a des baillibeaux de hauteur de deux, trois, cinq, huit, dix, doutze saitze et dix huit cannes, ayant le tout carré au pied d'un quart de pan, demy pan, un pan, un pan et demy et a deux pans et demy, ayant de circonférence l'un de l'autre, un, deux, trois, quatre, et a cinq pans. Comme aussi avons remarqué qu'au long dud. bois sapin, il y passe un ruisseau appelé du pas de la Bassie qui vient du coste de midy et sort dud. afforet au costé de levant dans lequel il s'y joint deux autres ruisseaux, l'un nommé de la Biquette et l'autre du Maharaige qui viennent du costé de couchant dans led. afforet et au long dud. ruisseau appelé de la Bassie, avons remarqué qu'il y a de bois de ber [sic] de hauteur de deux cannes et a chasque costé dud. ruisseau, la largeur de trois escatz dans lequel mesme afforet vers le quartier appelé las Cabannisses, il y a quatre arpens de terre herme broucau. Comme aussi avons remarqué que parmi les sousches des arbres coupés, il en y a de freschement depuis deux ou trois ans cent cinquante desquelz led. Merlé a dit que de coupeurs lionnois vindrent [sic] de la part du roy et du consentement desd. dames religieuses qui en auroint coupé a leur discreption les plus beaux - environ cinquante - qu'ils assierent pour en faire des ais pour les affaires du roy. Et plus avons ausy remarqué qu'il y vient grand quantité de pieds de chesne et nous avons trouvé qu'ils ont été mangés et abrottis par de bestails qu'est cause que led. bois et afforet ne se peust garnir, lequel afforet avons trouvé estre de la contenance de trois centz trante six arpens deux mesures...²²

Finalement, les religieuses changent d'opinion et pensent pouvoir utiliser le réformateur pour faire casser les concessions d'usage consenties aux habitants :

Ladite forest se trouve entierement ruinée et depeulée et que ce degast et degradation a este commise par les habitans dud. Ste Croix et autres cirvoncoisins, le suppliant auroit baillé requette par devant vous monsieur (Froidour) a ce que lesdits habitans ou aucuns d'eux qui ont commis le degast et degradation feussent assignés pour se voir comdenner aux damages et intheretz et en l'amande mais les assignés pour croire se mettre a couvert de ladite condensation ont fait signifier certaine transaction de l'année mil six cens quarante neufz par laquelle ils prethandent que la concession de prandre de toute sorte de bois pour leur chauffage, bastisse et construction de leurs maisons leur est accordée moyennant certaine quantité de gran et d'autant que la concession accordée auxdits habitans par la sudite transaction est une veritable alienation et que les alienations des biens de l'eglize sont prohibes par le droit que sy ceste concession subsistoit, elle yroit a la ruine entiere dudit monastaire, parce que la forest est leur principal manoir et de laquelle elles restirent leur plus grande subsistance, que d'ailleurs les relligieuses qui ont accordé ladite prethandeuë concession n'ont peu rien faire au prejudice des relligieuses qui sont de present et seront a l'advenir dans ledit monastaire. A ces cauze il vous plaira de vos graces monsieur casser la prethandeuë transaction dudit jour... le XXI avril 1668²³.

²¹ Paul de CASTÉLAN, *Lettres écrites par M. de Froidour, grand maître enquêteur et général informateur des Eaux et Forêts au département de la grande maîtrise de Languedoc à M. de Hericourt, son procureur général à Toulouse et à M. de Medon, conseiller au présidial de Toulouse, publiées avec des notes par M. Paul de Casteran*, Auch, Imprimerie et lithographie G. Foix, 1899, p. 11.

²² ADHG, 8 B 139 Q 33, *Procès-verbal d'arpentage*, 28 avril 1668.

²³ ADA, H 108, *Supplique*, 21 avril 1668.

Sur ces pièces, les procès ont lieu. Les religieuses sont confortées dans leur droit de propriété ; elles le conservent jusqu'à la Révolution. Les consuls sont condamnés à 60 Lt d'amende pour les dégradations de leurs bestiaux, mais conservent leurs usages :

Lesdits habitans jouiront dudit usage ainsy qu'il ensuit. Premierement, pourront envoyer pasturer leurs bestiaux dans lesdits bois ainsy que lesdites religieuses et leurs matayers et fermiers, excepté les moutons, brebis et chevres prohibez par les ordonnances dans les hautes fustayes et autres endroits qui auront esté auparavant declarez deffensables par les officiers de la maistrise particuliere de Eaües et Forests dans le ressort de laquelle lesdits bois seront scituez, leur faisant deffenses de contrevenir a ce que dessus a peine d'amende et de confiscation au proffit desdites religieuses.

Avons ordonné qu'ils jouiront du glandage pour les porcs de leur nourriture seulement et sans pouvoir amasser gland ny faine et de l'usage du bois a l'effet de prendre en ladite forest leur chauffage en bois mort et mort bois seulement, et sans excès ny abus. Et a deffaut desdites deux sortes de bois, en prendre d'autre du moins utile et moins dommageable, ce qu'ils ne pourront faire que par permission et deslivrance des officiers desdites religieuses qui leur indiqueront les lieux et endroits et le bois qu'ils pourront couper sans que les hostelains et ouvriers qui consomment du bois en leur mestiers puissent jouir dudit usage. Comme encore pouvoir prendre audit bois ce qui leur sera necessaire pour leurs instruments aratoires par deslivrance desdits officiers et non autrement a peine d'estre traittez comme delinquants.

Et finalement jouiront du droit de pouvoir prendre pour bastir leurs maisons, mettairies et bastiments en dependans et mesme pour l'entretien du moulin et ce par marque et livrée desdits officiers apres qu'il leur sera apparu de la ncessité qu'il y aura et a la charge qu'il n'en pourra estre couppé plus grande quantité que ce qui aura esté marqué, a peine d'encourir les amandes et restitutions portées par les ordonnances au proffit desdites religieuses. A laquelle fin lesdits officiers seront tenus de faire le recollement de la coupe pour estre procedé contre les delinquants ainsy qu'il appartiendra et seront tenus lesdits habitans de justifier dans l'année l'entier employ de ce qui leur aura esté deslivré a peine des amendes et restitutions pour ce qui ne se trouvera employé, faisant deffences auxdits habitans d'exploiter lesdits usages autrement que dessus est dit.

Deffences aussy leur sont faites conformement auxdites transactions de se servir dudit bois pour les paissieres des moulins, pour faire douelles de barriques, tines, semals, tonneaux, pelles et pallons, de faire aucun commerce dudit bois et de contrevenir a tout ce que dessus, aux peines y contenües et mesme de privation dudit usage en cas de recidivie pour la quatriemes fois.

Et d'autant que lesdits bois sont considerablement degradez et depeuplez par les diverses coupes qui y ont esté faites par les delinquants par pieds d'arbres, avons ordonné et ordonnons qu'a fraix communs, il en sera par chacun an labouré la quantité de deux arpens ou il sera replanté du bois ou jetté de la semance de chesne, fau et sapin jusques a ce que le tout se trouve repeuplé de bois, des frais duquel replantement ou jet de semences desdites religieuses seront tenües d'un tiers et lesdits habitans des deux autres²⁴.

Dès l'époque de la réformation, la forêt est globalement perçue comme dégradée et dépeuplée. C'est pour y remédier que des plantations sont imposées : le sapin est considéré comme une ressource utile puisqu'il est recommandé de le planter au même titre que le hêtre et le chêne. Parallèlement, la forêt est organisée en quartiers à couper de suite en suite et de proche en proche, avec un âge de coupe de 15 ans, 20 baliveaux par arpents qui ne pourront être coupés avant 40 ans. Le terme écoulé, il ne pourra s'en couper que 5/6 par an.

L'intérêt accordé au sapin ne cesse de croître à partir de cette période. En 1684, 2500 pieds d'arbre sont réservés pour être employés au service du roi dans les ateliers de Rochefort, déclenchant les protestations des habitants qui s'estiment lésés dans leur usage :

Le conseil de madame (...) est d'avis que si la vante de deux mil cinq cens pieds d'arbres estoit bonne et avantageuse au profit des dames de Sainte Croix et qu'il n'y eust point de lesion dans le prix, qu'elle se peut soubstenir, nonobstant le privilege des habitants de Sainte Croix parce que ce boys estant vandus pour le service du roy et pour estre employé aux ateliers de Rochefort, il sera facile et madame Lebbesse de force autoriser cette vante un arrest du conseil du roy qui derogera en l'ordonnance qui deffand aux gans d'eglise d'abattre du bois sans permission du roy. Et lequel arrest sans avoir esgard a l'opposition des habitans de Sainte Croix les en debouter²⁵.

Il est possible que la procédure de blocage ait débouchée sur la visite du grand maître Dumond en 1696. Visite qui a donné lieu à un procès-verbal. Mais sans précisions supplémentaires, il est impossible d'en connaître la visée et le contenu.

²⁴ ADHG, 8 B 021, f°361 r, Procès contre les religieuses de Sainte-Croix-Volvestre assignées pour répondre sur les délits et dégradations commis sur la forêt dudit lieu ; et les religieuses de Sainte-Croix-Volvestre contre les consuls et habitants de Sainte-Croix-Volvestre, 29 juillet 1668.

²⁵ ADA, H 108, Avis du conseil de madame l'abbesse, 8 mai 1684.

2.1.1.3 – Une interprétation cartographique de la forêt de Ste-Croix au temps de la réformation

Les descriptions faites lors de la visite de Froidour en 1667 et par l'arpenteur en 1668 posent des problèmes d'interprétation. D'une part, la toponymie utilisée n'est pas exactement la même, que ce soit pour les cours d'eau ou les quartiers de la forêt, et elle a complètement changé dans les documents contemporains, qu'il s'agisse du cadastre ou des cartes topographiques et des plans forestiers. D'autre part, la description des peuplements varie fortement entre les deux textes. Enfin, la localisation exacte des quartiers et des bois décrits est assez difficile et sujette à des interprétations pouvant diverger. Nous allons tenter ici une synthèse cartographique, pour essayer d'éclairer le paysage de la forêt à cette époque.

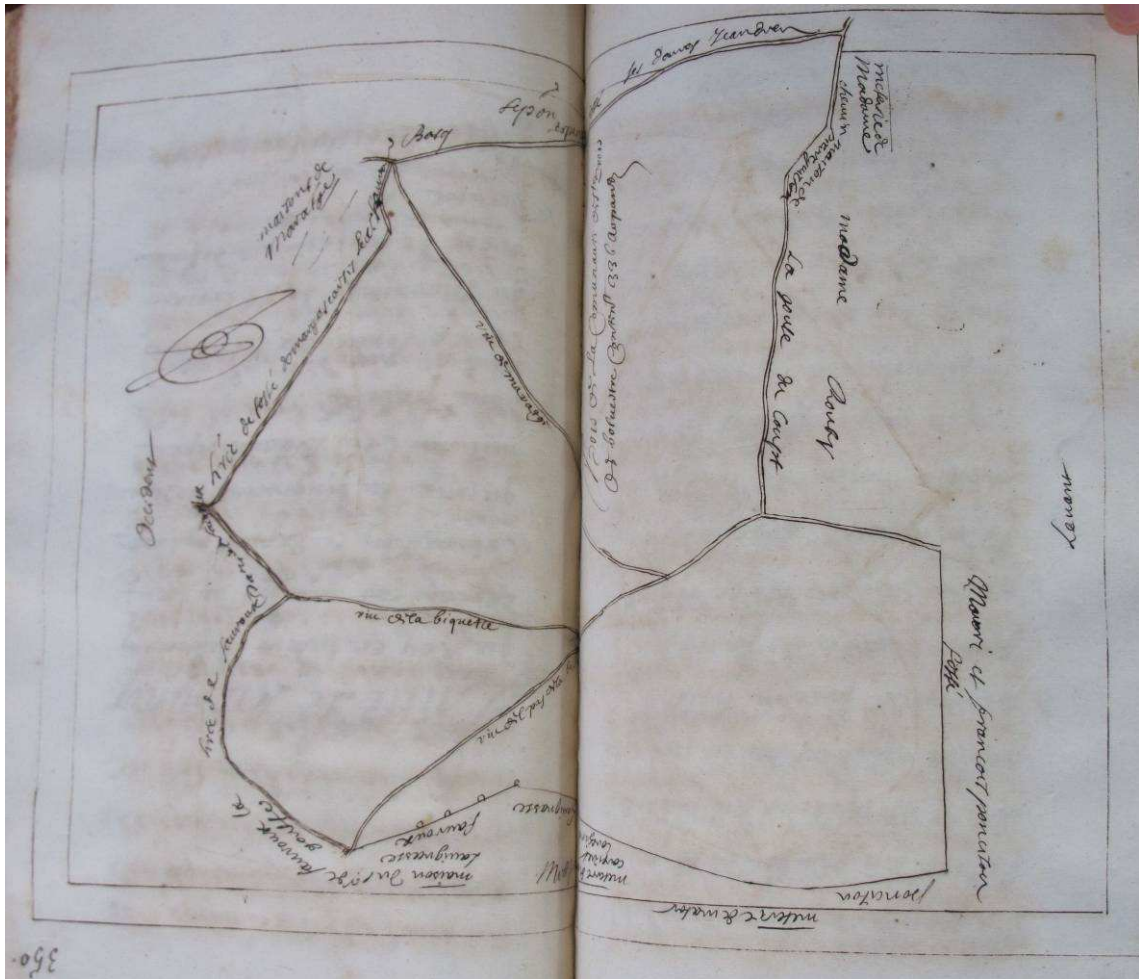


Figure 2 - Carte du procès verbal d'arpentage du 28 avril 1668

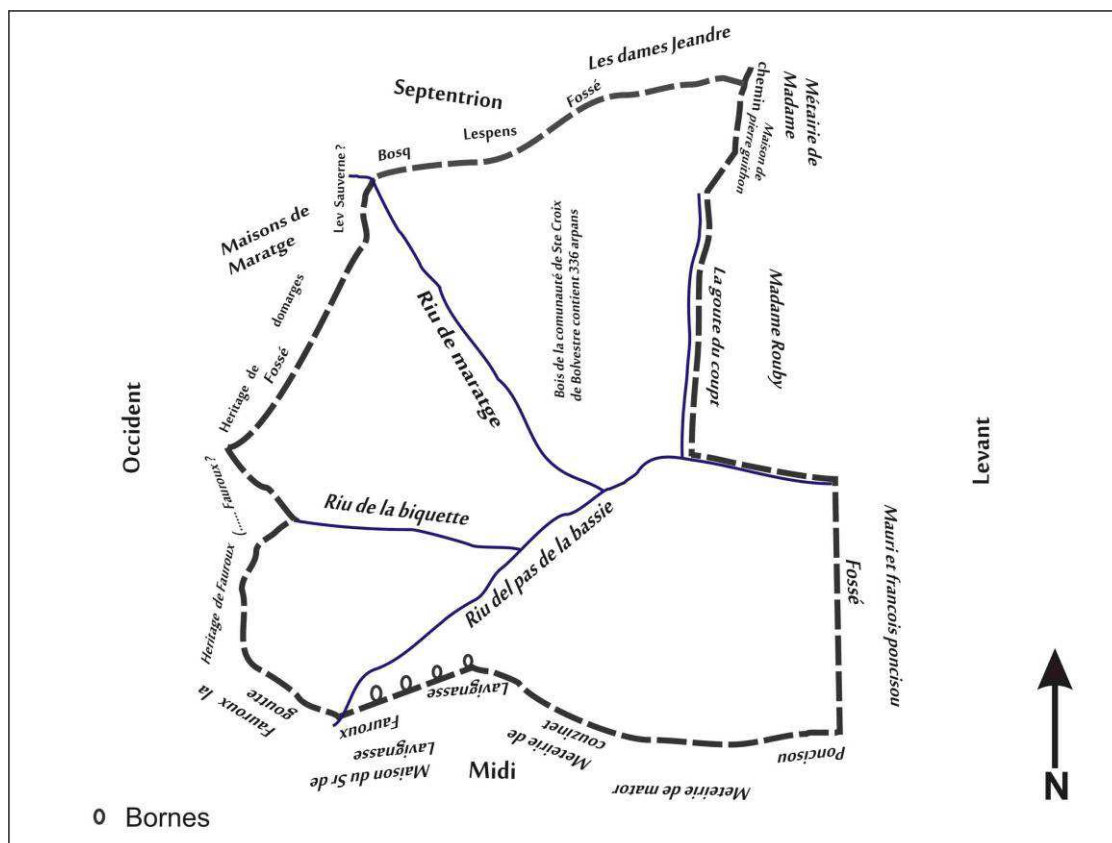


Figure 3 - Retranscription du plan de 1668

Le levé de ce plan s'avère assez précis ; on y reconnaît sans peine la forme de la forêt actuelle, même si la partie nord de la forêt est déformée et deux fois plus grande qu'elle devrait. Les principaux cours d'eau sont levés et nommés ; leur orientation est cependant faussée, la partie ouest de la forêt étant déplacée vers le nord. Le ruisseau de Maratge correspond à l'actuel ruisseau de Sabine, appelé également ruisseau de la Houjadette sur le cadastre ; le ruisseau du Pas de la Bassie correspond lui à l'actuel ruisseau de la Forêt, qui est également nommé ruisseau de la Biquette dans sa partie amont. Ce toponyme se retrouve encore aujourd'hui dans la même zone sud-ouest de la forêt, sous forme d'un quartier du cadastre appelé « Piquetto ». On peut déjà signaler que, dans le texte de la visite de Froidour, ce ruisseau du Pas de la Bassie est nommé ruisseau Ela et il n'y est pas question du ruisseau de Maratge, bien qu'un quartier « Macharage » soit décrit. Enfin, on trouve mention de la « Goute du coupt », qui forme la limite est de la forêt en rejoignant le ruisseau du Pas de la Bassie ; il s'agit de l'actuel ruisseau des Cotes.

Parmi les éléments notés, on trouve la mention de fossés sur la limite ouest près de Maharage, au nord, et à l'est en limite du quartier appelé aujourd'hui « les Oustalots ».

Enfin plusieurs métairies et les différents propriétaires des parcelles voisines sont nommés. L'ensemble donne une vision de la forêt et de ses environs au XVII^e siècle qui l'on retrouvera pratiquement inchangée au XIX^e siècle.

Les peuplements forestiers qui sont décrits en 1667 et 1668 restent assez difficiles à localiser précisément. Les cartes très schématiques que nous présentons ici permettent cependant une interprétation générale qui se recoupe de l'une à l'autre.

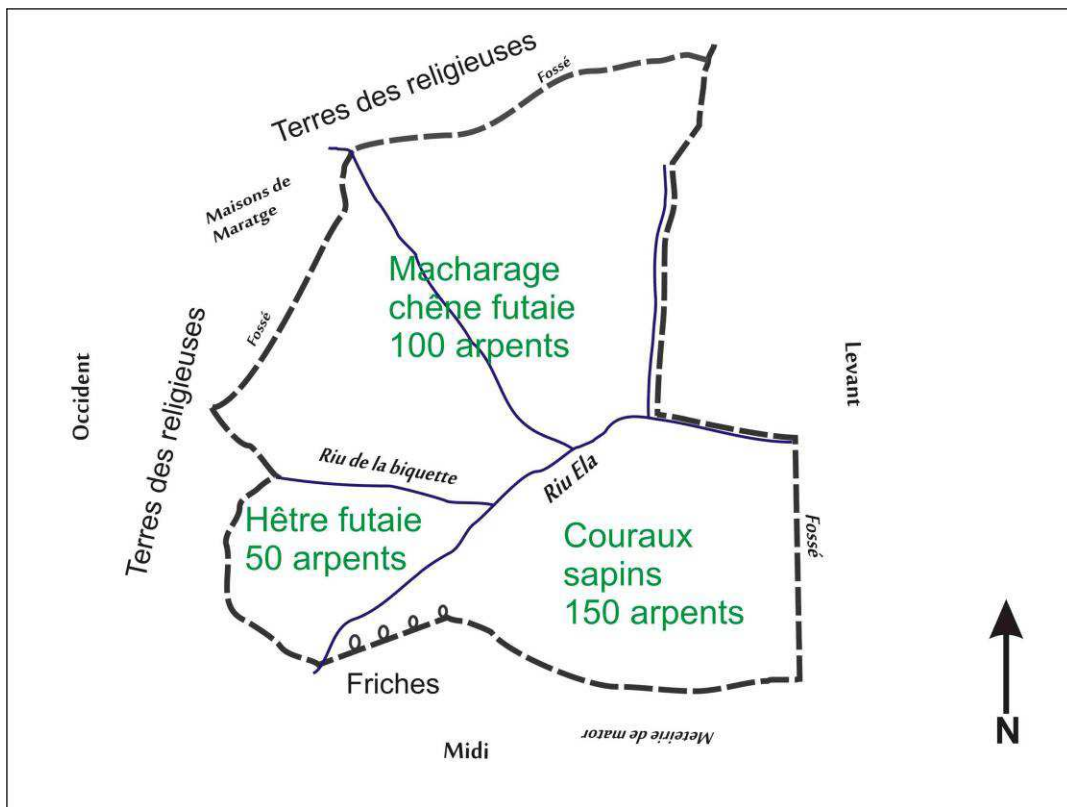


Figure 4 - Visite de 1667

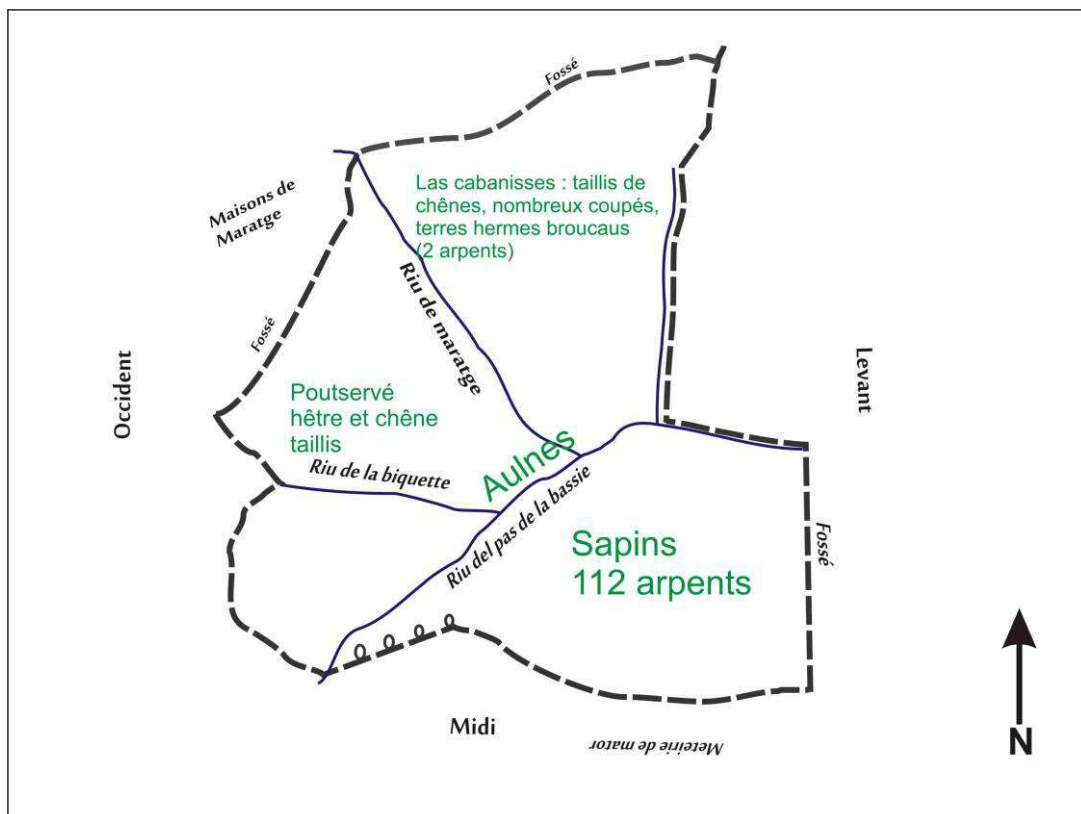


Figure 5 - Arpentage de 1668

Froidour, lors de sa visite, décrit trois quartiers : celui de la sapinière, « Couraux », estimé à 150 arpents, celui de « Macharage », au-delà du ruisseau Ela, qui est composé de chêne en futaie (estimé à 100 arpents) et enfin celui de la hêtraie en futaie (estimé à 50 arpents) qui peut être localisé au sud du ruisseau de la Biquette.

Le procès-verbal d'arpentage décrit le même canton de sapinière au sud (112 arpents) ; au nord, c'est le quartier « Las Cabanisses », composé de taillis de chêne, avec des hêtres et des « terres hermes broucaus », ce qui semble bien correspondre aux peuplements dégradés des quartiers actuels de « Houjadette » et « Tucaou del loup » ; enfin on trouve le quartier « Poutservé » (hêtre et chêne en taillis), qui peut se localiser dans l'actuelle parcelle « Pouxervé » du cadastre, qui est aujourd'hui en grande partie une hêtraie sur souche.

En dépit de certaines contradictions sur la physionomie des peuplements, qui peuvent être mis sur le compte de la rapidité de la première visite, on peut constater suffisamment de convergences pour aboutir à une vision cohérente du paysage de la forêt :

- une sapinière-hêtraie au sud de la vallée des ruisseaux du Pas de la Bassie et de la Biquette (dans les 160 à 200 arpents, soit 80 à 100 ha) ;
- et dans la partie nord de la forêt (dans les limites actuelles de la forêt domaniale) une forêt mixte chêne-hêtre mélangeant taillis, futaie, taillis sous futaie, largement pastoralisée et dégradée par les prélèvements ; la présence de métairies et hameaux à proximité immédiate : Maharage, Sabine, le cap del Cami, le cap de la Vède...) explique la pression sur le boisement. Il doit y avoir également des sapins, qui ne sont pas relevés mais sont aujourd'hui abondants dans les fonds de vallons et devaient l'être aussi à cette époque.

Il est noté une autre essence : l'aulne (« bois de ber »), qui est présent près des ruisseaux et en particulier le long du Pas de la Bassie. Par contre, il n'est nulle part fait mention du châtaignier, ce qui est remarquable en raison de son abondance actuelle aussi bien dans les zones de forêt éclaircie et dégradée des quartiers du nord que dans les limites sud.

2.1.1.4 – L'évolution de la forêt au XVIIIe siècle

En 1730, l'inventaire du monastère atteste que les religieuses tirent 300 lt de chauffage de leur forêt²⁶ :

De plus une afforest d'environ cent arpents dont les habitants y ont le chauffage et battir, qui sert au convent pour le chauffage, estimé led. chauffage à trois cens livres²⁷.

Un nouvel arpentage, incluant un plan de coupe, est mené par le grand maître des Eaux et Forêts. Si le procès-verbal n'a pas été retrouvé, une déclaration des dames religieuses de 1757 en cite la quintessence :

En un bois de contenance de 376 arpents suivant le proces verbal du grand maitre des eaux et forets sur la reformation dud. bois du 28 7bre 1746 quy en met en reserve la quatrieme partie et le surplus divise en 25 coupes, et ordonne aux dames religieuses de les faire exploiter a (...?) couper ras de terre que le faire ce pourra, tout ce bois estant abrouty et abougry par les bestiaux, les vantes des jeunes sapins quy ont ete faites depuis 1745 jusqu'a 1753 que financierement (?) les coupes ou il se trouvoit du sapin produisent année communement fournie (?) sur les 10 années deux cent soixante six livres dix deniers... 266lt²⁸.

Dans le même temps, le grand maître rend une ordonnance pour établir un garde forestier, avec 130 lt de gages. Le motif impérieux de l'ordonnance laisse à penser que la prescription des réformateurs du siècle précédent était restée lettre morte...

Peu après, la mise à jour du terrier de Sainte-Croix Volvestre amène à dresser les plans de la ville, incluant le plan des quartiers de la forêt et du Cap de Lavedes²⁹.

²⁶ Qui a augmenté par rapport à ce lui présenté lors de la réformation.

²⁷ ADA, H 105, Copie de la déclaration fournie par les dames religieuses, 6 septembre 1757

²⁸ Ibidem.

²⁹ ADA, 116 EDT CC2, Plans de Sainte-Croix, plan des quartiers de la forêt et du Cap de Lanvedes, 1748.

En 1761, les dames de Sainte-Croix adressent une requête au maître particulier de Comminges contre les habitants qui s'opposent à la coupe ordinaire sous prétexte d'usage et déplacent les bornes³⁰. Cette fronde nécessite un nouvel arpentage qui est effectué en 1763³¹.

Il faut finalement attendre 1773 pour que l'institution forestière entreprenne de faire la différenciation entre les coupes de chêne et de sapin. À partir de cette date, les sapins sont coupés en coupes de 40 ans et le chêne en 25 ans. De plus, le sapin doit être réservé pour les réparations et il est interdit d'en couper s'ils n'ont pas 3 pieds de tour³².

7 ans plus tard, en 1780, une coupe de 500 sapins et de 22 chênes débouche sur un procès :

« En 1780, le 12 mars, Mr de Gariscan permit la vente de 500 arbres sapins et 22 chenes qui furent frappés de son marteau et vendus au profit des religieuses (...). Coupes qui jusqu'a l'année dernière ont été très désordonnées et totalement dévastées de quoy on pourra aisement se convaincre. Et cependant sur la plainte des usagers et oppositions par eux formées, Mr de Gariscan fit une descente et on verra par son verbal de vérification cy coté n°2 du 21 may 1781 qu'il trouva lad. forest dans le meilleur ordre du monde fausseté (?) qu'il est très aisé de prouver. On peut également s'apercevoir qu'il se contraria bien par son dernier verbal de visite ou il démontre tant des délits et désordres commis par lesdits dans cette pièce est déjà à Pamiers ainsi que la dernière ordonnance rendue en faveur de damelle par Mr de Bastard et sollicitée par Mr de Gariscan. Requête par laquelle ces dames ne demandoient (?) que la permission d'en couper 500 et cependant il leur fut permis d'en exploiter 900 sans doute qu'à cette époque ce Mr (?) avoit des vues d'intérêt et qu'ils ne tendroient pas à la conservation de lad. forest puisqu'au préjudice de l'aménagement de Mr de Raimois (?). Pièce délit consignée dans son greffe sur laquelle il s'appuie tant il a permis d'intercepter les coupes toutes antérieures que postérieures prohibées. Cependant, par ladite ordonnance du 12e mars 1726 cy cotée n°3 suivie d'autre ordonnance de Mr de Bastard du 19e 7bre 1773 cy cotée n°4 qui règle l'aménagement de lad. forest et défend au pe (?) d'intercepter lesd. coupes. Des raisons particulières l'ont engagé à s'y prêter jusqu'à l'année dernière 1782. Le mystère est aisé à dévoiler : il n'a plus de filles pensionnaires dans ledit monastère. D'ailleurs, le depositaire ne luy a pas témoigné vouloir se prêter à toutes les manœuvres (?) qu'il y a formées depuis un temps immémorial, partie des raisons qui l'ont si fort indisposé, tant pour la découverte des prétendus délits, que pour les jugements contradictoires qu'il a rendus le dénommé (?) Guilet de Freiche date (?) et après ...? fut rendu en faveur d'un nommé de May, semalier voisin de la forest, jouissance ...? d'une très mauvaise réputation contre les dames religieuses ...? en vertu d'un verbal qui fut fait contre le susnommé à la requête de L'huillet, garde bois desdites dames, portant qu'ayant trouvé chez luy grande quantité du bois sapin fraîchement coupé et conforme aux souches qu'il venoit de vérifier à lad. forest. L'ayant réelement reconnu appartenir auxd. dames, ils l'auroient de suite saisi et fait déplacer de chez luy. Ce qu'ayant fait, elles auroient de suite envoyé ledit verbal à Mrs les officiers de Saint Gaudens qui, sur la juste demande des requérantes et Mr de Gariscan luy même, auroient rendu une ordonnance qui permettoit à ces dames de faire vendre ledit bois marrain et en traduire le fonds entre les mains de leur syndic. Ce qui fut fait, l'adversaire s'étant même défendu par requête avant lad. ordonnance rendue qui a été envoyée à Toulouse avec le jugement pour être consultée, ce qui l'empêche de la joindre avec lesdites pièces à suite de laquelle Mr de Gariscan écrivit une lettre d'avis sans signature à la vérité à ces dames dont on verra le contenu cotée n°5 et au préjudice de cette ordonnance lettres et avis particuliers, il a condamné lesdites dames à rendre le susdit bois marrain en nature au délinquant et même à le faire porter chez luy, en 50lt d'amende envers le roy et à tous les frais ou demande si ce jugement est équitable et ou fait dériver le grief d'un défaut de somme, disant que la copie n'avoit pas été signée par ceux qui avoient signé l'original, elle estoit du garde. Seulement laponitement (?) est aussi à Toulouse pour y être consulté. Notes encore que Mr de Gariscan avant de rendre le jugement en faveur dudit de May deux mois d'avance (sic) eut jugé un autre verbal contre le même portant délits considérables faits à ladite forêt et violence de même contre les consuls qui avoient été requis pour lad. recherche il fut encore instruit d'une procédure et décret au corps ; quel s'en suivit un arrangement par acte public faits à la sollicitation de plusieurs particuliers portant que ledit de May et son complice payeront 160lt de frais faits, qu'il ne pourroit plus couper du bois dans son bois contigu à la forêt qu'après une dénonciation faite au greffe de la Cès, qu'il paya pourtant 80lt d'amende à l'église à la distribution volontaire des consuls, avec réserve de la force du décret en cas de récidive et finalement, que l'acte seroit affiché partout ou on aviseroit pour donner de la terreur aux méchants. Voilà la réputation dont jouit ledit de May, protégé de Mr de Gariscan qui n'agit sûrement que par des vues particulières quand aux défrichements et brûlemens dont il est question dans son dernier verbal. On luy prouvera qu'étant au cours de visite et parvenu audit cartier de marouse, le plan de la forêt à la main, il méprisa ce local au point qu'il ne le contra pas sur ledit plan, ce fonds étant tout à fait mauvais, entièrement abouygré, qu'il proposa et offrit à plusieurs voisins d'affermir et dans le même temps il y fit piocher pour la marquer, la contenance qui est à peu près de dix arpens, ramenés et circonstanciés dans l'aménagement de Mr de Raimont cy déjà coté n°3 à f°8. On verra donc que si ces dames ont aliéné ce fonds, ce n'a été qu'à suite de son avis ; quand aux abolis de la présente année vendus par lesd. ...? elles n'eurent point la prétention de faire faire de verbaux si l'enquête est nécessaire, elles la firent aisément. Vous trouverez encore les procès verbaux ...? de la forêt de Sainte Croix fait par sieur Dumond, grand maître en 1696, du 21 mars ci coté n°6. Vous en faites l'usage que vous aviserez,

³⁰ ADA H 108, Requête et ordonnance du maître particulier de Comminges, 6 avril 1761.

³¹ Ibidem, Relation du sieur arpenteur pour le remplacement des bornes provisoires, 7 mars 1763.

³² Ibidem, Permission de diviser les coupes du bois chêne en 25 coupes et les sapins en 40, 19 septembre 1773.

quoiqu'il en soit, il est aisé de démontrer la mauvaise administration de Mr de Gariscan tout nous engage a nous soustraire de sa mouvance le plus grand motif, celui de recourir a de juges impartiaux et equitables et d'abandonner le protulieu (?) des usurpateurs se trouvant presque sesaillies (sic) ayant marié une fille avec Mr Lacotine, notaire de ce lieu, parent de la majeure partie de semaliers voisins de la forest, exerçant leur maitier journelement sans avoir du bois en propriété, ni par acquisition tous elayes (?) du susnommé. Voila Mrs encore un surcroit de nos malheures, notés que dans cette cirscouste (?) toute favorable a leur procedes, ils coupent des arbres journelement et a toute essinte (?), profitent de la vacance du garde et au litige actuel³³.

En 1781, le monastère ne semble plus renfermer de moniales. Malgré l'absence de religieuses, l'abbesse obtient du maître particulier de Comminges et du grand maître de Guyenne l'autorisation d'exploiter les chablis des ouragans de 1779, 1781, 1785. La forêt est en bon état, à croire que les prescriptions de la réformation – coupes, plantations, garde forestier – ont porté leurs fruits :

Nous serions d'abord rendus en la sapiniere ou aÿant visité les coupes uzees en mil sept cens soixante dix huit, mil sept cens soixante dix neuf et mil sept cens quatre vingts et la presente année, nous avons reconnu que lors desd. exploitations l'on a reservé non seulement tous les sapins au dessous de trois pieds de tour, mais encore bon nombre de cette grosseur et meme d'une plus forte (...) nous avons également observé que les jeunes brins et le nouveau revenu (?) sont si abondans que le sol la fourmille (?). Ayant fait rechercher dans lesusdites coupes des sains arrachés, rompus ou entorssés (?) par l'ouragan, nous avons reconnu qu'en vertu de notre permission led syndic en a deja utilisé trois cens ving cinq dont les souches ou troncs nous ont esté représentés, que mesme des mechans ont poussé leur malignité si loin qu'ils ont incendié plusieurs milliers de douves en différentes places, ce que nous avons veiffié ; nous avons aussi fait marquer de l'empreinte de notre marteau ordinaire deux cens dix sapins rompus ou arrachés, lesquels nous avons delivré audit syndic avec permission de les utiliser au proffit du monastere. Ayant passé à la coupe de ladite sapiniere qui doit etre exploitee l'année prochaine, nous nÿ avons reconnu autre entreprise nÿ coupe que celle de trois sapins, que ldit garde nous a dit avoir esté volés de nuit sans qu'il en ait peu decouvrir les auteurs. Du reste, ladite coupe est aussi abondamment pourvue et conservee qu'il soit possible de la desirer. Nous avons ensuite parcouru et visité le reste de la sapiniere ou sont distribuees les coupes a venir, sans ÿ reconnoitre nÿ delit nÿ degradation, mais au contraire la plus abondante provision de sapins de toute espece. Nous avons ensuite tourné vers le quart de reserve qui nous a paru dans le meilleur etat, et revenus aux triages peuplés de chennes, nous avons vü avec la plus grande satisfaction les effets du soin et de la vigilance avec laquelle ces forests sont administrees et conservees, les parties que nous avons cÿ devant reconnu deperies, ont etté recepees et viennent rapidement les valeurs, en un mot et pour estre juste, nous ne pouvons que donner des eloges aux administrateurs et au garde de ces forests³⁴.

Si la forêt est en bon état, la prise de bois n'a pas baissé. Bien à rebours. Les archives pour les années 1783, 1784, 1785 mentionnent 78 prises de bois légales :

1783 Devant le consul de Sainte-Croix : 41. A coumparu le sieur Malefete qui nous a remis une relation en date du 14e du present mois portant besoin de 3 sapins de 4 cannes de longueur pour supporter le toit de sa tinture que nous luy avons delivré de suite requis de signer avec nous... 42. A coumparu Yozepfh Fauroux de Maharage (?) qui nous a exhibé une relation portant besoin de 11 sapins de 3 cannes, 4 pans chacuns de longuer ; autre sapin pour une sablaire (? de 3 cannes ; plus autres 2 sapins pour 12 cannes de planches ; plus 5 petits pour neuf chevrons que nous luy avons de suite fait marquer... 43. A coumparu le sieur Jean Maury, fabriquant hab. dud. lieu avec une relation en date du 3e may dernier portant besoin de 25 solives de 5 cannes de longueur chacun : plus 20 coloudes de 14 pans longues ; 1 poutre de 4 cannes et demi plus 6 sapins pour 12 solives, de 12 pans de longueur ; plus 3 pieces pour supporter le couvert (convent ?) ; plus 2 chevrons de 2 cannes chacun ; et finalement 6 sapins pour 30 cannes de planches... 44. A coumparu Guillaume Poitevin qui nous ayant remis sa relation du 14e juin courant, ??? qu'il avoit besoin d'1 poutre de 4 cannes et demi ; plus autre piece de 4 cannes de longuer : 13 solives de 3 cannes de longues chacune ; plus finalement 12 cannes planches que nous luy avons desuite marqué et delivré... 45. A coumparu le sieur François Huillet, fabriquant habitant de Ste Croix qui nous a remis une relation portant besoin de 25 cannes de planches pour la quantité desquelles nous luy avons marqué 6 sapins plus 1 sapin pour ? de sa teinture ; plus 1 piece de 4 cannes longueur ; et finalement autre piece de 3 cannes et demi que nous luy avons de suite delivre... 46. A coumparu Laurens Dupuy de la Vidagouse qui nous a dit avoir besoin de 4 chevrons de 3 cannes et demi de longueur pour le couvert de sa tinture que nous luy avons de suite marque...

1784 73. A coumparû le sieur Matthieu Rousset qui nous a exhibé une relation auquel avons livré 1 sapin pour une ventirere et 1 chevron ; 1 autre sapin pour une sole et 1 chevron... 74. A coumparu Michel Maulin, cordonier qui nous

³³ Ibidem, Mémoire, s.d.

³⁴ Ibidem, Procès-verbal de visite et vérification de la forêt de Sainte Croix par les officiers de Saint-Gaudens en raison des arrachements d'arbres causés par les ouragans arrivés les mois de janvier et février 1781, 1781.

a exhibé une relation auquel nous avons marque 3 sapins pour 9 cannes planches... » 75. A comparu Lauren (?) Dupui qui nous a remis une relation du 4e avril dernier auquel avons livré 17 sapins pour une ventriere, 2 saules et 30 chevrons... 76. L'an mil sept cens quatre vingt cinq et le vingt troisieme jour du mois de septembre par devant nous Jean Clamous garde des relligieuses de Ste Croix en presacne de Joseph Faurous, faiturier de Comportes et Louis Darbas, hab. de Ste Croix, a comparu Jean André, cardeur auquel en conséquence du mandement verbal desd. dames religieuses, nous avons delibré 9 sapins pour 8 chevrons et une ventriere... 77. Le onze octobre mil sept cens quatre vingt cinq en consequence d'un nouvel ordre, nous avons marque et delibré a Gerons Roussel 6 sapins pour 2 chevrons qu'il avait besoin ... pour 6 cannes planches... ; plus livré au même un arbre pour 3 cannes de planches. 63. Le 13 juillet a comparu le sieur Jacques Berdon, aubergiste, auquel nous avons marqué et livré 10 arbres pour chevrons et un pour planches... 64. Le même jour, nous avons marqué et livré a Chrisortome Roussel 3 sapins pour 5 solives et 6 pour 7 solives. 65. Plus avons aussi marque et delivre a Jean André 2 arbres pour ventriere... 66. ? nous avons marque et delivré a Jean Gabriel Capoul 2 arbres pour ventriere... 68. Le meme jour, nous avons marqué et delivré a...? 6 sapins... 69. ...? nous avons marqué et delivré 1 sapin pour 4 cannes... 70. ...? nous avons marqué et delivré entre les mains de Jean ? masson, 4 arbres sappins pour 15 cannes... 71. A comparu Guillaume Poylevin a qui nous avons marqué et delivré 2 arbres pour 2 ? de 4 cannes, 4 pans chacun...? et 12 solives de 5 cannes 4 pans chaucn... 72. Plus pour Pierre Herdou 1 sappin pour 7 cannes de planches et 2 autres pour 2 chevrons...

1785 Devant le consul de Sainte-Croix : « 78. A comparu Jacques Roubi, habitant de Sainte Croix qui nous a exhibe une relation en date du 16e dudit (février) portant besoin de 2 poutres de 18 pans chacun ; 1 solive de 4 cannes ; de 16 cannes de planches que nous luy avons de suite marqué et delivré...³⁵

Faute du plan d'arpentage de 1746, les sources cartographiques ne sont d'aucun secours pour évaluer les dimensions de la forêt. Les cartes de Cassini, levées en 1770, sont ici totalement erronées comme le plus souvent en montagne. L'extrait de la carte ci-dessous, portant sur la zone de la forêt, montre l'ampleur des erreurs de levés, qui pourraient laisser croire que la plupart de la forêt a disparu à cette époque, alors que les cartes du XIXe siècle montrent bien une grande stabilité.

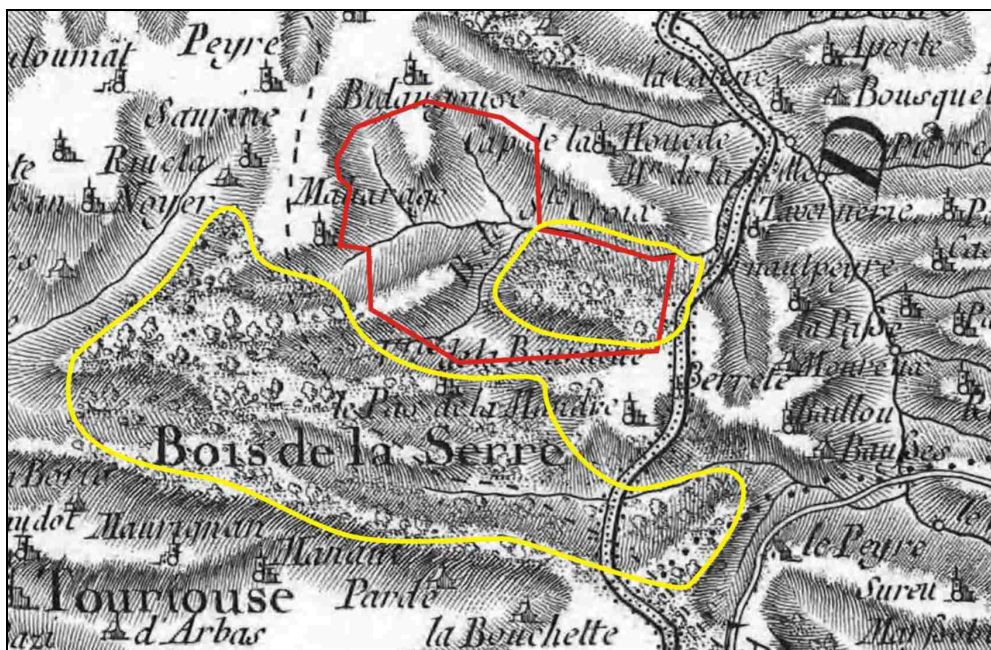


Figure 6 - Carte de Cassini, 1770. Feuille de Toulouse. En jaune l'extension des boisements selon la carte, en rouge les limites approximatives réelles de la forêt. Le relief et la localisation des hameaux (Maharage, Saurine, « Bidaugouse », « Cap de la Houède », Berreté, la Bourdette,...) sont à peu près corrects, mais le bois de Lasserre est transposé sur les collines au sud de la forêt, qui est réduite au quartier de sapinière.

2.1.1.5. - La réorganisation des XIXe et XXe siècles

A la Révolution, la forêt, possession ecclésiastique, devient bien national ; les habitants de Ste-Croix ne vont pas tarder à faire confirmer leurs droits d'usage. Ils saisissent l'administration pour

³⁵ Ibidem, Verbaux de délivrance de sapins donnés aux habitants, 1783, 1784, 1785.

exposer « qu'ils ont toujours joui en vertu de leurs titres du droit de faire paître leurs bestiaux dans la forêt, user de la glandée, droit au bois pour leurs outils aratoires, au bois mort et mort bois pour leur chauffage, ainsi que la coupe du moins utile s'il n'y a pas de cette espèce pour servir à leur chauffage ». Ils invoquent la transaction du 8 juin 1649, sa confirmation par sentence du sénéchal de Toulouse du 22 septembre 1755, et la reconnaissance des mêmes droits devant notaire (Jean-Joseph Fauré, de Cazères) le 2 janvier 1785. L'arrêté du conseil de préfecture du 19 frimaire An IX [10 décembre 1800] confirme ces droits³⁶.

Mais les procédures judiciaires vont continuer³⁷, l'Etat reprenant la suite des abbesses de Fontevrault. Une première plainte de l'administration de l'enregistrement des domaines est portée le 3 germinal An IX pour le paiement de 306 setiers de froment, arrérage de 10 années de la rente foncière qui était due aux ci-devant religieuses. Le Maire s'y oppose, demandant l'annulation de la contrainte sous prétexte que cette rente était entachée de droits féodaux supprimés. Neuf ans plus tard, le 13 janvier 1809, une nouvelle contrainte est portée par l'administration. Le représentant de la commune demande l'annulation de la contrainte et des transactions féodales. S'appuyant sur l'arrêt de la cour de Cassation du 12 germinal An XII, qui supprime les redevances d'origine féodale, le tribunal relaxe la commune de Ste Croix de toutes les demandes formulées contre elle et condamne l'administration aux dépens (96 francs 16 cts). Enfin, l'arrêté du Conseil de Préfecture du 20 juin 1811 maintient les habitants dans leurs usages sans qu'ils doivent payer les redevances d'un setier par feu allumant³⁸.

Cette procédure ne va pas pour autant éteindre le conflit entre l'administration et la commune. En effet, la transaction de 1649 prévoyait l'obligation d'entretenir 2 gardes, dont l'un payé par le monastère et l'autre par la commune. Celle-ci est incapable d'assumer cette dépense et l'affaire va traîner pendant des années. Faute de pouvoir payer les frais de garde, elle est privée d'affouage pendant 12 ans par l'administration ; en 1840, la commune propose de renoncer aux droits passés à condition que l'administration forestière renonce aux arrérages des frais de garde échus. Des courriers et rapports sont échangés entre la commune, la préfecture et les forestiers durant toute l'année, le Conservateur voulant à tout prix à obliger la commune à payer les arriérés et le Préfet cherchant à temporiser. Le conflit sur l'affouage va s'éterniser, mais n'empêchera pas la continuité des droits de pacage, dont quelques sources montrent l'ampleur et l'impact qu'il pouvait avoir sur la régénération de la forêt (il faut rappeler en particulier l'appétence des bovins et ovins pour le feuillage des jeunes sapins) :

1841 et 1842 : 30ha. de 11 ans (Hascabarisse), 3ha. de 14 ans (Escourtalats), 20ha. de 17 ans (Paul Serbé). Y sont admis à l'année 30 bêtes à grosse corne et 600 bêtes à laine.

1847 : 16h. sans âge (Souda de la sapinière), 6h. de 10 ans (Las Cabaniere, partie recepée sur le bas), 3h. de 13 ans (Escourtalats), 20h. de 16 ans (Croix Sorbé). Y sont admis à l'année 30 bêtes à grosse corne et 500 bêtes à laine³⁹.

En 1849, la confection de la carte topographique d'Etat major nous offre une première cartographie relativement précise de la forêt. A l'échelle de la petite région, la carte de 1849 montre avant tout que le Volvestre, à cette époque où l'on atteint le minimum forestier en France et notamment en Ariège, est une région encore fortement boisée. Outre la « Forêt Royale » et la forêt communale de Montbrun (limites en pointillés rouges), de grands massifs sont visibles : la forêt de Lasserre, les bois des collines au sud de Montbrun, les bois de Fabas, etc. Il est évident que la forêt devait avoir une grande importance dans l'économie locale, d'autant plus que les sources montrent que l'agriculture ne suffit jamais, durant le début du XIXe siècle, à nourrir la population toute l'année⁴⁰. Le cas des verreries est connue, mais pas leur impact réel sur les boisements. Cet aspect économique global de la forêt demanderait une recherche approfondie à l'échelle de l'ensemble du Volvestre, qui n'entraîne pas dans les objectifs de ce programme.

³⁶ ADA, 7P151, droits d'usages, forêt de Ste Croix

³⁷ ADA, 116 EDT, AA1, *Livre de reconnaissances féodales*, 1809-1830.

³⁸ ADA, 7P151, droits d'usages, forêt de Ste Croix

³⁹ Ibidem, Deux actes de notification des cantons défensables, 1841, 1842, 1847.

⁴⁰ AD HG. 2 E 1348 : Montbrun Bocage, agriculture, exploitation forestière (1804-1849). Les statistiques agricoles fournies montrent que dans les années 1820-40, qui sont par ailleurs connues pour la dureté des conditions climatiques, la production céréalière dépasse rarement 6 mois de consommation locale. Il y avait par contre un élevage assez conséquent : entre 1500 et 2500 ovins à Montbrun, ainsi qu'un élevage de bœufs de travail (500 bovins recensés).

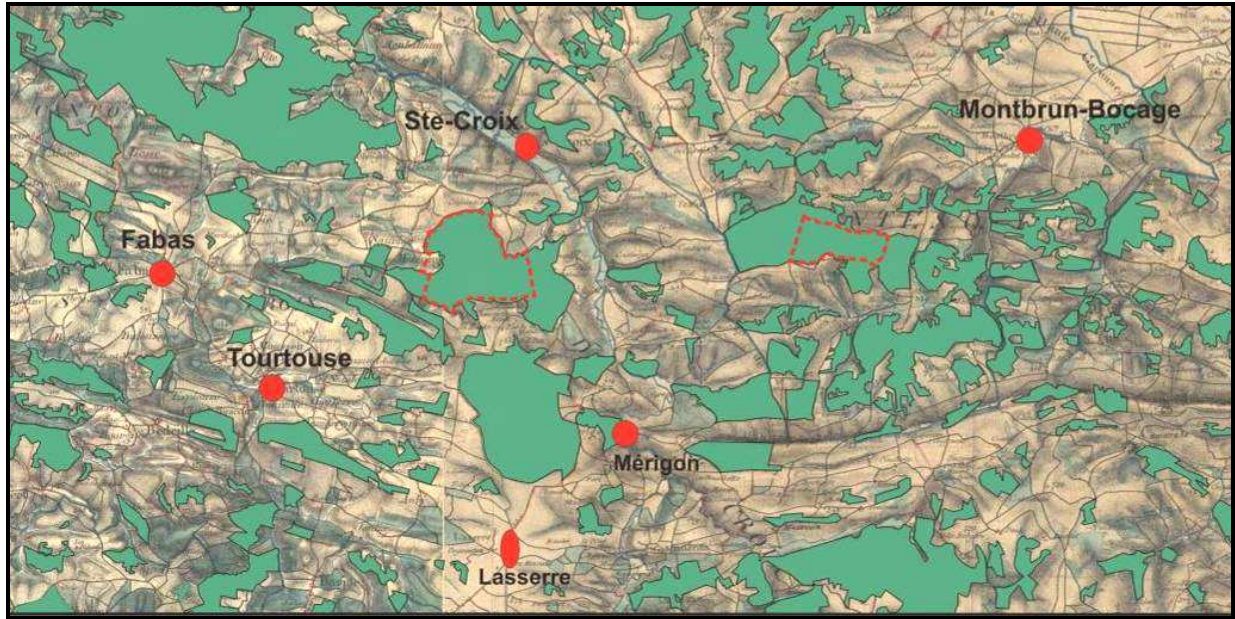


Figure 7 - Les forêts du Volvestre en 1849 dans la région de Ste-Croix-Montbrun-Lasserre (assemblage des cartes topographiques de St-Gaudens et de Pamiers)

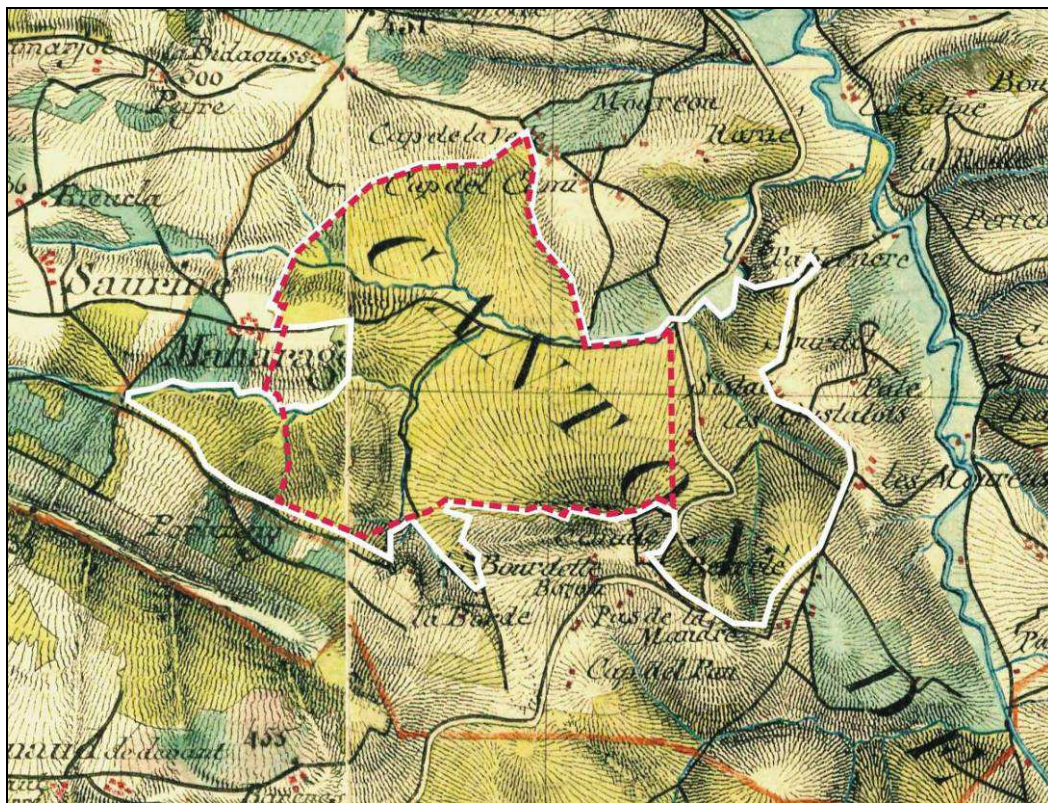


Figure 8 - Extrait de la carte topographique de 1849

En rouge : limites de la Forêt Royale en 1849. La ligne blanche souligne l'ensemble des boisements contigus. Le vert-bleu correspond aux prairies, le jaune aux terres de culture

La carte de 1849 montre que les limites de la Forêt Royale ne sont guère différentes de celles de la forêt arpentée au moment de la Réformation. Deux zones boisées contiguës sont à noter : à l'ouest, dans le bassin du « ruisseau de la Biquette » au sud de Maharage, un ensemble de parcelles boisées privées dans le quartier cadastré sous le nom de « Piquetto » ; à l'est, au-delà de la route, quartier « les Oustalots », subsiste un massif relativement important, qui est aujourd'hui encore largement peuplé de sapins.

On peut aussi voir que les vides sont importants aux alentours du hameau de Maharage, une zone qui est aujourd'hui reboisée en pins sylvestres.

La forêt apparaît environnée essentiellement de cultures, les prairies (en vert-bleu) étant beaucoup plus dispersée.

Pendant cette période, on trouve divers documents attestant de la gestion de la forêt par l'administration. En 1828 a lieu par exemple l'assiette et le martelage de la forêt :

Assiette et martelage d'arbres épars, n°25 Le 8 du mois de février an mil huit cent vingt huit, nous soussigné Honoré ??, inspecteur forestier à la résidence de Saint-Girons, accompagné des. de Montrieu (?), garde général, Moutier, garde à cheval, Pin et Mounié, gardes forestiers, nous nous sommes transportés dans le bois royal de Sainte-Croix, triage de ... à l'effet d'y asseoir une coupe de soixante arbres essences de sapin autorisée par l'administration des eaux et forêts, sous le n°25 pour l'ordinaire de l'an 1828....⁴¹

Les archives forestières⁴² donnent pour cette époque une contenance totale de 174 ha, ce qui équivaut à 341 arpents, superficie qui n'a donc pratiquement pas changé depuis l'arpentage de 1668, qui donnait une contenance de 336 arpents. Ce qui ne signifie pas qu'il n'y ait pas eu de dégradation des boisements, il au contraire probable, au vu cartes et plans ultérieurs, que le nord de la forêt a été soumis à des pressions multiples et intenses (pacage, affouage, marronnage, délits, etc.).

En 1855, la loi du 5 mai sur l'aliénation des bois domaniaux ouvre la porte à la vente des forêts de l'Etat. La forêt de Ste-Croix est vendue le 1^{er} septembre 1856, mais elle reste alors grevée de droits d'usages. Les nouveaux acquéreurs vont choisir de les cantonner, restituant à la commune une partie de la forêt en échange de l'abandon des droits sur le reste. La commune devient propriétaire de 98 ha, dont 17h de pacages. Les 81 ha de bois furent soumis au Régime forestier le 8 juillet 1874⁴³.

Le premier aménagement date du 1^{er} décembre 1884, et porte sur 86 ha 07 ; il divise la forêt en une série de taillis sous-futaie de 46 ha 47 et une série de futaie résineuse de 39 ha 60 traitée en jardinage avec terme d'exploitabilité à 120 ans. La possibilité est fixée à 102 m³ par an. L'aménagement fut révisé tous les dix ans, montrant un accroissement de la possibilité et un agrandissement de la surface aménagée, portés en 1913 respectivement à 172 m³ et 93 ha 09. Pendant la guerre, la forêt va subir des exploitations intensives et un ouragan qui vont conduire à suspendre les coupes jardinatoires et à ne poursuivre que des coupes d'amélioration.

En 1955, le procès verbal de révision d'aménagement fait un bilan de l'exploitation depuis 1913 : 3538 m³ de 1913 à 1920, 2459 m³ de 1921 à 1930, 1227 m³ de 1931 à 1940, 3637 m³ de 1941 à 1950, avec une moyenne de recrutement de 6 m³ 11/ha/an.

Ces données sont à comparer avec celles de la révision d'aménagement de 2012 qui décompte pour la période 1994-2011 un volume exploité total de 7846 m³, pour une moyenne de 4,6 m³ /ha/an⁴⁴.

Les données manquent sur la partie privée de la forêt, et ne nous permettent donc pas une comparaison sur l'exploitation dans les deux zones. On peut par contre signaler que l'on rencontre dans les parcelles privées des places de charbonnage (et même par endroits des restes de fours métalliques), ce qui permet de penser qu'il y a eu aussi une exploitation pour le charbonnage au moins dans les années 1940-50.

⁴¹ Ibidem, F5, Forêt domaniale de Sainte-Croix, 1828.

⁴² ADHG, 3 2436 W 119.

⁴³ Ibidem

⁴⁴ ONF. Révision d'aménagement de la forêt de Ste-Croix-Volvestre, 2012-2031

2.1.2 - APPROCHE HISTORIQUE DE LA FORET DE MONTBRUN-BOCAGE

Les sources historiques concernant la forêt de Montbrun sont beaucoup moins nombreuses que dans le cas de Ste-Croix-Volvestre. En effet, une grande partie de la dite « Forêt de Montbrun » était propriété seigneuriale avant la Révolution ; elle n'a pas été concernée par la Réformation et l'on ne dispose d'aucune donnée de qualité sur la forêt au XVIIe siècle. Les informations ne sont guère plus nombreuses au XVIIIe siècle, mais deviennent par contre abondantes à la fin du XVIIIe siècle et surtout pendant la période révolutionnaire qui voit un conflit sur la propriété de la forêt et des demandes multiples de délivrance de bois émanant de la population de Montbrun. La première moitié du XIXe siècle offre aussi un certain nombre de sources exploitables. Seule une partie de ces documents a été dépouillée à ce jour, mais les informations qui en ont été tirées sont déjà suffisantes pour décrire la sapinière dans une phase d'exploitation intensive. Comme on le verra, ces données historiques peuvent être connectées avec les diverses données paléo-environnementales (palynologie, pédo-anthracologie) acquises sur le site.

2.1.2.1 - Une sapinière importante attestée dès le XVIIe siècle

La forêt de Montbrun apparaît pour la première fois dans les archives consultées dans une ordonnance du 8 décembre 1689, de Thimoléon Le Gras, grand maître enquêteur et général réformateur des Eaux & Forêts de France au département de Languedoc et Guienne.

Sur ce qui nous a été exposé de la part de Dame Marie de Bellegarde, veuve du haut et puissant Mess^{re} Jean Antoine de Pardaillan Seigneur de Gondrin duc de Bellegarde qu'elle possède une grande forest dite de Montbrun plantée en fustaye de chesnes, sapins & hestres, dans laquelle plusieurs particuliers dudit lieu de Montbrun & autres riverains se sont immiscés depuis un an ou environ de faire sans titre ni droit des coupes par delit & degradation quelle a interest d'arrester & faire punir, pourquoi requérons que nous plaist informer des dits delits abus & degradations, fait le proces aux delinquants & les condamner aux amandes, restitutions, dommages & interest selon la rigueur de l'ordonnance (...)⁴⁵

Propriétaire de la forêt, Madame de Bellegarde s'est donc adressée directement au grand Maître et dès le 3 janvier, le maître particulier de la maîtrise de St-Gaudens, qui a été commis pour régler cette affaire au plus vite, se transporte à Montbrun où il va rester trois jours pour entendre les accusés et témoins. Les textes des confrontations montrent que les essences concernées par les délits sont essentiellement de jeunes pieds d'une quinzaine d'années, ce qui correspond à des perches de sapin et des brins de taillis de hêtre, faciles à couper, transporter et façonner rapidement. Les délits sont commis un peu partout dans la forêt, surtout en lisière, ainsi que dans le quartier appelé « la Deveze », que l'on retrouvera par la suite dans les archives. Le toponyme en soi évoque un quartier en défens.

Cette forêt seigneuriale n'a pas été concernée par la Réformation et aucune autre source n'a été trouvée pour l'instant concernant le XVIIe siècle. Bien que le maître particulier fasse une visite « fort avant dans la forêt » pour constater les dégâts avec des témoins, les textes du procès ne disent malheureusement rien de sa superficie et ne sont guère précis sur la physionomie du peuplement, qui est simplement signalé comme futaie dominée par le sapin et le hêtre, notamment dans le quartier « Ladevèze » qui semble déjà concentrer les peuplements de futaie et constituer la forêt seigneuriale. Les arbres paraissent cependant ne pas être de grande taille :

La plus grande partie des sapins qui restent à couper sont plus propres à faire des poutres, sablières, chevrons que des mâts de marine⁴⁶.

Un autre document datant également de 1690 évoque probablement la même forêt : le 26 mai, le Grand Maître Thimoléon Le Gras rédige une ordonnance concernant une coupe sans autorisation, en contravention de l'ordonnance de 1669 régissant les bois pouvant approvisionner la Marine :

... un bois de futaie de chesne fort considérable situé dans le territoire de Montbrun dans le voisinage des rivières de Garonne et du Salat qui sont toutes deux navigables, despendant de la Maitrise de Saint Gaudens a esté mis en coupe cette année sans que les propriétaires ou le marchand Nous en aient donné aucun avis ny fait aucune declaration au

⁴⁵ ADHG 2 E 1239. Archives communales de Montbrun.

⁴⁶ Ibidem

greffe de lad. Maitrise (...) Nous avons fait deffense de continuer la coupe de lad. forest & ordonné que la visite en sera faite par le Sieur (Dastre ?) praticien demeurant a Saint Gaudens que nous avons a cet effet commis lequel dressera son proces verbal de l'etat & situation de lad. forest fera saisir le bois qui se trouvera abbatu & fera assigner le propriétaire et marchand à la requête du procureur du Roy et de sa Majesté en charge de lad. Maitrise par devant les off^{ers} dud. siege pour en faire ordonner la Confiscation et estre condamné a l'amande de trois mille livres (...) ⁴⁷

On ne sait pas exactement de quelle forêt il s'agit sur la commune de Monbrun, il est question de futaie de chênes et non de sapin, mais les « bois considérables » n'y étaient pas nombreux et il y a de fortes chances qu'il s'agisse de la forêt seigneuriale (Ladevèze) ou du bois de la commune attenante. Malheureusement, le procès verbal qui a dû être dressé selon les instructions du Grand Maître n'a pas été retrouvé. Notons que l'amende de 3000 livres prévue par l'ordonnance était une somme très élevée, destinée à dissuader les exploitants de distraire des bois pouvant servir aux arsenaux maritimes.

Les données historiques récoltées sur cette période sont donc bien maigres ; la poursuite de la recherche dans d'autres fonds pouvant attester notamment d'une économie du bois permettra peut-être de récolter davantage d'informations.

2.1.2.2 - Une forêt mal connue au XVIIIe siècle

Peu de sources ont pu être trouvées jusqu'à présent sur le XVIIIe siècle. Notons cependant le résumé du procès verbal d'aménagement de 1764, qui comportait un plan de la forêt et de sont parcellaire d'exploitation, qui sera mentionné comme « perdu » au moment de la Révolution et dont il n'existe aucune trace. Il s'agit ici des bois propriété de la commune, et non de la forêt seigneuriale.

Du 24 juin 1764. Note du proces verbal d'amenagement des bois de la commune de Montbrun.

Le 24 juin 1764 et jours suivants, il fut procedé à l'amenagement des bois de la commune de montbrun qui furent trouvés de contenance de 130 arpens sur une petite montagne formant au couchant, au levant et septentrion, dans un bon terrain, complanté au levant de chesne de 7-8-15 jusqu'à 30 ans, assez bien venans, du coté du midi de chesnes et hêtres du meme age et des autres parts d'essence de sapin de 15 jusqu'à 25 et 30 ans bien venans. Le quart de reserve fut fixe a 32 arpens 50 perches et etabli du cote du levant. Le reste fut divisé en vingt cinq coupes de 3 arp. 90 perches chacune. ⁴⁸

Cette simple description permet malgré tout d'avoir une vision de l'ensemble de la forêt de la commune : c'est une forêt d'arbres jeunes (de 7 à 30 ans) avec un quart de réserve de taillis de chêne (ou même taillis sous futaie) dans la partie Est de la forêt, une hêtraie-chênaie de même nature au centre et une jeune sapinière à l'Ouest. Notons que la superficie estimée (130 arpents) correspond à la surface de la forêt communale au début du XIXe siècle (66 ha avant la vente de la partie Ouest).

Il n'y a donc pas de plan forestier ou de cartographie précise pour cette période. La carte de Cassini (1770) est comme toujours en région montagneuse, totalement imprécise et sans grand intérêt pour notre objet. Elle fait une erreur complète sur la topographie, indiquant l'issue du bassin versant de la forêt vers le nord, par le côté du ruisseau de Palé. L'extension des boisements est sous estimée, ne faisant apparaître que la forêt de Montbrun et aucun des autres boisements qui devaient l'entourer, ce qui apparaît bien par contre sur le cadastre de 1836 et la carte topographique de 1849.

⁴⁷ Ibidem

⁴⁸ ADHG 2E2354

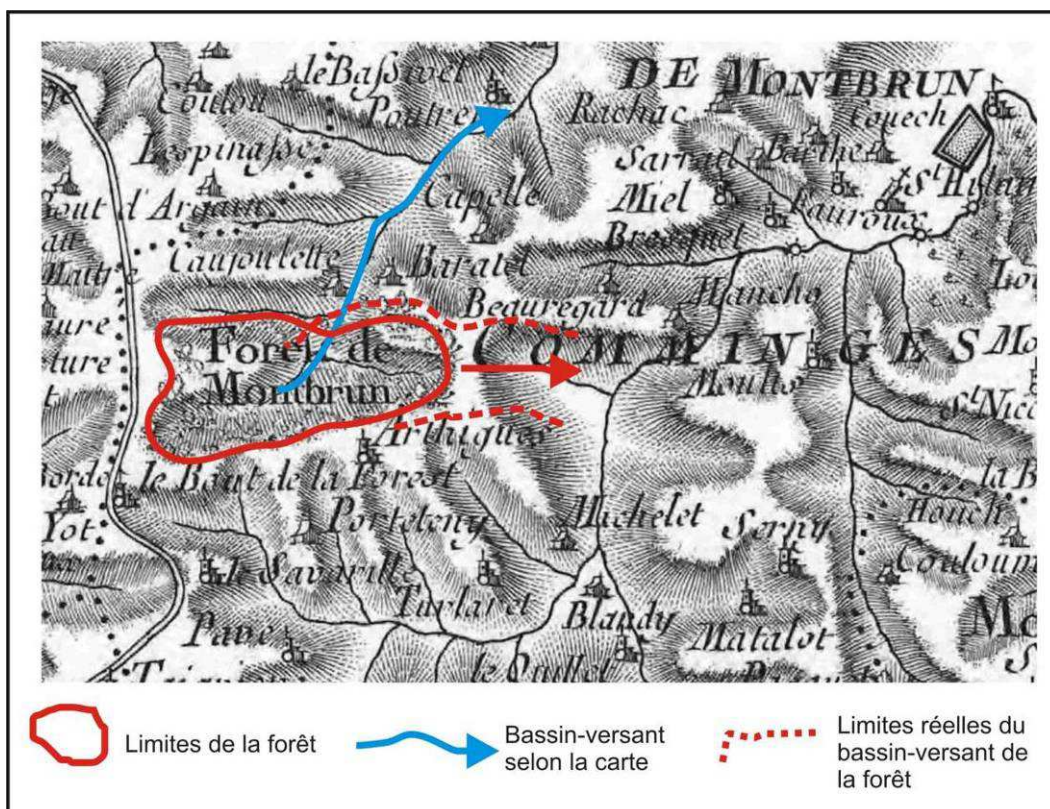


Figure 9 - La forêt de Montbrun sur la carte de Cassini (1770)

2.1.2.3 - Conflits et usages pendant la période de la Révolution

La période révolutionnaire a laissé une quantité importante d'informations retrouvées dans les archives de la commune, liée aux demandes d'autorisation de coupe pour le paiement des contributions ou pour les usages particuliers.

En l'An III, la forêt de la Devèze est adjugée à la commune par une sentence arbitrale rendue contre « le citoyen Courdurier, ci-devant seigneur de Montbrun ». Mais celui-ci fera appel de cette décision, la procédure durera plusieurs années et finalement la commune ne sera pas confirmée dans cette possession.

Le 23 frimaire An IV, l'administration municipale du Canton de Montesquieu-Volvestre, prétextant les dégradations qui se commettent journellement dans la forêt de Montbrun, délibère pour demander la nomination d'un second garde forestier. Dans leurs commentaires, le directeur des domaines nationaux et l'agent forestier national de Saint Gaudens évoquent les deux forêts : Ladevèze, une forêt de sapins de 151 arpents de Paris, où l'ancien propriétaire Courdurier ne pratiquait pas de coupes réglées mais vendait une cinquantaine de sapins chaque année « où l'on en tire pour la mâturation des vaisseaux ». Et une seconde, propriété communale, de 131 arpents. La demande d'un second garde est estimée exagérée « un seul dut suffire à son étendue, s'agissant de bois de haute futaie de garde plus facile que les taillis ». Le 3 pluviôse An V, la commune réitère sa demande, cette fois de deux nouveaux gardes, qui ne sera pas non plus acceptée.⁴⁹

Le 6 germinal An V à lieu à Montbrun l'adjudication de 100 pieds de sapins situés dans la forêt de Ladevèze, et martelés par les agents forestiers de l'arrondissement de Saint-Gaudens. Mais le 19 germinal, l'administration municipale du canton de Montesquieu déclare la nullité de la vente, en raison de l'appel fait par le citoyen Courdurier. Durant tout l'An V, on peut voir se dérouler des échanges de courrier, des délibérations et des visites sur le terrain, la commune de Montbrun essayant d'obtenir des autorisations de coupes d'arbres pour payer ses impôts, des gardes et du bois pour les usages des habitants. Chaque fois, les décisions vont être bloquées en raison du procès toujours en cours avec l'ancien propriétaire de la forêt de Ladevèze.

⁴⁹ ADHG 2E2354

Du 14 au 19 ventôse de l'An V, l'administrateur forestier provisoire de l'ancienne maîtrise de Saint-Gaudens va mener une visite de la forêt pour statuer sur les demandes de la commune : la vente des 100 pieds de sapins dans la forêt communale et le martelage de 100 autres arbres dans la forêt de Ladevèze pour subvenir aux contributions. En cours de visite, le maire va faire en sus une demande de délivrance de 500 pieds de sapin pour les besoins en bois de construction des usagers de Montbrun :

(...) depuis qu'il est en place ou comme maire, ou comme agent municipal, il a été toujours attentif à empêcher qu'il n'y fut fait des coupes inconsidérées ; qu'il a même crû d'y suspendre toute délivrance depuis six ans, pour donner le temps à lad. forêt de croître, ce qui est cause que les habitants n'ont pu faire aucune réparation à leurs batiments, granges et écuries ; que ne pouvant plus reculer de le faire, sans s'exposer à leur croulement, ils demandent à des cris redoublés qu'il leur soit délivré le bois sapin qu'ils ont besoin à cet effet, et qu'en conséquence ils ont commencé à faire faire des devis estimatifs du bois qu'ils ont absolument besoin, et qu'ils continuent à faire finir⁵⁰.

Le récit de la visite nous donne une vision assez précise et intéressante de l'état de la forêt en l'An V, et notamment du quartier de Ladevèze : une sapinière comportant des arbres de tous âges, avec une bonne régénération, mais aussi comportant déjà pas mal d'arbres « *séchant sur pied par la cime, ou qui sont tortueux mal venants* ». Elle est exploitée alors pour le compte de la Marine, et soumise à de nombreuses coupes en délit, surtout sur ses lisières.

(...) Je susd. administrateur forestier en compagnie des susd. agent municipal et forestier, du garde de lad. forêt, du juge de paix du canton et du Cⁿ. Agent municipal de la commune de Montesquieu Volvestre, nous nous sommes transportés dans d. forêt de Ladeveze limitrophe de celle de la communale, complantée de sapins âgés. Nous l'avons parcourue de bout en bout et dans toutes ses parties pour examiner si la coupe des cent pieds permise par l'arrêté de l'adm^{on} centrale du département, en date du 5 pluviôse dernier, forcerait la possibilité. Nous avons reconnu que la lisière de la D. forêt confrontée par le territoire de la commune de Ste Croix, est journellement dévastée par les coupes journalières qui y sont faites en jardinant par des délinquants que led. agent municipal de la commune de Montbrun aide du garde attribue aux D. étrangers qu'ils ont accusé s'y rendre dans la nuit en attroupements armés il paraît effectivement que les délits sont commis à la faveur des ombres de la nuit. En examinant les souches des sapins dont la plupart ont été exploités avec la scie et d'autres avec la hache. Celle-ci pour la majeure partie sont hachées, étant les coups de hache mal assurés qui y ont été portés, et presque toutes à la hauteur d'un deux, trois pieds d'élévation du sol. Il paraît que l'intérieur de la forêt est plus respecté ; nous n'y avons trouvé que peu de délits récents. Nous y avons aperçu une certaine quantité de mats gisants exploités depuis environ 3 ans, marqués pour le compte de la Marine par le Cⁿ Massif habit^t de Montesquieu, et commissaire de la Marine, d'après le rapport à nous fait par les Cⁿ Mounereau et garde de la forêt. Le Dit Massif est venu bientôt après nous joindre, et nous a dit qu'il nous rapporterait demain son pouvoir, et nous prouvera même qu'il y a dans cette forêt beaucoup d'autres arbres sapins qui sont marqués de l'empreinte du marteau du Cⁿ Courdurier cidevant possesseur de la forêt, qui lui ont été vendus par ce dernier, il y a déjà quelques années.

Ayant convenu par la visite que nous avons fait de cette forêt qu'elle est abondamment peuplée de sapins de divers âges, et de beaucoup de jeunesse (qui paraît cependant souffrir de l'entrée des bestiaux, bêtes aumailles et des porcs par le brouter des jeunes tiges, du fouissement des cochons) nous avons provisoirement sans entendre rien préjuger, fait choix de cent pieds d'arbres les plus déperissants, séchant sur pied par la cime, ou qui sont tortueux mal venants, et impropres pour la mature, sur lesquels nous avons fait apposer l'empreinte du marteau de l'adm^{on} forestière, tant au corps qu'aux souches ou racines de chacun des d. sapins (...)⁵¹

La forêt communale apparaît par contre beaucoup plus dégradée, très fréquentée par le bétail, surtout dans sa partie orientale, mais avec là-aussi une régénération de sapin importante :

(...) en compagnie des agents municipal et son adjoint et forestier national, nous sommes transportés dans la d. forêt communale que nous avons de nouveau visité et parcouru de bout en bout et dans toutes les parties. Nous avons vérifié et reconnu que le quart de réserve placé au levant du coteau, qui nous a été indiqué est ras, et n'est couvert que d'une essence de hêtre mêlée de quelque peu de chêne et de très peu de sapin, écrasé et abroué par l'introduction des bestiaux et des délits journaliers qui y sont commis. On y aperçoit au bas du coteau quelques vieux sapins de mauvaise venue mal faits ; il paraît que le quartier est dévasté depuis longtemps.

⁵⁰ ibidem

⁵¹ ibidem

D'après la visite que nous avons fait du restant de la forêt, il nous a paru qu'il y a été fait beaucoup de coupes en jardinant et qui remontent à plusieurs années ; les agents municipal et adjoint nous ont répété à ce sujet, ce qu'ils nous dirent dans la comparution de hier. à travers les sapins élevés on aperçoit de la jeunesse qui repeuplera lad. forêt, pourvu que les chevres, les bêtes aumailles et les bestiaux en soient écartés, car nous avons remarqué que les remises sont assez généralement broutées, ce qui a déterminé à enjoindre au garde d'empêcher qu'il n'y soient plus introduits, afin que le recru puisse se conserver.⁵²

On apprend à cette occasion que le plan d'aménagement de 1764 a été perdu, et qu'il ne s'est pas pratiqué réellement de coupes réglées depuis longtemps dans la forêt communale :

L'agent municipal de lad. commune nous a observé que depuis longtemps on ne rappelle pas qu'il ait fait aucune coupe dans la forêt communale déterminée par le procès verbal d'aménagement qui la fut fait d'aucun temps reculé ; que la d. Commune y prenait le bois nécessaire à ses besoins par la délivrance qui lui en était faite par pieds d'arbres par le cidevant Consul, qu'il y a même été fait beaucoup de ventes à proportion que la commune avait besoins du fond pour des causes justes ou affaires imprévues ; mais que jamais l'ordre de couper qui dut être réglé lors des aménagements n'y a été suivi ; qu'il s'est même donné beaucoup de soin pour tâcher de découvrir tant le procès verbal d'aménagement que le plan figuratif et géométrique qui dut en être levé (...)⁵³

L'agent municipal Mounereau va donner par ailleurs les devis estimatifs rédigés par les habitants de la commune pour leurs nécessités de construction, qui s'élèvent au total à une quantité de 500 arbres. L'administrateur forestier, dans un souci de conciliation et apaisement, martèle alors provisoirement la moitié des arbres demandés, suspendant la décision finale à l'approbation de l'administration centrale et à la décision judiciaire sur l'ancienne propriété seigneuriale.

Au moment où l'administrateur forestier va quitter Montbrun, nous assistons à un épisode classique de la vie forestière pyrénéenne : alors même que les gardes, les représentants de la commune et de l'administration étaient en visite dans la forêt, les délinquants étaient au travail à côté. Comme ils étaient habitants de Ste Croix, il était important de les dénoncer et les arrêter...

Comme nous finissions le présent les d. agents municipal et forestier que nous avons laissé après nous dans la d. forêt, sont arrivés et ont dit qu'ils venaient à peine de nous perdre de vue, qu'ils leur a été donné à voir que dans la nuit de hier, il avait été coupé quelques sapins dans la forêt de Ladeveze, et que dans le moment, les délinquants les façonnaient, qu'ils avaient aussitôt retrogradé et auraient fait avertir plusieurs personnes qui étaient dans la forêt d'aller leur prêter main forte ; ils seraient montés au sommet de la d. forêt avec les Cⁿ Pierre Fauroux, Barthélemy Guichon, Raymond Bari, François Rey, Baptiste Grillon, Louis Lacoste, Jean Fauroux, André Beyne, Jean Martin et Jean Pierre Fauroux ces deux derniers désignés pour la garde de la forêt communale et celle de Ladeveze, tous hab^{ts} de Monbrun. Arrivés à la lisière de celle de Ladeveze et led. Jean Fauroux leur ayant dit que les sapins avaient été transportés sur une pièce de terre herme appartenant au Cⁿ Lacatine hab^t de S^{te} Croix, et qu'on les y trouverait, ils s'y seraient rendus ; mais qu'à leur approche, les Cⁿ Bartel dit Lachoc et Pierre Greguire son beau frère hb^{ts} de la commune de S^{te} Croix qui travaillaient deux pièces et qui sont désignés par le cri public pour être délinquants coutumiers ont été reconnus, malgré qu'ils aient pris la fuite aussitôt qu'ils les ont vu approcher ; qu'ils ont trouvé sur la d. pièce de terre huit tiges de Sapin fraîchement coupées dont cinq de deux pieds, et trois de deux pieds un pouce chacune, sur lesquelles le trait de la ligne d'équarrissage venait d'être tracé ; qu'à côté étaient huit sommités provenant des d. tiges dont sept sont en grume et la huitième réduite en un soliveau de quatre pouces et demi d'écarrissage, et qu'un peu plus bas il y avait quatre autres sommités de sapin exploitées depuis cinq à six jours dont l'une porte au pied quatre pouces et les autres un pied deux pouces de tour. Sur lesquelles susd. pièces l'agent forestier national qui s'est trouvé nanti du marteau de l'administration forestière a apposé l'empreinte ; qu'ils ont ensuite vérifié et reconnu que sur la bordure de la d. forêt de Ladeveze longeant le chemin public, il y avait été coupé et enlevé la nuit dernière neuf sapins, dont huit souches mutilées et saignantes porte le même pied de tour que les huit tiges cidessus mentionnées, ainsi qu'il a été reconnu par la comparaison qu'ils en ont fait, la neuvième souche ne portant qu'un pied dix pouces ; et que pour prévenir l'enlèvement du susd. bois, led. agent municipal les avait⁵⁴ mis sous la surveillance de François Rey, Jean Fauroux et Jean Grillon ; et qu'il en allait dresser son procès verbal.

Le conflit sur la propriété de la forêt continuant, l'administration centrale du département décide le 5 frimaire An VI que les 100 sapins nécessaires au paiement des contributions des bois litigés entre la commune et le ci-devant seigneur Courdurier seront martelés et exploités, sous la

⁵² ibidem

⁵³ ibidem

⁵⁴ ADHG 2E2354

responsabilité de deux séquestres. La propriété de la forêt de Ladeveze sera finalement confirmée au citoyen Courdurier.

En l'An X, on trouve encore une trace des aléas financiers de la commune, avec une « *saisie de tous les arbres sapins excroissants et pendant par les racines dans le quartier la place del prunié* » de la forêt communale, pour le paiement de 298 F d'arriérés d'impôts fonciers.

En conclusion, on peut donner une cartographie synthétique de la forêt de Montbrun en cette fin du XVIIIe siècle (ensemble de la forêt communale et de la forêt seigneuriale de Ladeveze), en fonction du plan d'aménagement de 1764 et des diverses visites de la période révolutionnaire.

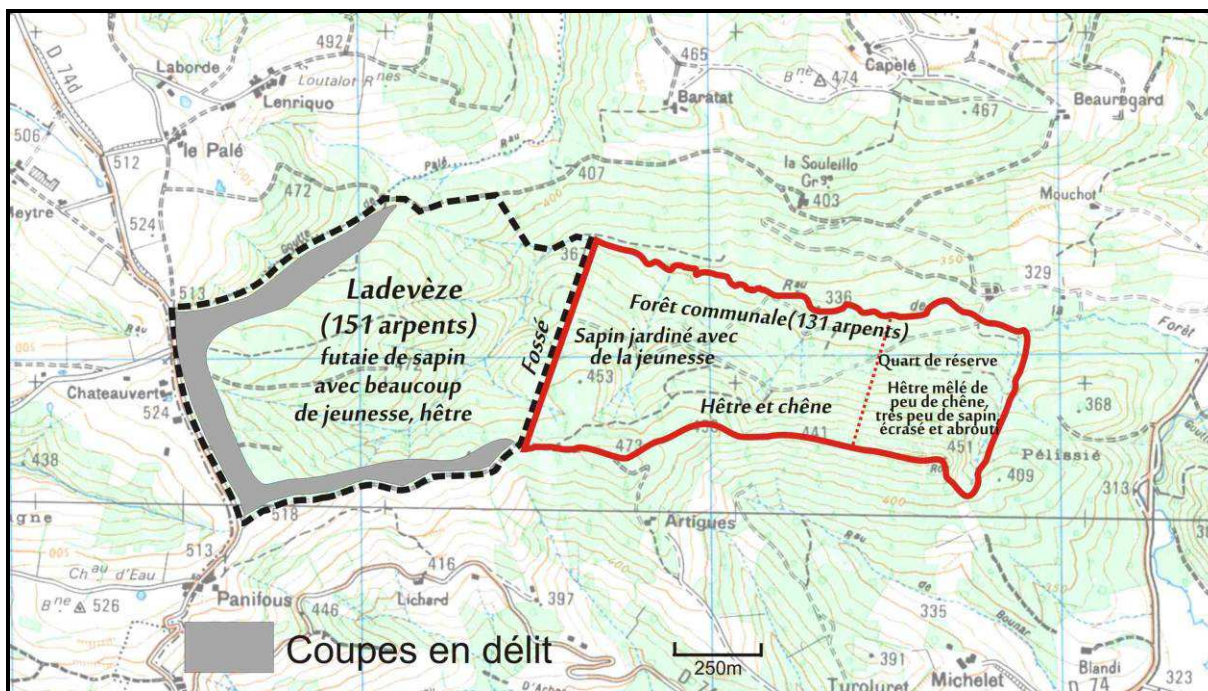


Figure 10 - Etat de la forêt de Montbrun à la fin du XVIIIe siècle, d'après le plan d'aménagement de 1764 et les visites de l'An V

2.1.2.4 - L'évolution au XIXe siècle

Les données concernant le XIXe siècle sont éparpillées et ponctuelles, faisant état de demandes et d'autorisations de coupes, de délits, de délivrances spéciales de bois pour les usagers, et ne concernent que la forêt communale. Le sapin est pratiquement toujours l'essence exploitée⁵⁵.

En 1828 un courrier du sous-préfet donne un état général de la forêt communale : 67ha de contenance totale, le sapin en est décrit comme l'essence dominante, avec une révolution de 40 ans ; la contenance annuelle des coupes est de l'ordre de 80 arbres.

1829 : autorisation préfectorale pour la délivrance de 19 sapins à la commune, pour réparations. La commune demande également une coupe de bois taillis de 5 ha, comprise dans l'exploitation de 1830.

Le 11 janvier 1831, une lettre du sous-inspecteur des forêts dénonce de nombreux délits dans la forêt communale auxquels aurait participé le garde Echeyne.

Le 5 novembre 1835, on trouve dans une décision du sous-préfet concernant une demande de coupe une description de divers quartiers comme très peuplés : « *Considérant qu'en divers points de la forêt les arbres de Un à vingt ans y sont extrêmement rapprochés les uns des autres* ». Un accord est donné pour l'exploitation de 20 sapins de 4 à 5 décimètres de circonférence.

⁵⁵ ADHG 2 E 2354, 2 E 1348, 2 E 1961

Année après année, on voit se succéder des demandes de coupes de 20,30, 40 sapins et des coupes de taillis de 5 à 25 ha. En 1837 ; le conseil municipal demande une coupe de taillis (13 ans d'âge) de 23 ha de superficie, dont 7 ha accordés. En 1845, le conseil municipal délibère pour demander l'autorisation d'une coupe de 250 sapins, qui sera autorisée en 1847 et adjugée en 1850. En 1848, un arrêté du Préfet autorise la coupe pour recépage de 23ha du bois taillis communal, en deux années successives à partir de 1849.

Cet ensemble de données disparates permet cependant de décrire un paysage de la forêt communale conforme aux informations précédentes : d'une part un peuplement de sapins (la partie occidentale de la forêt) qui continue d'être exploité en jardinage et sert à la fois à la vente et aux bois de maronage, et d'autre part un quart de réserve traité en taillis à courte révolution (13-15 ans), servant essentiellement à l'affouage du village.

La carte topographique de 1849 donne une première cartographie fiable de l'extension des boisements, en incluant tous les petits bois, fort nombreux et assez étendus, qui environnaient la forêt communale et la forêt privée de Ladevèze.

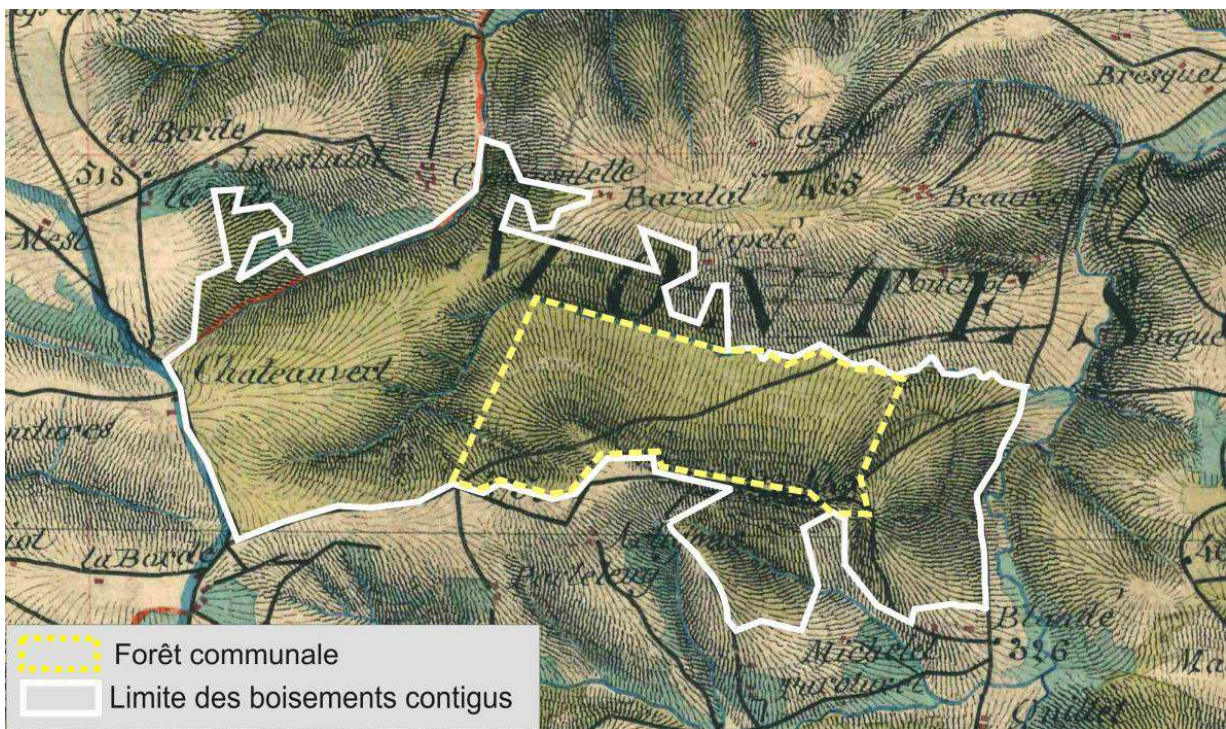


Figure 11 - La zone de la forêt de Montbrun en 1849, d'après la carte topographique de 1849

A la fin des années 1850, la commune, arguant des frais élevés de garde et d'impôts qu'entraîne la forêt, fait une demande d'autorisation de vente. Le 2 mars 1861, un décret impérial autorise la commune à aliéner la sapinière soumise au régime forestier, sans faculté de défrichement. Et le 24 mai 1862, la sapinière de Montbrun, c'est-à-dire la partie ouest de la forêt communale (40 ha 45 ares 70 ca) est adjugée au sieur Jérôme Bessières, de Toulouse, pour 72 000 F. Dans la monographie communale de 1885, l'instituteur Adoue s'insurge contre cette opération et la dégradation de la forêt qui l'a suivie :

La commune de Montbrun possédait, il y a trente ans, une immense forêt, complantée de magnifiques sapins. Par suite d'une administration indifférente et une surveillance mal exercée, les revenus de cette forêt ne pouvaient suffire à payer les cinq cents francs d'impôt auquel était assujettie la dite propriété, et les trois cents francs qu'on allouait au garde forestier. Elle fut distraite du régime forestier et vendue à une compagnie, qui l'a exploitée de fond en comble. L'Empire, heureux de récompenser les corrupteurs d'élections, donna sans sourciller, l'autorisation d'aliéner le dit immeuble, malgré la vive protestation de 300 habitants. Il y a deux ans, elle est revendue par licitation et l'un des co-associés s'en est rendu adjudicataire moyennant 6000 francs. La première vente s'étant élevée à 72000 francs, elle a donc subi une perte de 66000 francs en trente années. A côté de cette forêt s'en trouve une autre non moins vaste,

complantée d'arbres de même essence, que l'on a dévastée dans ces derniers temps [il s'agit de Ladeveze]. Elle appartenait au prince de Berghues⁵⁶.

Le 25 septembre 1865, un décret impérial autorise la distraction de 23 ha 60 de bois taillis dans le bois communal. C'est l'ensemble de ce qui reste de la forêt qui est distrait, c'est-à-dire l'ancien quart de réserve qui était la zone la plus exploitée et dégradée, en taillis de chêne et hêtre « *écrasé et abrouti* ». Cette forêt ne sera soumise à nouveau au régime forestier qu'en 1944. Le premier plan d'aménagement est réalisé en 1947 ; il indique une superficie réelle de 27.49 ha et un peuplement :

(...) formé par un taillis sous futaie de chêne, hêtre et châtaignier plus ou moins envahi de sapins de tous âges, qui se régénère abondamment. Le taillis est âgé de 25 à 30 ans, sauf sur la lisière est où deux hectares et demi ont été exploités.⁵⁷

La seule coupe au cours des dix années précédentes a produit 30 m3 de bois d'œuvre et 350 stères de bois de chauffage, qui ont été délivrés en affouage aux habitants. Il est indiqué qu'il n'y a aucun pâturage en forêt. On peut relever qu'il est fait mention du châtaignier, représentant 10 à 20% du peuplement. On ne peut pas dire quand le châtaignier est introduit dans la forêt de Montbrun, tout comme dans celle de Ste-Croix, car curieusement aucune mention n'apparaît dans les sources des XVIIe, XVIIIe e XIXe siècles.

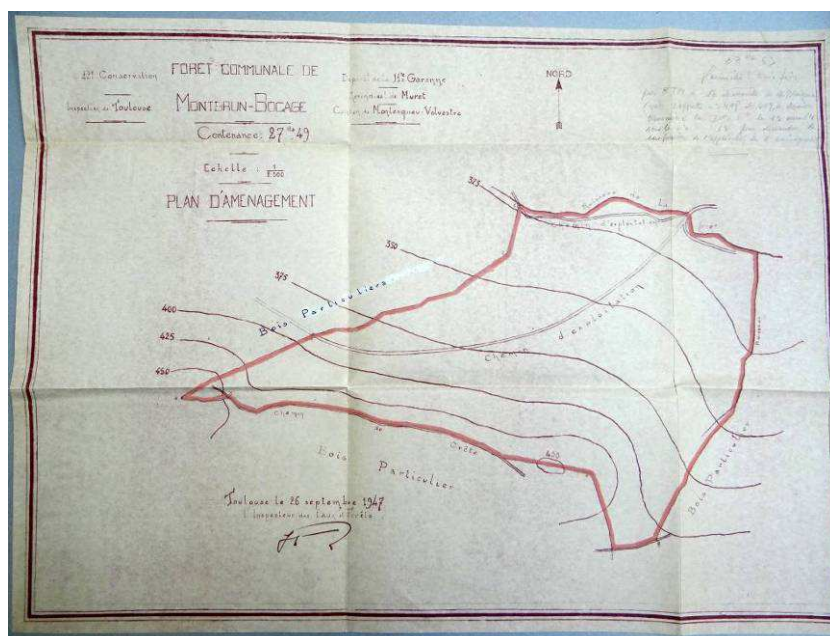


Figure 12 - Plan de la forêt communale (plan d'aménagement de 1947)

En conclusion provisoire...

Les sources qui ont été exploitées jusqu'à présent convergent toutes pour décrire une forêt qui reste globalement jusqu'à la moitié du XIXe siècle une futaie de sapin mélangée de hêtre dans au moins les 3/4 du peuplement. Les taillis et les taillis sous futaie de hêtre et de chêne, mélangés de sapins, concernent essentiellement le quart de réserve (une vingtaine d'hectares) à l'est de la forêt communale, et divers quartiers, surtout près des lisières sud et ouest du boisement, où se concentrent la plupart des coupes en délit. Les ventes successives au XIXe siècle, entraînant des exploitations sévères pour rentabiliser l'achat, ont certainement abouti à une dégradation de la sapinière. Mais comme à Sainte-Croix, il est notable que tous les documents relèvent la forte dynamique de la régénération du sapin, la densité de « la jeunesse » sous la futaie et même dans les taillis, témoignage d'une vitalité du sapin qui ne se dément pas jusqu'à aujourd'hui.

⁵⁶ ADHG Monographies communales, 1885.

⁵⁷ ADHG 2440 W 115 : forêt communale de Montbrun Bocage, plan d'aménagement (1947-49)

Forêt de Ste-Croix : Historique des pièces recollées aux ADHG et aux ADA

1144-1117 : fondation du monastère⁵⁸.

1150 : mention de l'établissement du monastère⁵⁹. Nombreux actes et donations libellés du XII^e siècle et adressés à Navarre, prieuse de Volvestre et à Beatrix, comtesse de Bigorre.

1263 : don de la forêt du couvent de Sainte-Croix-Volvestre en faveur desdites religieuses dudit lieu⁶⁰.

1331 : extrait d'acte contenant nomination d'un garde forestier⁶¹.

1420 : pillage et destruction du monastère (environ)⁶².

1584 : transaction passée entre feu Meynier, procureur de madame de Fontevraud et les habitants de Sainte-Croix⁶³. « *les habitans de Ste Croix sont usagers dans la foret des dames religieuses. Par celle de 1584, il n'est pas fait aucun reglement de l'espece du bois qu'ils doivent prendre pour leur chauffage mais qu'ils en useront en bons peres de famille et sans en abuser*⁶⁴. »

1581 : visite du prieuré avec croquis⁶⁵.

1613 : acte qui atteste que le prieuré de Sainte-Croix n'est pas rétabli à cette époque ; ses biens sont tenus en séquestre par les consuls de Labastide Besplas pour l'abbesse de Fontevault⁶⁶.

1620 : députation des habitants de Sainte-Croix vers madame de Fontevraud pour la supplier de les maintenir dans le privilège d'user de la forêt et autres droits⁶⁷. Correspond à la date où le monastère est relevé⁶⁸.

1621 : confirmation de l'acte de 1613 par une lettre de l'abbesse de Fontevault qui affecte divers biens au prieuré de Sainte-Croix (dont la forêt éponyme), sous la redevance de 10 livres tournois de subsides⁶⁹.

1649 : transaction passée entre la dame prieure de Sainte-Croix et les consuls et habitants dudit lieu : obligation d'entretenir 2 gardes, dont l'un payé par le monastère.⁷⁰ « *Par celle de 1649, les habitans pretendent prandre pour leur chauffage et usage du bois mort et mort bois et en deffaut de l'un des deux, de celluy quy se trouvera le moins utile en lad. foret*⁷¹. »

1667 : procès-verbal de visitation des bois de Sainte-Croix par Louis de Froidour⁷².

1667 : état de déclaration du revenu temporel, charges, réparations et autres dépenses du monastère⁷³.

1667 : état général du revenu du prieure & monastère de Sainte Croix fait suivant l'ordonnance de madame de Fontevraud, chef et générale de l'ordre de Fontevraud⁷⁴. Description du monastère.

1668 : procès-verbal de mesurage et d'arpentage desdits bois par Bernard Ferrand, arpenteur de la réformation⁷⁵. Supplique des religieuses décrivant la forêt comme fortement dégradée⁷⁶.

1668 : cinq jugements de la réformation⁷⁷.

⁵⁸ Gustave DUCOS, *Sainte-Croix-Volvestre et son monastère des origines à la Révolution, 1117-1789*, Paris, Office d'édition du livre d'histoire, 1937, p. 32.

⁵⁹ ADA H 105, « l'état de déclaration... »

⁶⁰ ADHG, 8 B 139 Q 33 ; cf. aussi ADA H 105, « l'état de déclaration... » pour le détail ; ADA H 108 « Donation de la forêt de Sainte-Croix » transcription en français.

⁶¹ ADHG, 8 B 139 Q 33

⁶² ADA H 105, « l'état de déclaration... »

⁶³ ADHG, 8 B 139 Q 33.

⁶⁴ ADA H 108, « Mémoire concernant la forêt »

⁶⁵ ADA H 108 « Visitation du prieuré »

⁶⁶ ADA H 105

⁶⁷ ADHG, 8 B 139 Q 33..

⁶⁸ ADA H 105, « l'état de déclaration... »

⁶⁹ Ibidem.

⁷⁰ ADHG, 8 B 139 Q 33.

⁷¹ ADA H 108, « Mémoire concernant la forêt »

⁷² ADHG, 8 B 139 Q 33.

⁷³ ADA H 105.

⁷⁴ Ibidem, « l'état général... »

⁷⁵ ADA H 105.

⁷⁶ ADA H 108 « Supplique »

⁷⁷ ADA H 105.

1684 : vente de 2500 pieds d'arbres pour être employés au service du roi dans les ateliers de Rochefort. Opposition des habitants de Sainte-Croix⁷⁸.

1696 : procès-verbal de la forêt par Dumond, grand maître⁷⁹.

1710 : inventaire du monastère⁸⁰.

1727 : inventaire du monastère⁸¹.

1730 : déclaration de revenus⁸².

1746 : arpentage, plan de coupe du grand maître des Eaux et Forêts⁸³.

1748 : plan de Sainte-Croix, avec le plan des quartiers de la forêt et du Cap de Lavedes⁸⁴.

1757 : déclaration des bois⁸⁵.

1761 : requête des dames au maître particulier de Comminges contre les habitants qui s'opposent à la coupe ordinaire sous prétexte d'usage⁸⁶.

1763 : procès-verbal de l'arpenteur pour le remplacement des bornes⁸⁷.

1773 : différenciation des coupes entre bois de chêne et de sapin⁸⁸.

1779 : mention de sapins chablis⁸⁹.

1780 : vente de 500 sapins et 22 chênes et procès en décollant⁹⁰.

1781 : plus de filles dans le monastère ; verbal de Mr de Gariscan qui trouve la forêt en bon état⁹¹. Ordonnance du grand maître qui confirme les arrêts du maître particulier de Comminges de 1779 et 1785 concernant les chablis⁹². Ordonnance du grand maître de Guyenne qui permet aux religieuses d'employer du sapin⁹³. Ouragans en janvier et février, imposant une visite et vérification de la forêt⁹⁴.

1782-1785 : état des personnes auxquelles on a marqué en délivrance du bois (77)⁹⁵.

1783 – 1785 : verbaux de délivrance de sapins aux habitants⁹⁶.

1784 : liste de ce que les habitants ont pris en forêt⁹⁷.

1785 : mention de sapins chablis⁹⁸.

1809-1830 : pièces de procédures sur droits d'usages dans les montagnes : communauté contre Eléonore de Bourbon, abbesse de Fontevault, prieure de Sainte-Croix⁹⁹.

1828 : assiette et martelage de la forêt¹⁰⁰.

1841 : acte de notification des cantons défensables¹⁰¹.

1842 : acte de notification des cantons défensables¹⁰².

1845-1853 : vente de communaux¹⁰³.

1856 : vente de la forêt domaniale ; les acquéreurs cantonnent les droits d'usages, rétrocédant en échange à la commune 81 ha de bois et 17 ha de pâtures¹⁰⁴.

⁷⁸ ADA H 108 « Avis de 1684... »

⁷⁹ ADA H 108 « Mémoire concernant la forêt ».

⁸⁰ ADA H 105., « Copie de la déclaration... »

⁸¹ Ibidem.

⁸² ADA H 105., « Déclaration de revenus »

⁸³ ADA H 105., « Copie de la déclaration... » ; cf. aussi ADA H 108 « Mémoire concernant la forêt ».

⁸⁴ ADA, 116 EDT CC 2.

⁸⁵ ADA H 105., « Copie de la déclaration... »

⁸⁶ ADA H 108 « Avis de 1684... »

⁸⁷ ADA H 108 « procès-verbal de l'arpenteur pour le remplacement des bornes »

⁸⁸ ADA H 108 « Permission de diviser les coupes du bois chêne »

⁸⁹ ADA H 108 « Mémoire ou sont indiqués en abrégé les titres concernant les bois et forêts des religieuses »

⁹⁰ ADA H 108 « Mémoire concernant la forêt ».

⁹¹ Ibidem.

⁹² ADA H 108 « Mémoire ou sont indiqués en abrégé les titres concernant les bois et forêts des religieuses »

⁹³ ADA H 108 « Ordonnance du grand maître de Guyenne qui permet aux religieuses d'employer du sapin »

⁹⁴ ADA H 108 « Procès-verbal de visite et vérification de la forêt de Sainte Croix par les officiers de Saint-Gaudens »

⁹⁵ ADA H 108 « État des personnes auxquelles... »

⁹⁶ ADA H 108 « Verbaux de délivrance... »

⁹⁷ ADA H 108 « Liste de ce que les habitants... »

⁹⁸ ADA H 108 « Mémoire ou sont indiqués en abrégé les titres concernant les bois et forêts des religieuses »

⁹⁹ ADA, 116 EDT AA1.

¹⁰⁰ ADA, 116 EDT F 5.

¹⁰¹ Ibidem.

¹⁰² Ibid.

¹⁰³ ADA, 116 EDT N1.

¹⁰⁴ ADHG, 3 2436 W 119.

1874 : soumission de la forêt communale au régime forestier¹⁰⁵

1884 : premier aménagement de la forêt communale, sur 86 ha 07¹⁰⁶

1913-1921 : plan d'aménagement échelle 1/2500¹⁰⁷. Contenance de la forêt : 93 ha 09

1921 : forêt communale de Sainte-Croix : règlement d'exploitation¹⁰⁸.

1953 : procès-verbal de révision d'aménagement¹⁰⁹.

1955 : procès-verbal de révision d'aménagement, arrêt d'aménagement, extrait des délibérations du conseil municipal, rapports, correspondance. Deux cahiers d'aménagement avec un bref rappel historique de la forêt¹¹⁰. Contenance de la forêt communale portée à 97 ha 57, par incorporation de parcelles de landes.

1970 : vente de la forêt à l'Etat, pour une surface cadastrale de 101 ha 87, portée à 103 ha 76 à la suite d'acquisitions diverses¹¹¹.

¹⁰⁵ ADHG, 3 2436 W 119.

¹⁰⁶ ADHG, 3 2436 W 119.

¹⁰⁷ ADHG, 2 2436 W 120.

¹⁰⁸ Ibidem.

¹⁰⁹ ADHG, 3 2436 W 119.

¹¹⁰ Ibidem.

¹¹¹ ONF. Révision d'aménagement de la forêt de Ste-Croix-Volvestre, 2012-2031

Forêt de Montbrun : Historique des pièces recollées aux ADHG

- 1689** : Procès verbal. Plainte de Marie de Bellegarde, propriétaire de la forêt de Montbrun « Plantée en fustaye de hestres et sapins »¹¹²
- 1689** : Ordonnance de Thimoléon Le Gras, grand maître des Eaux et Forêts au sujet de la plainte de Marie de Bellegarde, propriétaire de la forêt de Montbrun « Plantée en fustaye de hestres et sapins », pour délits coupes sans titres et de dégradation de la forêt¹¹³.
- 1689-1690** : assignations, interrogatoires et confrontations à Montbrun dans le cadre de la plainte de Marie de Bellegarde¹¹⁴
- 1690** : Ordonnance pour coupe non déclarée dans la forêt de Montbrun¹¹⁵
- 1754** : Note du PV d'aménagement de la forêt de Montbrun¹¹⁶
- 1759** : Confrontation pour vente de sapins en délit.¹¹⁷
- an IV** : Extrait du registre de délibérations de l'administration municipale du canton de Montesquieu Volvestre. Dégradation de la forêt de Montbrun. Demande d'un second garde¹¹⁸
- an V** : PV du garde forestier de la forêt de Montbrun au sujet des dégradations commises¹¹⁹
- an V** : PV de martelage de 200 pieds de sapins dans la forêt communale de Montbrun, et de la Devèze, et des délivrances faites dans la première aux habitants de Montbrun¹²⁰
- an V** : Arrêté du département de la HG s'opposant à celui du 17 qui ordonnait l'aménagement de la forêt de Ladevèze, en raison du pourvoi en cassation¹²¹.
- an V** : vente de 100 sapins : 13 livres 10 sols par pied (provenant de la « petite forêt de Montbrun »). Lettre évoquant que la commune a été mise en possession de la forêt de Ladevèze.
- An V** : délivrance de 255 sapins aux usagers de la commune (146 usagers)
- an VI** : Vente de sapins de la forêt de Montbrun¹²²
- an VII** : vente de 100 sapins pour 1425 livres
- an X**. Saisie de la coupe de la forêt de Montbrun¹²³
- 1810** : Délibération du CM demandant la coupe et adjudication de 7 ormeaux dépérissants¹²⁴
- 1810** : Etat des coupes dans la forêt de Montbrun : 3 ha 04a 88ca¹²⁵
- 1827** : lettre du sous préfet sur condamnation d'un délit d'ébranchage de sapin dans la forêt¹²⁶
- 1828** : lettre du sous préfet avec état général de la forêt communale.¹²⁷
- 1829** : autorisation préfectorale pour la délivrance de 19 sapins à la commune, pour réparations.¹²⁸
- 1829** : demande de la commune d'une coupe de bois taillis de 5 ha¹²⁹
- 1831** : lettre du sous-inspecteur concernant de nombreux délits dans la forêt communale auxquels aurait participé le garde Echeyne¹³⁰.
- 1832** : lettre du sous préfet pour l'adjudication de 50 sapins sur l'exercice 1832¹³¹
- 1833** : délibération du conseil municipal demandant la coupe de 5 ormes dépérissants sur le communal de Lacoueich¹³²
- 1834** : délivrance de 5 sapins¹³³

¹¹² ADHG, 2 E 1239

¹¹³ Ibidem

¹¹⁴ Ibidem

¹¹⁵ Ibidem

¹¹⁶ ADHG, 2 E 2354

¹¹⁷ ADHG, 2 E 1239

¹¹⁸ ADHG, 2 E 2354

¹¹⁹ Ibidem

¹²⁰ Ibidem

¹²¹ Ibidem

¹²² Ibidem

¹²³ Ibidem

¹²⁴ ADHG 2 E 1961

¹²⁵ Ibidem

¹²⁶ Ibidem

¹²⁷ Ibidem

¹²⁸ Ibidem

¹²⁹ Ibidem

¹³⁰ Ibidem

¹³¹ Ibidem

¹³² Ibidem

- 1835** : décision du sous-préfet sur demande de coupe. Accord pour 20 sapins de 4 à 5 décimètres de circonférence¹³⁴
- 1836** : lettre du sous-préfet au sujet de la coupe sans autorisation du « plus bel arbre de cette propriété », pour servir au feu de la St Jean. » « Un arbre de 16 décimètre était trop précieux pour cette réjouissance ». Cette forêt a été « considérablement épuisée »¹³⁵
- 1837** : lettre du sous-préfet au sujet d'une demande de coupe de 23 ha de superficie, 13 ans d'âge¹³⁶
- 1839** : lettre du sous-préfet évoquant la coupe de 15 sapins¹³⁷
- 1836** : refus d'une coupe de 5 ha¹³⁸
- 1839** : lettre du sous préfet sur autorisation de coupe de 40 sapins défectueux et dépérissants¹³⁹
- 1840** : accord pour délivrance de 7 sapins¹⁴⁰
- 1839** : lettre de l'inspecteur des forêts évoquant une coupe de 15 sapins¹⁴¹
- 1839** : lettre de l'inspecteur sur les 40 sapins à couper¹⁴²
- 1839** : demande de 5 sapins pour réparer la chapelle, martelés en 1840¹⁴³
- 1839** : lettre du sous-préfet, évoquant une coupe de 7 ha de taillis accordée à la commune + 40 sapins dépérissants¹⁴⁴
- 1843** : lettre du sous préfet évoquant une coupe de 250 sapins dont les rémanents devraient être distribués aux indigents de la commune¹⁴⁵
- 1843** : lettre de l'inspecteur des forêts, à propos d'une demande de coupe de 87 sapins demandée par la commune¹⁴⁶
- 1843** : lettre du sous préfet autorisant une coupe de 87 sapins¹⁴⁷
- 1845** : délibération du CM demandant une coupe de 250 sapins¹⁴⁸
- 1847** : décision d'autorisation d'une coupe de 250 sapins en « exploitation par économie »¹⁴⁹
- 1848** : arrêté du préfet autorisant la coupe pour recépage de 23ha du bois taillis communal¹⁵⁰
- 1850** : adjudication d'une coupe de 250 sapins à effectuer dans la forêt communale¹⁵¹
- 1861** : décret impérial autorisant la commune à aliéner la sapinière¹⁵²
- 1862** : PV d'adjudication aux enchères de la sapinière de Montbrun.¹⁵³
- 1865** : décret impérial de distraction de 23 ha 60 de bois taillis dans le bois communal¹⁵⁴

¹³³ Ibidem
¹³⁴ Ibidem
¹³⁵ Ibidem
¹³⁶ Ibidem
¹³⁷ Ibidem
¹³⁸ Ibidem
¹³⁹ Ibidem
¹⁴⁰ Ibidem
¹⁴¹ Ibidem
¹⁴² Ibidem
¹⁴³ Ibidem
¹⁴⁴ Ibidem
¹⁴⁵ Ibidem
¹⁴⁶ Ibidem
¹⁴⁷ Ibidem
¹⁴⁸ Ibidem
¹⁴⁹
¹⁵⁰ Ibidem
¹⁵¹ Ibidem
¹⁵² Ibidem
¹⁵³ Ibidem
¹⁵⁴ Ibidem

2.2 - APPROCHE PALYNOLOGIQUE : L'ENREGISTREMENT POLLINIQUE DE PELISSIE

La séquence sédimentaire de Pélissié d'une épaisseur de 2m a été prélevée à l'aide d'un carottier russe dans un bas-fond alluvial tourbeux situé à 312m. d'altitude, sur une terrasse alluviale en bordure du ruisseau de Paris, au débouché d'un affleurement phréatique qui a alimenté une petite zone tourbeuse d'une centaine de mètres carrés (cf. fig. 13). Les échantillons prélevés sur l'ensemble du profil ont été traités selon un protocole physico-chimique standard dans le but d'en extraire le matériel sporo-pollinique. Les déterminations et dénombrements ont été réalisés sous microscope à fort grossissement et un minimum de 400 grains de pollen terrestres a été comptabilisé lors des analyses. Les Cypéracées et l'aulne ont été exclus de la somme de base en raison de leurs sur-représentations pollinique venant masquer les dynamiques de la végétation environnante.

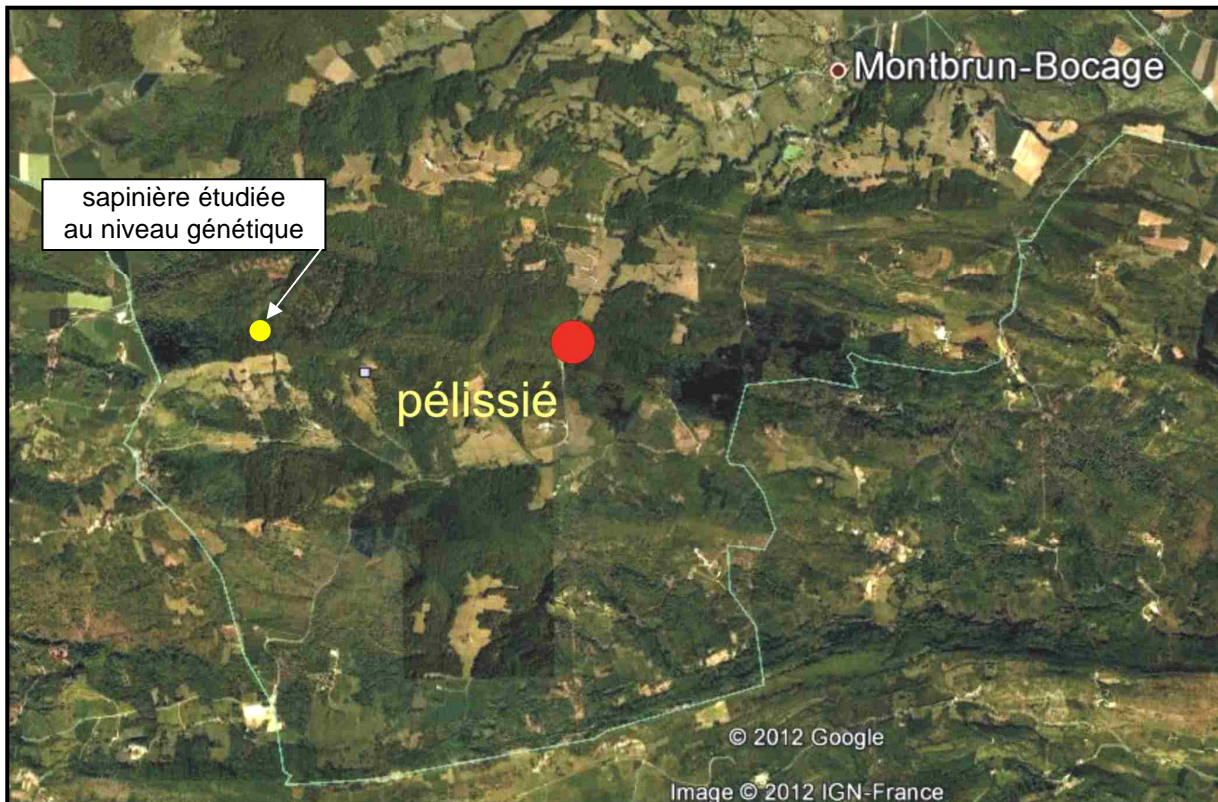


Figure 13 - Localisation du site de Pélissié (en rouge). Le site se trouve à proximité immédiate de la forêt de Montbrun, et au sein d'une zone qui est restée boisée probablement en continuité jusqu'au XXe siècle (cf. fig. 11, carte de 1849)

Les échantillons analysés ont permis d'établir un diagramme pollinique à basse résolution temporelle mais permettant néanmoins de suivre les grandes étapes de l'histoire locale de la végétation et de l'anthropisation de ce secteur (Fig. 15). Sur le diagramme figure également le résultat d'une analyse des concentrations en particules carbonisées (<250 μ m) réalisée sur l'ensemble de la séquence en suivant un pas d'échantillonnage centimétrique.

La chronologie repose sur cinq datations radiométriques AMS réalisées sur macrorestes végétaux par le laboratoire Beta Analytic (tab.1). Une estimation des âges calibrés réalisée sous R à partir du modèle Clam 2.0 (Blaauw, 2010) et de la fonction smooth-spline (fig. 14) à permis l'élaboration d'un modèle d'âge robuste utilisé pour la réalisation du diagramme pollinique chronologique (fig.15).

Echantillon	Code labo.	Age 14C	matériel	Calibration (cal BP ¹⁵⁵)
Pelis 44-45	Beta-323064	790 ± 30	bois	672-760
Pelis 93-94	Beta-323061	1840 ± 30	bois	1709-1864
Pelis 136-135	Beta-347643	2290 ± 30	bois	2164-2353
Pelis 171-172	Beta-339973	3740 ± 30	Aiguille de sapin	3985-4223
Pelis 189-190	Beta-339974	4430 ± 30	Aiguille de sapin	4876-5274

Tableau 1 – Datations radiocarbones de la séquence de Pélistié
 Calibrations réalisées avec le modèle Clam 2.0 (Blaauw, 2010)

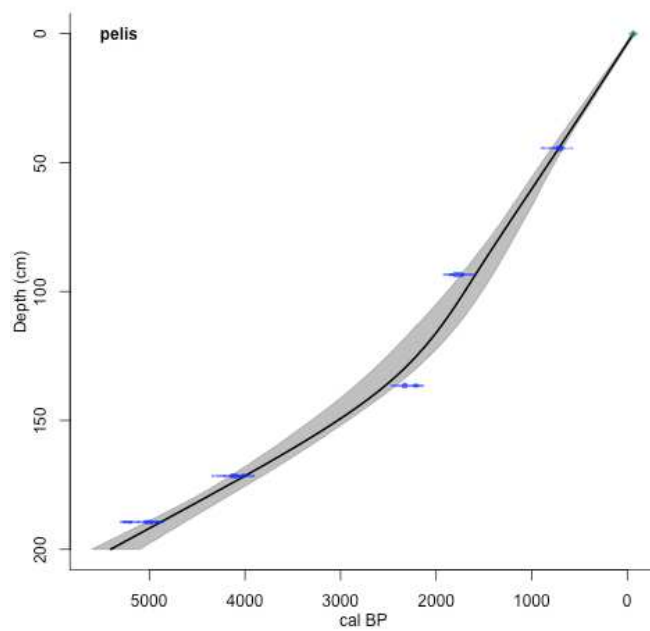


Figure 14 – Modèle âge-profondeur de la séquence de Pélistié (Clam 2.0, fonction smooth spline)

¹⁵⁵ BP : Before present = expression de l'âge en nombre d'années comptées vers le passé à partir de l'année 1950

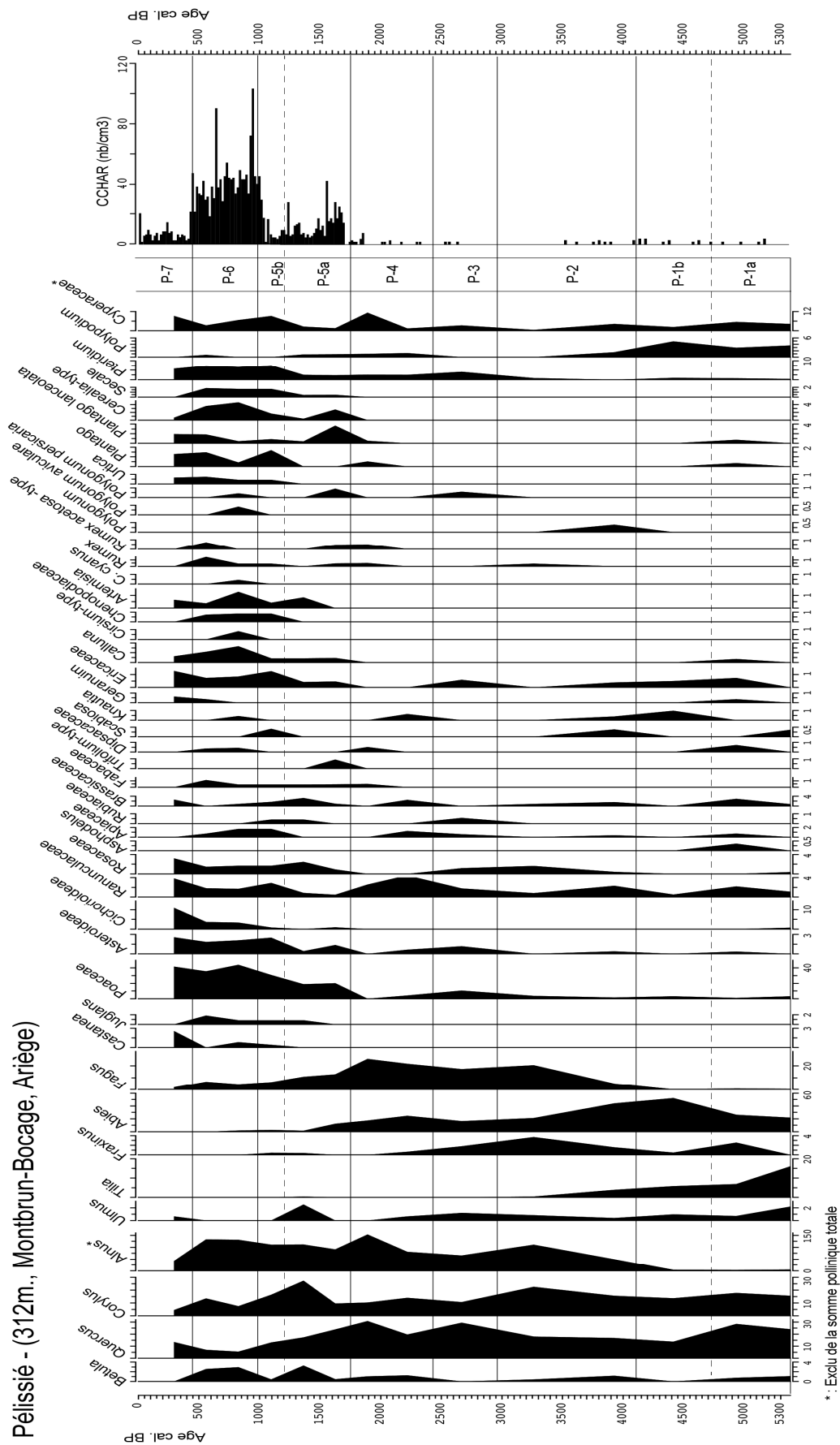


Figure 15 – Diagramme pollinique chronologique et concentrations en particules carbonisées (CCHAR) de la séquence sédimentaire de Pélissié

Une sapinière ancienne

Les données polliniques enregistrées dans la séquence de Pélissié évoquent dès 5300 cal BP (P-1) l'existence d'une forêt mixte riche en sapin aux abords immédiats du point de sondage ; ce que confirme la présence de stomates et de macrorestes de sapin (aiguilles) dans les niveaux correspondant à cette phase. La diversité des essences forestières observées durant les périodes les plus anciennes de cet enregistrement (tilleul, orme, frêne, noisetier) rappellent certains faciès forestiers actuels de la basse vallée de l'Aude où cohabitent en mélange l'ensemble de ces taxons.

Contrairement à ce qui est observé durant cette période correspondant à la deuxième moitié du Néolithique dans plusieurs secteurs du piémont pyrénéen (Rius et al., 2009, Galop et al., 2013), les indices d'anthropisation sont ici très discrets. Les concentrations en particules carbonisées repérées entre 5300 et 4200 cal BP restent faibles et révèlent tout au plus l'existence régionale d'incendies. Ce n'est que plus tard, entre 4200 et 3500 cal BP (P-2), que les concentrations en micro-charbons augmentent légèrement et coïncident avec l'amorce d'une réduction des fréquences du sapin et du tilleul, tandis que le hêtre amorce son développement au même titre que le frêne et l'aulne. L'absence totale d'indice pollinique d'anthropisation durant cet épisode permet d'évoquer ici une augmentation de l'humidité comme principal facteur de développement de ces deux essences au sein du cortège forestier. Dès lors et durant une longue période, le sapin, le hêtre et une chênaie à frênes et noisetiers composent l'essentiel de la couverture forestière tandis qu'au niveau de la ripisylve, l'aulne prolifère.

A partir de 3000 cal BP, soit durant la deuxième moitié de l'Âge du bronze (P-3), les données polliniques signalent une première phase d'attaque du milieu forestier. Elle est signalée par une réduction du hêtre, du noisetier et du frêne alors que le sapinière est déjà amoindrie et caractérisée par une faible représentation pollinique. Cette première phase d'ouverture du milieu est corroborée par une élévation des valeurs des Poacées et des Composées, mais également des éricacées et de la fougère-aigle. Si la période 2500-2000 cal BP semble caractérisée par une courte période de reconstitution des espaces forestiers, dès 2000 cal BP l'apparition de nombreux indices polliniques d'anthropisation (Rumex, Plantago) ainsi qu'une légère élévation des concentrations en micro-charbons marquent une reprise des activités humaines non loin du site de Pélissié. Cette anthropisation se confirme par une élévation brutale de l'ensemble des indices la caractérisant dès 1800 cal BP, durant l'Antiquité tardive (P-5a et 5b). Le développement simultané de plantes rudéro-ségétales (Plantago lanceolata, Rumex, Asteracées,...), de céréales (Cerealia et Secale), d'arbres cultivés (Juglans) ainsi que l'augmentation des Poacées indiquent sans ambiguïté une phase locale d'emprise agraire. D'une ampleur sans doute considérable, elle s'accompagne de défrichements importants ainsi qu'en atteste la réduction rapide de l'ensemble des essences forestières durant cette période et l'ouverture du milieu signalée par l'élévation rapide des Poacées et des Ericacées. Cette phase d'expansion agraire et de conquête de terres est localement fatale au sapin qui dès lors s'efface des assemblages polliniques vers 1500 cal BP et disparaît probablement de ce secteur à cette date. Dans le même temps, les augmentations synchrones du bouleau, de l'orme et du noisetier semblent caractéristiques du développement de cortèges héliophiles post-culturels qui suggèrent la persistance d'un système agraire encore fondé sur des cultures temporaires et mobiles. Ces essartages sont confirmés par une élévation des particules carbonisées durant l'intégralité du Haut-Moyen Âge. Ils s'amplifient à partir du X^e siècle (P-6) en s'accompagnant d'un recul considérable de l'espace forestier caractérisé par une forte réduction du chêne et du hêtre et par la disparition du sapin. Le bouleau, le noisetier et l'aulne constituant dès lors les formations boisées dominantes. Les indices d'agriculture s'affirment avec une hausse de la représentation des céréales et du seigle tandis que la hausse des Poacées mais également de la représentation de nombreuses herbacées (Asteracées, Rosacées, Chenopodiacées, Urtica, Plantago, Artemisia,...) caractéristiques de zones prairiales, pastorales et rudéralisées signalent la mise en place d'un paysage agro-pastoral qui se maintiendra jusqu'au sommet de l'enregistrement. Entre le X^e et le XV^e siècle les essartages semblent caractéristiques de ce système agraire médiéval. Ils cessent brutalement à partir du XVI^e siècle, période à laquelle on note l'amorce d'une très forte ouverture du milieu.

Apport de l'enregistrement de Pélissié à la paléoécologie du sapin dans les Pyrénées

En confirmant la présence du sapin à très basse altitude sur le piémont ariègeois, les données de Pélissié apportent un élément nouveau à la connaissance de la diffusion holocène d'*Abies alba* sur le versant nord Pyrénéen.

S'il est reconnu de longue date que cette essence se développe progressivement d'est en ouest sur le massif Pyrénéen (Mardones et Jalut, 1983, Jalut, 1988), la cartographie schématique réalisée sur la base des données polliniques disponibles et pour l'essentiel encore inédites (fig. 16) indique que cette diffusion s'effectue graduellement depuis le début de l'Holocène par la colonisation arythmique d'aires géographiques distinctes. Ces données révèlent ainsi un développement du sapin entre 9500 et 8000 cal BP dans la partie est du massif, des Pyrénées-orientales jusqu'au Vicdessos où son apparition est notée vers 8000 cal. BP. Il se développe ensuite, plusieurs millénaires plus tard, dans les Pyrénées centrales entre la vallée d'Aure et la vallée du Gave d'Ossau, où différents enregistrements polliniques indiquent une expansion du sapin dans l'étage montagnard entre 6500 et 5000 cal. BP, bien que quelques enregistrements polliniques suggèrent une première phase de développement avortée synchronisée de la phase d'expansion enregistrée à l'est du massif entre 9500 et 8000 cal BP. Enfin, ultime étape de cette diffusion, le sapin se développe à l'extrémité occidentale de la chaîne et aux limites de son aire de répartition actuelle durant la période historique. Il s'installe au sein de la hêtraie du massif d'Iraty vers 650/500 cal. BP bien que de rares occurrences polliniques indiquant une présence locale discrète soient enregistrées plus tôt, vers 4000 BP et plus nettement à partir de 2000 cal BP.

Concernant la présence d'*Abies* à basse altitude sur le massif Pyrénéen, les données sont rares et pour l'heure la séquence de Pélissié représente la seule preuve témoignant de son abondance sur le piémont nord Pyrénéen. Abondance qui semble cependant limitée au Pyrénées de l'est puisque l'examen des enregistrements polliniques de Gabarn (300m, basse vallée du Gave d'Ossau), du Col d'Ech (600m, Lourdes) et de Cuguron (500m., Plateau de Lannemezan) reflètent sans ambiguïté une absence du sapin en dessous de 600m. ; les fréquences polliniques enregistrées ne témoignent que de l'écho pollinique de peuplements très éloignés.

Considérant l'ensemble de ces informations, les données enregistrées à Pélissié qui attestent d'une forte présence du sapin au début de la deuxième moitié de l'Holocène renforcent l'hypothèse d'un foyer de diffusion d'*Abies* à partir des Pyrénées méditerranéennes où il s'y est développé y compris à basse altitude dès la première moitié de l'Holocène entre 9000 et 8000 cal. BP.

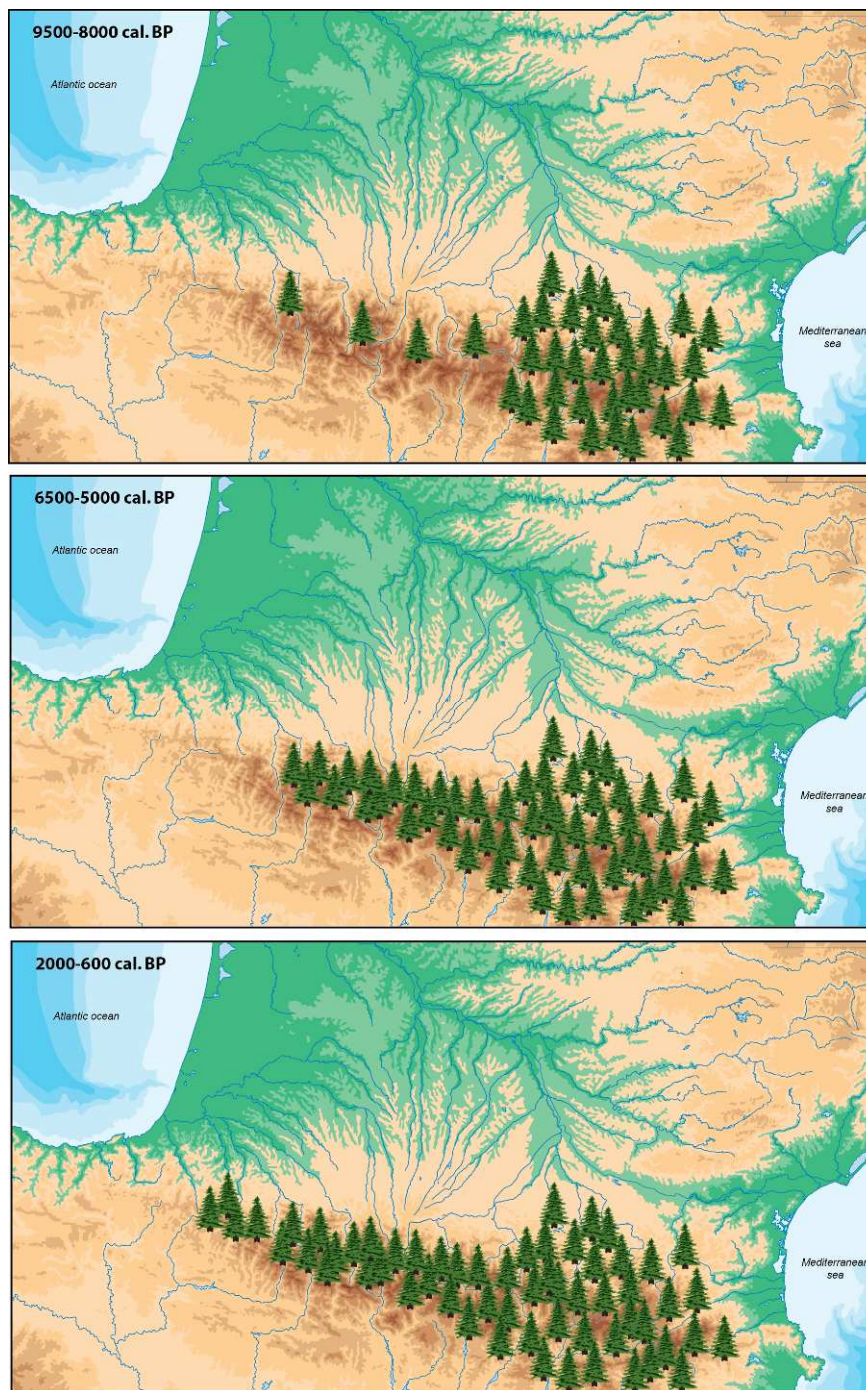


Figure 16 – Cartographie schématique de la diffusion du sapin sur le versant nord Pyrénéen durant l’Holocène

Cette dynamique pyrénéenne du sapin trouve de nombreux points de convergence avec le processus de diffusion enregistré dans le sud du massif alpin où une expansion générale de cette essence y compris à basse altitude est notée dès 8000 cal BP à partir de zone refuges situées dans les Apennins du nord durant le dernier maximum glaciaire (Guillon, 2014 ; Cheddadi et al., 2013). Son expansion, sur les rives de la Méditerranée ainsi que sur l’ensemble de l’Europe centrale, aurait été favorisée à partir de 8200 cal BP par la mise en place de conditions climatiques plus fraîches, une humidité atmosphérique continue et par une absence de sécheresses estivales (Tinner et Lotter, 2006). Concernant la diffusion du sapin dans les Pyrénées (fig. 16), si le rôle du foyer transalpin semble pouvoir être exclu, le synchronisme des phénomènes tend à accréditer l’hypothèse d’un refuge situé à l’est de la chaîne et à proximité de la Méditerranée à partir duquel se serait effectuée une diffusion rapide d’*Abies* à la partie orientale du massif dès le début de l’Holocène sous des conditions climatiques favorables à son expansion. Les raisons

expliquant le blocage de son expansion dans les parties occidentales de la chaîne entre 8000 et 6000 cal BP restent encore mal connues et difficiles à apprécier, bien que l'explication climatique soit la plus vraisemblable si l'on considère le synchronisme entre cette reprise de la diffusion et l'entrée dans le Néoglaciale. Le fait que la reprise de cette expansion géographique soit dès 6000 cal BP limitée aux seules zones d'altitudes pourrait également indiquer que c'est seulement au niveau de l'étage montagnard que s'expriment les conditions climatiques et notamment d'humidité atmosphérique les plus favorables à son développement.

Références bibliographiques

- Blaauw M., 2010. Methods and code for «classical» age-modeling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology*, 5 (5) : 512-518.
- Cheddadi R., Birks H.J., Tarroso P., Liepelt S., Gömöry D., Dullinger S., Meier E., Hülber K., Maiorano L., Laborde H., 2013. Revisiting tree-migration rates : *Abies alba* (Mill.) , a case study. *Vegetation History and Archaeobotany* : 1-10.
- Galop D., Rius D., Cugny C. et Mazier F., 2013. Long-term Human-environment interactions history in the French Pyrenean Mountains inferred from pollen data. In L. Lozny (edt) *Adaptation to Mountain. Archaeology, Anthropology, and Ecology of Mountainous Lifestyle*. Springer : 19-30
- Guillon S., 2014. *Dynamique de la végétation alluviale côtière dans le sud-est de la France (bassins versants du Loup et de la Cagne, Alpes-Maritimes) au cours de la première moitié de l'Holocène*. PhD, Université de Nice Sophia-Antipolis.
- Jalut G., 1988. Les principales étapes de l'histoire de la forêt pyrénéenne française depuis 15000 ans. In *Hommage a Pedro Montserrat*. Jaca : 609-615.
- Mardones M., Jalut G., 1983. La tourbière de Biscaye (alt. 409m. Hautes-Pyrénées) : approche paléoécologique des 45000 dernières années. *Pollens et spores*, XXV : 163-212.
- Rius D., Vannièrè B., Galop D., 2009, Fire frequency and agro-pastoral activities landscape management in the north-western pyrenean piedmont (France) since early Neolithic (8000 cal. BP). *The Holocene* 19 (6) : 1-13.
- Tinnet W., Lotter A.F., 2006. Holocene expansions of *Fagus silvatica* and *Abies alba* in central Europe : where are we after eight decades of debate ? *Quaternary Science Reviews*, 25 : 526-549.

2.3 - APPROCHE PEDO-ANTHRACOLOGIQUE DES FORETS DE SAINTE-CROIX-VOLVESTRE ET MONTBRUN

L'analyse pédo-anthracologique demande de rechercher en priorité des sites offrant des sols épais. On considère par principe que les charbons trouvés dans les horizons profonds sont plus anciens que ceux des horizons superficiels. Mais les recherches méthodologiques ont mis en évidence que la bioturbation était très forte dans des sols ou des colluvionnements épais, jusqu'à des profondeurs de plus de un mètre (action des racines, rongeurs, vers de terre, etc.). Des protocoles de datation ont montré que, dans des sols de moins d'un mètre, il était impossible d'être sûr que les charbons en profondeur soient plus anciens que ceux proches de la surface. La recherche de charbons anciens dans ces sites demande donc un grand nombre de datations.

Les sols rencontrés dans les deux sites étudiés ont pour particularité principale leur épaisseur. Il n'a jamais été possible de creuser des fosses jusqu'au substrat, comme il est préconisé dans l'approche pédo-anthracologique, bien que les fosses aient atteint jusqu'à 2 m de profondeur. L'épaisseur de ces sols est liée au contexte géologique et géomorphologique. D'une part, aussi bien à Ste-Croix qu'à Montbrun, le substrat est constitué de grès et de marnes argileuses du Maestrichien dont la désagrégation a entraîné la formation de niveaux épais d'altération argileuses ou sablo-argileuses, et des colluvionnements importants sur les versants. Les bassins des deux forêts sont d'ailleurs caractérisés par de profonds ravins creusés dans ces altérations. D'autre part, dans le secteur de la forêt de Montbrun, le bassin versant est en grande partie recouvert par des colluvionnements acides et caillouteux issus des anciens cônes alluviaux tertiaires du Salat, qui dominent l'actuelle vallée du Volp, notamment au niveau de Lasserre et de la rive droite (plateau de Lahitère). On va retrouver dans tout le bassin de la forêt de Montbrun des vestiges de cette formation tertiaire.

Au niveau méthodologique, pour avoir une représentativité du flux de pédo-charbons qui permettent une interprétation spatiale, il a donc été choisi de procéder à deux types de sondages :

- des fosses pédologiques classiques, réalisées sur les ombrées et les soulanes, pour rapprocher au mieux les prélèvements de la diversité locale au niveau du bioclimat, mais aussi de la gestion anthropique ; on a choisi à chaque fois des situations de replat pour éviter au maximum les effets de ruissellement sur les versants.
- des prélèvements en contexte sédimentaire, dans les terrasses alluviales (épaisses de 1 à 4 mètres) au long des petits ruisseaux, lesquels atteignent en général le substrat géologique sur lequel ils coulent. L'objectif étant ici d'avoir une représentativité de la végétation carbonisée à l'échelle des bassins versants, qui sont assez modestes (1,5km² pour le bassin versant en amont du sondage à Ste-Croix, 2 km² à Montbrun). Cette option permettait d'avoir une restitution de la végétation forestière mais aussi des zones aujourd'hui agricoles. Dans chaque cas, à peu près un tiers du bassin versant en amont des prélèvements est actuellement en terres agricoles ou friches récentes.

Méthode d'analyse

Dans chaque sondage, comme les fosses pédologiques Ste-Croix 1 et 2, et Montbrun 2 et 3, ou bien les coupes sédimentologiques Ste-Croix 3 et Montbrun 1, on a déterminé les horizons pédologiques et sédimentaires, puis délimité des niveaux de prélèvement en fonction de ces horizons, par tranches de 10 à 30 cm. Dans chaque niveau on a effectué un prélèvement de 12-15 kg de terre. Après séchage, les échantillons ont été tamisés à l'eau, aux tamis 5 mm, 2 mm, 0.8 mm et 0.4 mm. Devant l'abondance de charbons obtenus dans les tamisages 5 et 2 mm, aussi bien à Ste-Croix qu'à Montbrun, il a été décidé de ne pas étudier dans un premier temps les deux autres tamisages. Le principe de l'analyse pédoanthracologique repose sur la détermination de tous les charbons dans chaque niveau. En raison de la grande quantité de charbons évoquée ci-dessus, le temps d'analyse a été très long et n'a pas été achevé pour certains sondages ; dans ces cas, il a été déterminé au moins 100 charbons par niveau, chaque fois que cela a été possible,

quantité qui s'était avérée globalement représentative de l'ensemble dans les niveaux où les charbons ont été identifiés en totalité¹⁵⁶.

Intérêt et limites de la pédo-anthracologie

L'intérêt de la méthode est de reconstruire avec une grande précision l'histoire de la végétation ligneuse incendiée à partir de la quantification, identification et la datation des charbons du sol (Talon, Carcaillet, & Thion 1998). La pédoanthracologie permet de travailler à une échelle locale ou de versant. Dans d'autres disciplines comme la palynologie ou l'étude des microcharbons, les résultats ont une validité régionale due à la petite taille des particules d'étude. De longues distances peuvent être parcourues pour les grains de pollen depuis leur origine jusqu'à leur point de stockage sédimentaire. Par contre, la pédoanthracologie pratiquée à partir de sondage ponctuels assure que les transports sont minimum en raison de la taille des charbons d'étude (>400µm)(Clark 1988; Lynch, Clark, i Stocks 2004; Ohlson i Tryterud 2000). Ainsi, la précision dans l'espace est élevée ce qui n'est pas le cas pour d'autres disciplines. La pédoanthracologie offre par ailleurs une bonne flexibilité pour la localisation des points d'échantillonnage.

Il est considéré qu'il faut normalement éviter les zones d'érosion maximale ou de perturbations humaines (Carcaillet i Thion 1996), mais en fonction l'approche par prélèvement dans des sites sédimentaires doit permettre aussi une interprétation à l'échelle de petits bassins versants bien identifiés, sur la base d'une analyse précise des conditions géomorphologiques et de l'histoire environnementale (palynologie et éco-histoire). C'est dans cette une approche interdisciplinaire que l'insertion de la pédo-anthracologie trouve un intérêt renouvelé. La précision de la détermination des charbons est généralement élevée, au niveau de l'espèce, mais certains genres restent souvent déterminés globalement, notamment chez les résineux, comme *Pinus/sylvestris/uncinata/nigra* (mais d'autres pins comme *P. cembra* ou *P. pinaster* peuvent se déterminer), voire *Conifera*, ou *Quercus*. La différenciation entre chêne et châtaignier est quelque fois possible lorsque le charbon est suffisamment grand.

Parmi les limites, il faut relever aussi que les charbons sont le résultat d'incendies dont l'origine est inconnue : ils peuvent être naturels, mais sont le plus souvent, pour les périodes de forte anthropisation, le résultat de pratiques, elles-mêmes inconnues. On peut en estimer la forme (feux courants, essartages, charbonnage) mais il est difficile de les connaître réellement, excepté quand des archives en donnent la description et la chronologie. Et il est difficile de savoir si les charbons sont le résultat d'un incendie indifférencié de toute la végétation, ou celui d'un choix. Enfin, on sait que les charbons peuvent migrer sur l'ensemble du sol, aussi bien du haut vers le bas, que ce soit par gravité, perturbations géomorphologiques, mais aussi surtout par la bioturbation : action permanente de fouissage des vers de terre, des mammifères (des plus petits –mulots- aux plus gros –blaireaux par ex.-, propagation des racines, etc. Par principe, une datation de charbon ne donne que l'âge du charbon, pas celui du niveau. Mais malgré tout, comme on le verra dans les sondages où de nombreuses datations ont été effectuées, on a statistiquement une relation entre âge et profondeur.

2.3.1 - RESULTATS DES SONDAGES DANS LA FORET DE SAINTE-CROIX

Les trois sondages réalisés dans la forêt domaniale de Sainte-Croix ont été localisé dans le bassin versant du ruisseau de Sabine, sur la soulane (Tucaou des Loups), l'ombrée (Houjadette) et en bordure du ruisseau au niveau des deux sondages précédents. Le bassin versant drainé en amont du point de sondage comprend quelques ravins descendant de la soulane et de l'ombrée, mais remonte surtout jusqu'aux terroirs des hameaux de Maharage, Saurine et Sabine. On aura donc dans la terrasse alluviale une représentativité probablement élevée des zones défrichées dans l'amont de ce petit bassin versant.

Il faut signaler que, malheureusement, les datations demandées sur les sondages de Ste-Croix n'ont pas encore été obtenues. Il manque donc un élément indispensable pour leur interprétation.

¹⁵⁶ Pour le sondage Ste Croix 2 et quelques niveaux de Ste Croix 3, seuls 20 charbons ont été identifiés.

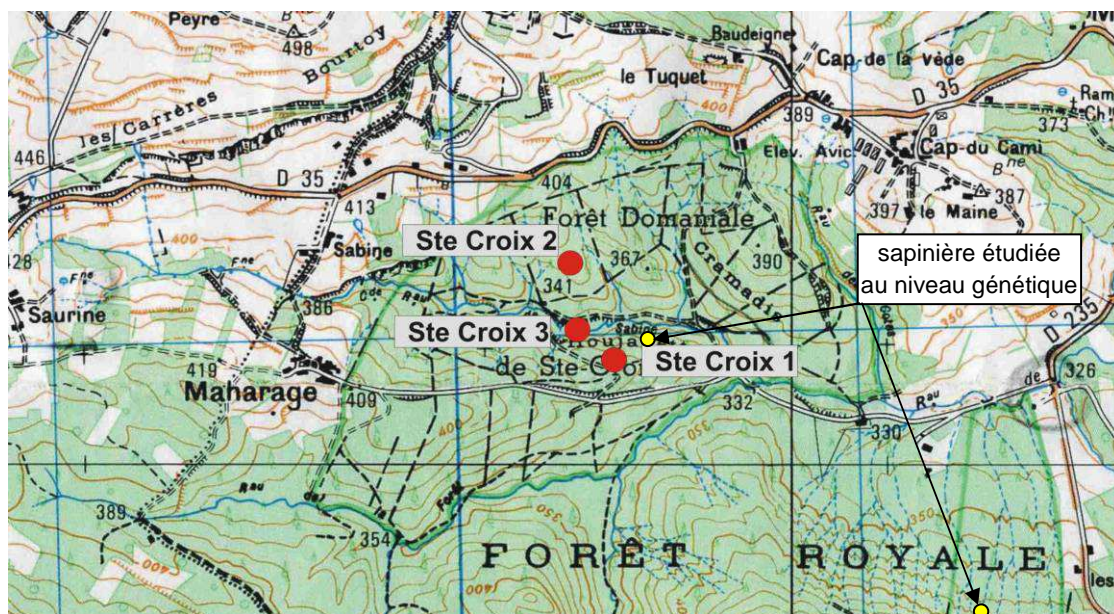


Figure 17 - Localisation des points de sondage pédoanthracologique (en rouge)

2.3.1.1 - Sondage Ste-Croix 1 : ombrée de Houjadette

Ce sondage a été implanté dans la sapinière de l'ombrée du ruisseau de la sabine, en contrebas de la crête et non loin de la piste forestière. Le peuplement est constitué aujourd'hui d'une futaie de sapin à régénération abondante, avec quelques hêtres, chênes, pins sylvestres et châtaigniers notamment vers le haut du versant. La pente est faible (10%) et il n'y a pas d'affleurements rocheux à proximité ; par contre, une abondance de cailloutis quartzeux peut être notée en surface du sol, au niveau des chemins. Les sondages préalables ont montré un faciès argilo-siliceux très sableux et à forte teinte orangée, que l'on retrouve en divers secteurs de la forêt, notamment sur la soulane de Cramadis et du Tucaou des loups.

La fosse a montré une structure pédologique simplifiée, avec deux horizons :

- un horizon A0, de 12 cm de profondeur en moyenne, brun sombre, très organique (plus de 50% de MO) et avec beaucoup de racines fines, sableux, sans cailloutis
- un horizon B jusqu'à 130 cm, pauvre en MO mais avec quelques taches de matériel organique, sableux, orangé, avec un accroissement des argiles vers le fond. Les cailloux de grès sont abondants, surtout à partir de 80 cm de profondeur. Les racines des sapins sont bien présentes jusqu'à 80 cm.

Sept niveaux ont été prélevés.

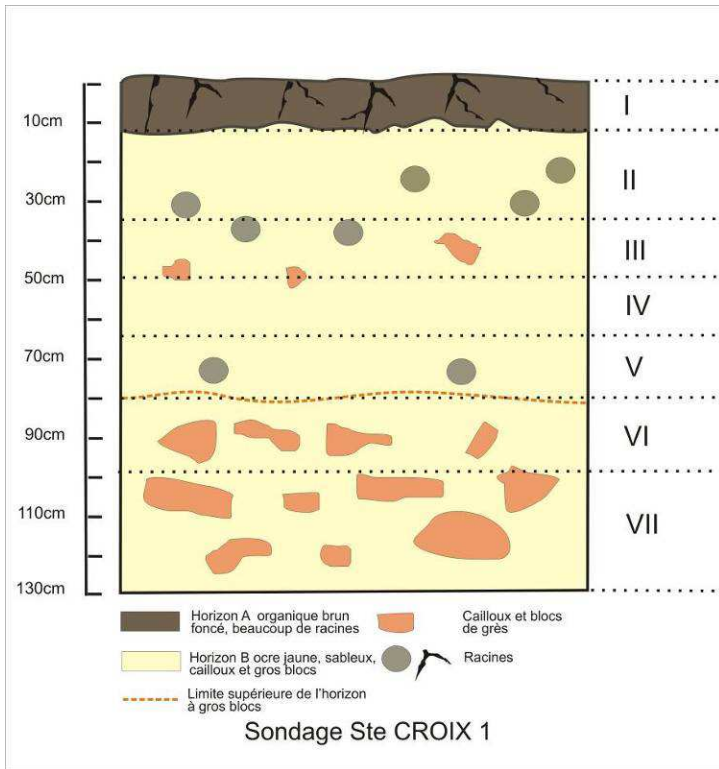


Figure 18 - Profil pédologique du sondage Ste-Croix 1



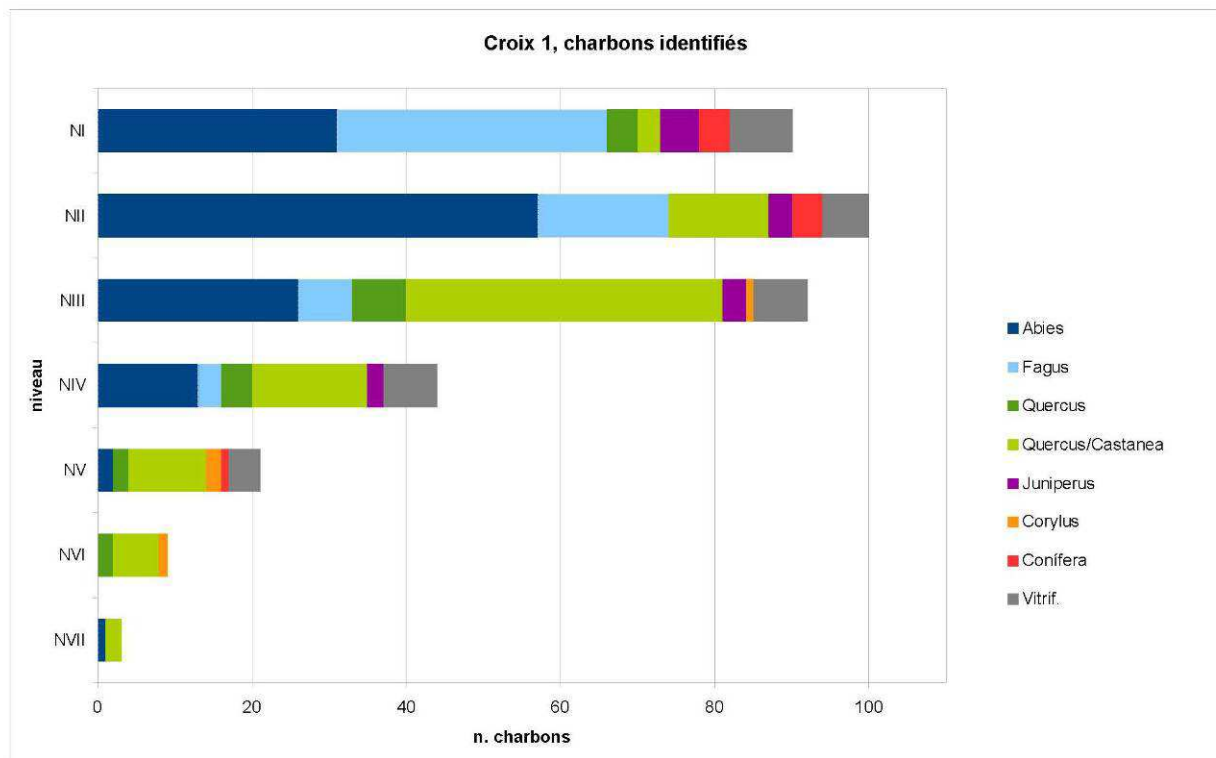


Figure 19 - Profil pédo-anthracologique du sondage Ste-Croix 1 (nombres de charbons)

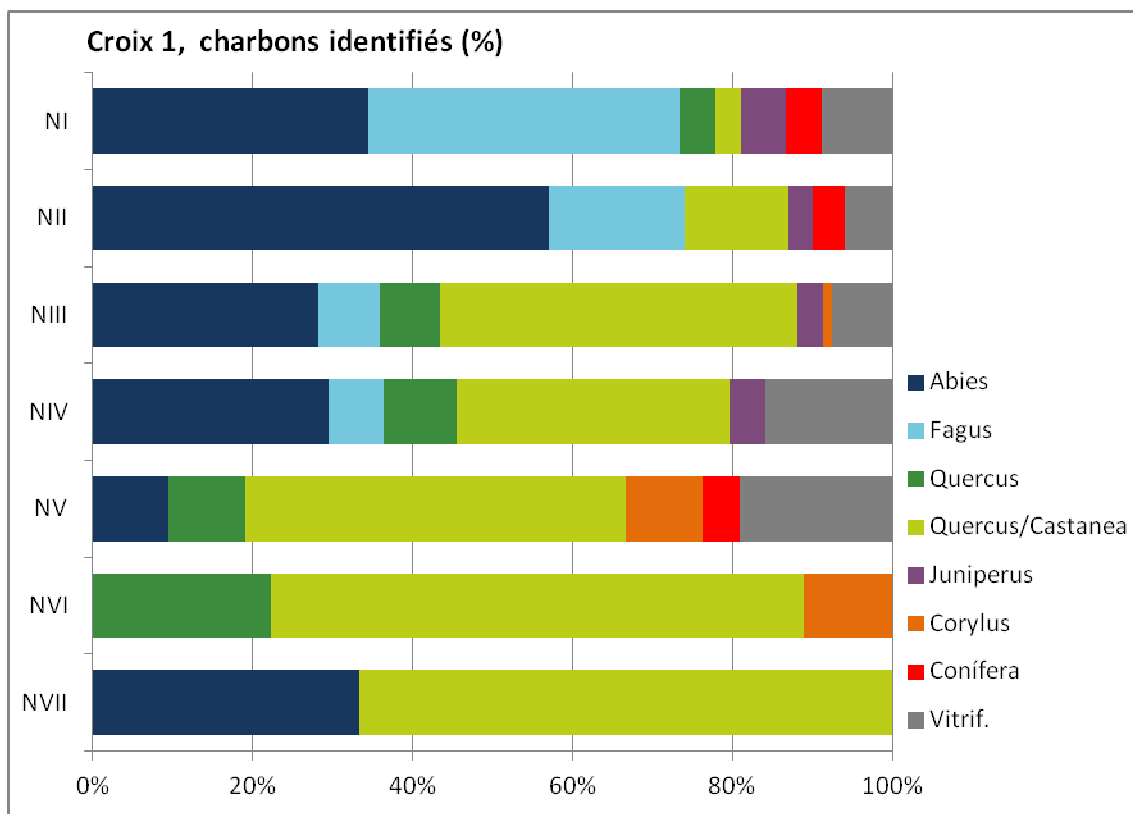


Figure 20 - Profil pédo-anthracologique du sondage Ste-Croix 1 (en %)

Tous les charbons ont été identifiés sur l'ensemble des niveaux du profil. On note deux phénomènes :

- dans les trois niveaux inférieurs, qui correspondent aux zones les plus riches en blocs gréseux, la quantité de charbons est faible (< 20) ; on y trouve très peu de sapin, surtout du chêne (et/ou châtaignier)
- dans les niveaux supérieurs, la quantité de charbons devient importante (40 à 100) ; le sapin est abondant ; on voit apparaître le hêtre, le genévrier, le noisetier.

Faute de dates disponibles, l'interprétation du profil est délicate. A la base, le faible nombre de charbons peut signifier soit une faible migration dans les horizons inférieurs, soit une phase pendant laquelle des feux auraient été peu nombreux et limités au chêne, ce qui n'exclut pas une abondance de sapins, soit des incendies indifférenciés et peu fréquents dans un peuplement dominé par le chêne.

Les niveaux supérieurs montrent par contre un paysage qui se rapproche des inventaires du XVIIIe siècle (cf. fig. 4 et 5) : il y a du hêtre (presque absent du peuplement actuel sur le site) et du chêne, ainsi que du genévrier et du noisetier, qui signalent un boisement clair, pastoralisé. On est proche des taillis de hêtre et chêne décrits au XVIIIe siècle. Quant à l'abondance du sapin dans les deux premiers niveaux, elle peut laisser penser qu'elle représente la régénération de la sapinière aux XIXe-XXe siècles, après une phase ancienne de dégradation dans un secteur proche du hameau de Maharage.

2.3.1.2 - Sondage de Ste-Croix 2 : soulane du Tucaou des loups

L'ambiance est ici totalement différente de l'ombrée. On se trouve dans une ancienne plantation de Pins sylvestres (datée de la fin du XIXe siècle, entre 1860 et 1890), avec beaucoup de châtaigniers et quelques chênes en cépées de taillis vieilles. Il y a du sapin à proximité, mais dans les fonds de vallons voisins, plus frais et humides. Le sondage a été réalisé sur le sommet de la croupe, sur un replat. Il n'y a pas d'affleurement rocheux, sauf en contrebas sur le versant vers le ruisseau de Sabine, où apparaissent des couches de grès.

Le sondage, de 150cm de profondeur, a fait apparaître quatre horizons pédologiques

- un horizon A0, très organique (plus de 70% de MO), humide, brun-noir, très riche en racines, de 15 cm d'épaisseur ; on y rencontre des petits cailloutis quartzeux (< 0,5 cm).
- Un horizon B1 entre 15 et 90 cm de profondeur, peu organique (moins de 20% de MO), sableux, de couleur ocre-orangé, très humide. Les racines y sont nombreuses. Les cailloutis quartzeux (0,3-5 cm) sont abondants.
- Un horizon B2 entre 90 et 120 cm de profondeur, ocre-orangé, plus brun, avec des taches noires, très sableux, sans cailloutis. L'humidité est élevée, mais il n'y a presque plus de racines.
- Un horizon B3, à texture très sableuse, ocre jaune, avec des cailloutis et petits blocs (2-5 cm), peu de racines

Sept niveaux ont été échantillonnés :

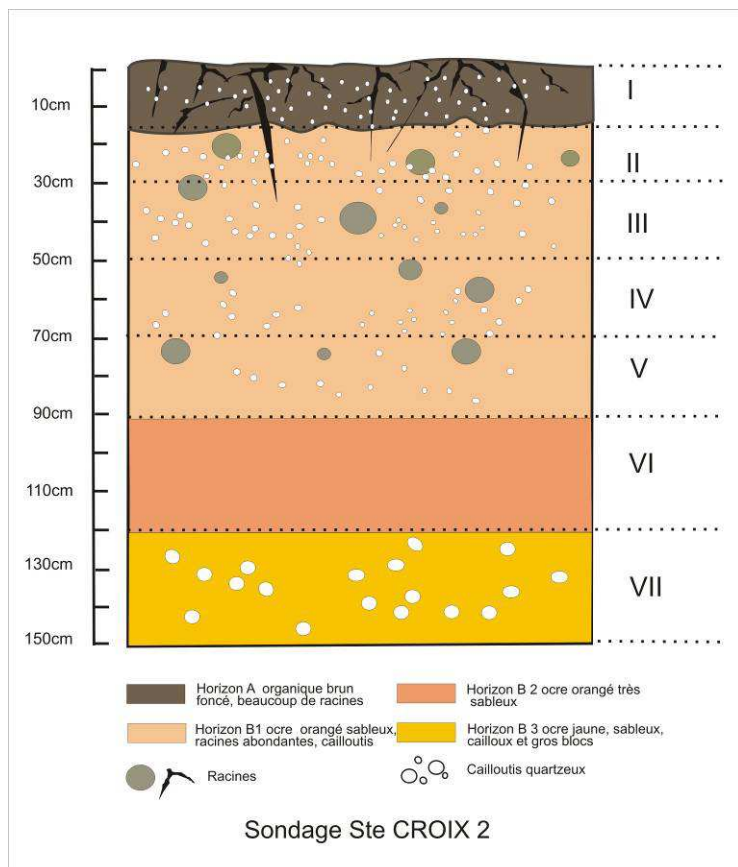


Figure 21 - Profil pédologique du sondage Ste-Croix 2

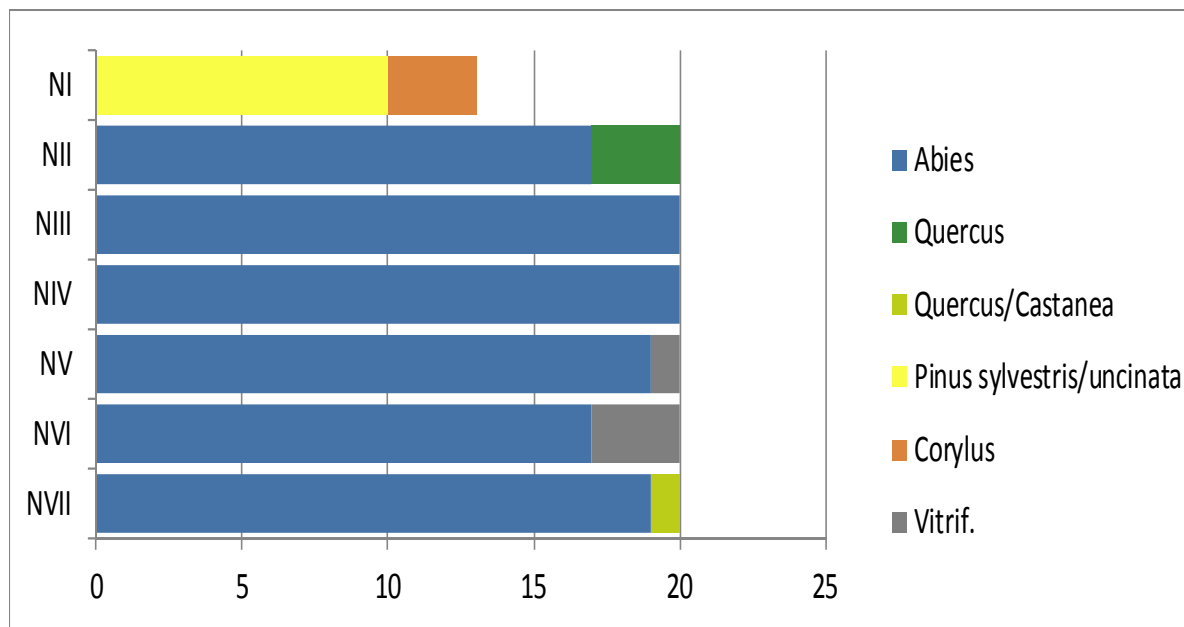


Figure 22 - Profil pédo-anthracologique de Ste-Croix 2 (en nombre de charbons)

Le comptage qui a été réalisé sur ce sondage a été limité dans un premier temps à 20 charbons par niveau, sauf pour le niveau I, pauvre en charbons (13) qui ont tous été déterminés. Le profil pédoanthracologique n'en est pas moins tout à fait surprenant. Il est évident que le niveau I, en raison de la présence du Pins sylvestre, est datable de la période fin du XIXe siècle-XXe siècle. Par contre l'abondance du sapin, quasi-exclusive dans l'ensemble du profil, pose de nombreuses

questions. On sait par les sources historiques que le versant est déjà en taillis de chênes et peut-être de hêtres dès le XVII^e siècle ; l'observation du versant montre aujourd'hui encore les traces d'une exploitation sylvo-pastorale intensive : hormis les plantations de pins, on n'y rencontre que de vieilles cépées de chênes et de châtaigniers, dans un peuplement très clairsemé. Les sapins se rencontrent dans les bas-fonds humides où ils se régénèrent bien, mais sont peu abondants, jeunes, et représentent une phase de recolonisation récente.

A ce stade de l'analyse, et ici aussi sans datations, comment interpréter l'absence quasi-totale d'autres arbres que le sapin dans le profil ? On peut émettre l'hypothèse que, après une phase d'exploitation intensive du sapin au Moyen Âge (incendies pastoraux, essartages ?) sur ce versant proches des hameaux voisins (Maharage, Cap del Cami, Cap de la Vède, Labidaouse – les deux derniers toponymes se référant explicitement au sapin...), il s'est mis en place un faciès de forêt usagère, intensivement pastoralisée, exploitée en taillis pour le bois de feu, et d'autres droits comme le soutrage. Il n'y aurait plus eu aucun brûlage ou essartage à partir de l'installation de ce fonctionnement, et on ne retrouverait donc ainsi aucune trace du faciès de taillis de chêne. Il faudra attendre la détermination de tous les charbons de l'ensemble du niveau, et surtout les datations, pour éclaircir davantage ce résultat. Il apparaît aussi nécessaire de procéder à un nouveau sondage ailleurs sur le versant.

2.3.1.3 - Sondage de Ste-Croix 3 : terrasse alluviale du ruisseau de Sabine

Les prélèvements ont été effectués dans ce site sur une coupe faite dans la terrasse alluviale le long du ruisseau de Sabine, sur une hauteur de près de 2 mètres. Cette profondeur d'entaille est moyenne dans le parcours du ruisseau, mais diminue vers l'amont, où elle se réduit à 1 mètre, et s'approfondit vers l'aval et la confluence avec le ruisseau de la forêt, où elle peut atteindre 3 à 4 mètres. A l'endroit de la coupe, la base du profil est proche du substrat gréseux, que l'on rencontre par endroit dans le lit du ruisseau, sous forme de couche de grès compact. Le replat alluvial est boisé par une vieille futaie de sapin, avec quelques noisetiers et houx.

Il a été identifié six horizons pédologiques, dans lesquels on a délimité neuf niveaux de prélèvement :

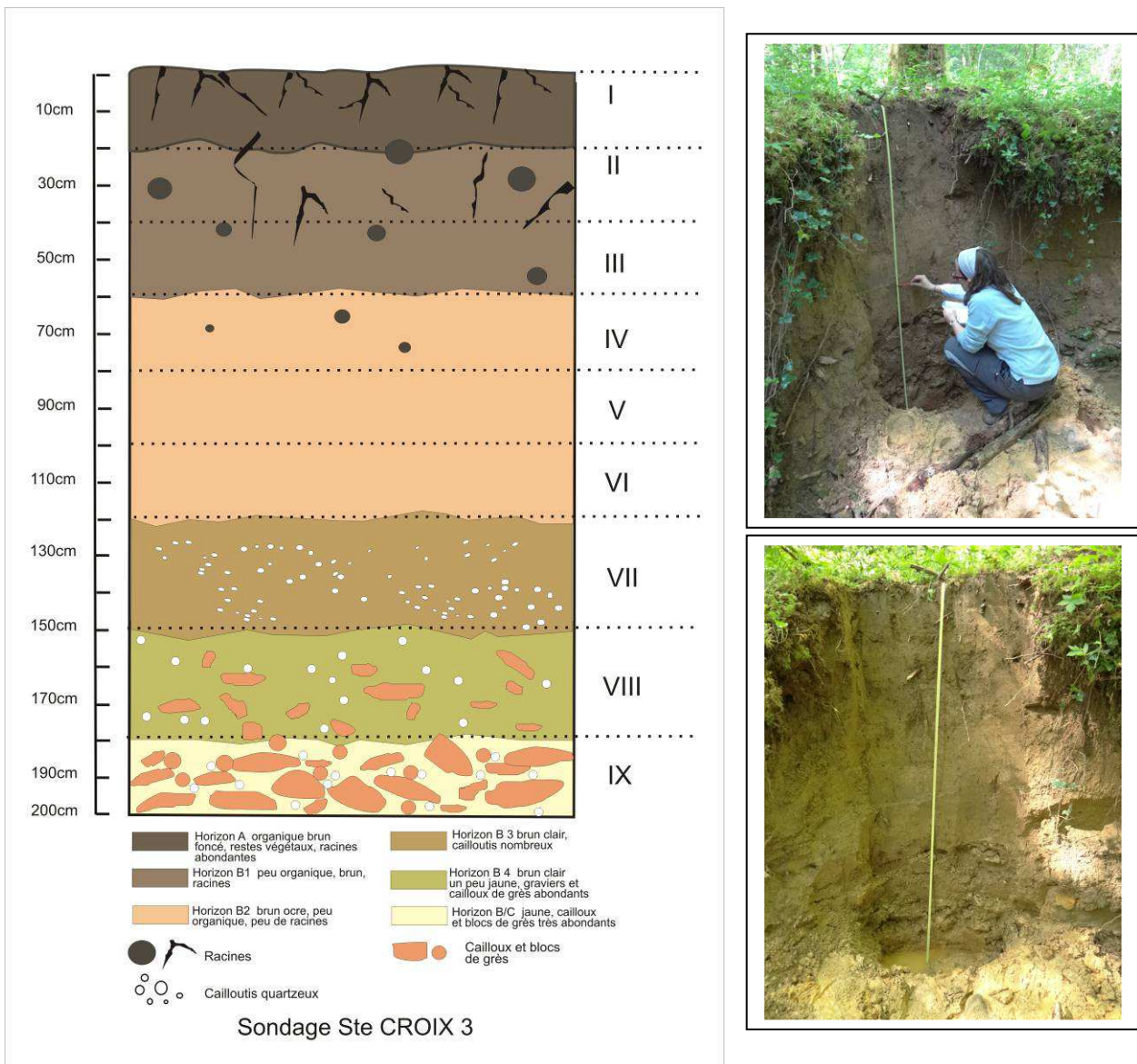


Figure 23 - Coupe stratigraphique dans le sondage pédo-sédimentaire Ste Croix 3

- horizon A1 : 0-20 cm, brun noir-gris, très organique, humide, sans cailloutis, à structure forte. Matière organique abondante, très nombreuses racines, abondante faune de vers de terre.
- Horizon A/B 1 : 20-60 cm ; humide, brun avec quelques taches noires ; pas de cailloutis, peu de matière organique mais des racines nombreuses, de toutes tailles. Vers de terre.
- Horizon B 2 : 60-120 cm ; mouillé, brun ocre, pas de cailloutis. Peu de matière organique, peu de racines. Vers.
- Horizon B3 : 120-150cm ; brun clair un peu jaune, mouillé, cailloutis fréquents (0,3-6 cm). Pas de racines
- Horizon B 4 : 150-180 cm ; brun clair un peu jaune, mouillé, cailloux et blocs abondants (70% du volume), pas de matière organique, pas de racines
- Horizon B 5/C : 180-200 cm ; niveau de dégradation des grès, jaune, cailloux et blocs abondants (> 70% volume) ; pas de MO, pas de racines.

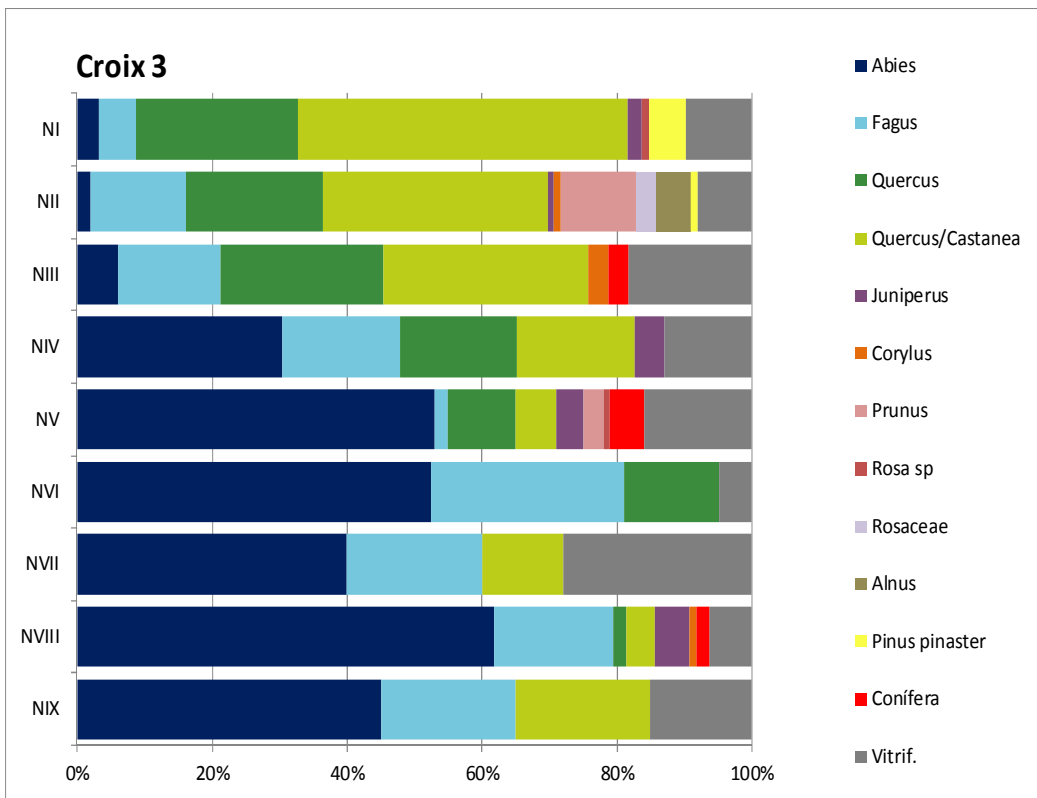


Figure 24 - Profil pédo-anthracologique de Ste-Croix 3 (en %)

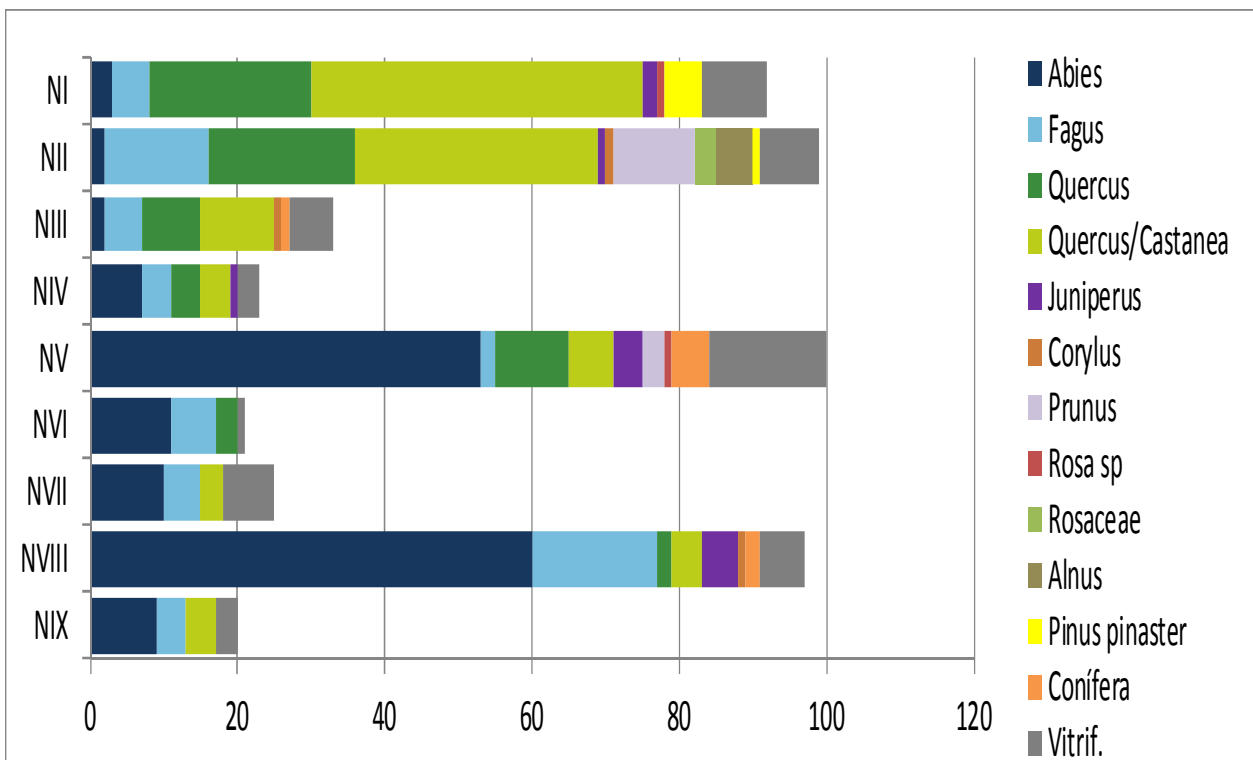


Figure 25 - Profil pédo-anthracologique de Ste-Croix 3 (en nombre de charbons)

Tous les niveaux du profil n'ont pas été encore analysés avec la même finesse : tous les charbons ont été analysés dans les niveaux I, II, V et VIII ; il n'a été déterminé qu'une vingtaine de fragments dans les niveaux III, IV, VI, VII, IX. L'antracomasse n'a donc pas été calculée.

On peut noter que les 5 niveaux les plus profonds correspondent à une domination du sapin et du hêtre ; à partir du niveau 4, le chêne prend de l'importance et va devenir largement dominant dans les 3 niveaux du haut du profil, accompagné du genévrier, du prunus, des maloidae, des rosaceae, de l'aune, qui définissent un paysage de forêt ouverte, pastoralisée, de cultures et défrichements, correspondant au peuplement décrit du XVIIIe siècle à nos jours. L'apparition du *Pinus pinaster* dans les deux niveaux superficiels est à relier aux plantations de la fin du XIXe siècle.

Là-aussi, malheureusement, l'absence de datations rend pour l'instant l'interprétation hasardeuse ; on verra cependant plus loin que ce profil est très proche de celui du sondage Montbrun-1, bien daté. On peut penser y trouver également les témoins de toutes les phases d'anthropisation de la forêt depuis l'âge du Bronze. La plupart des hameaux situés à proximité de la forêt sont déjà notés dans la donation de 1263 et doivent être concomitants de la grande phase primo-médiévale de défrichements et brûlis identifiée dans le diagramme palynologique. La faible représentation du sapin dans les niveaux supérieurs pose comme toujours un problème d'interprétation : ou bien il y a eu diminution de son abondance au profit du chêne et du hêtre, ce que laissent penser les sources historiques, ou bien il y a eu une certaine protection des sapins, exploités mais non plus coupés et brûlés à des fins agro-pastorales.

Comme dans le cas de Montbrun-1, la physionomie des trois niveaux inférieurs (VII, VIII, IX), à forte concentration de blocs gréseux, cailloutis, graviers quartzeux, laisse penser que la phase de défrichement médiévale a entraîné une érosion spectaculaire, en raison de la fragilité des sols et du substrat, qui se marque par la présence de gros cailloux et blocs pesants vraisemblablement transportés au cours d'épisodes de laves torrentielles.

2.3.2 - RESULTATS DES SONDAGES REALISES DANS LA FORET DE MONTBRUN

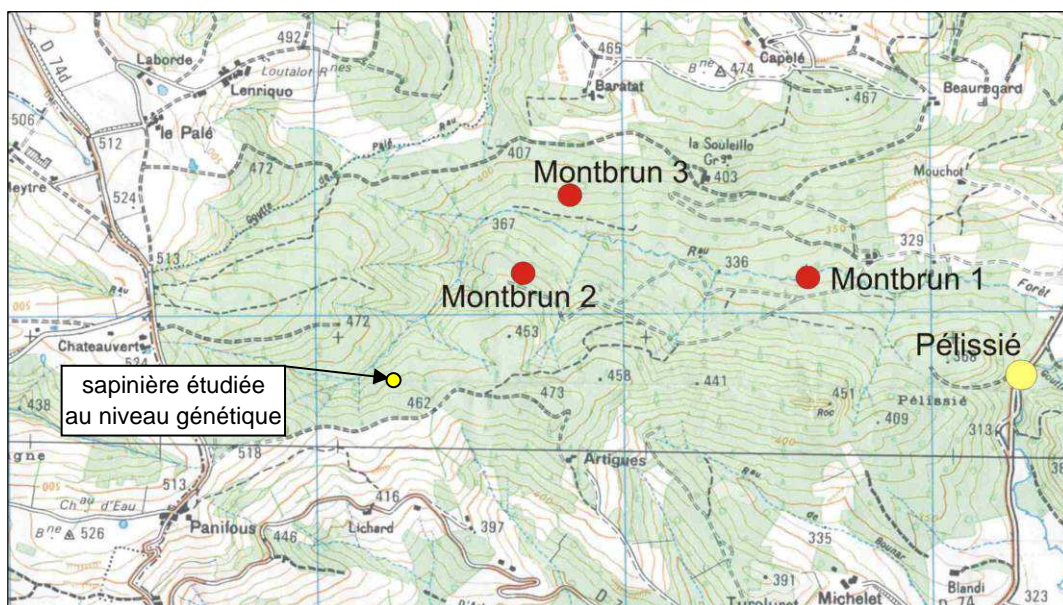


Figure 26 - Localisation des sondages en forêt de Montbrun (en rouge)

Les sondages dans le bassin versant de la forêt de Montbrun ont été réalisés selon le même protocole qu'à Sainte-Croix : un point sur l'ombrée forestière, en futaie de sapin ; un autre en soulane, dans une parcelle identifiée en forêt au moins depuis le cadastre de 1836 ; et un sondage de type pédo-sédimentaire, dans une coupe le long de la terrasse alluviale du ruisseau de la forêt, pour avoir une restitution générale du bassin versant. Ces points de prélèvement se localise à peu de distance du sondage palynologique de Pélissié.

2.3.2.1 - Sondage de Montbrun-1 : terrasse alluviale du ruisseau de la forêt

Le sondage de Montbrun-1 a été effectué dans le bas du vallon, vers 320 mètres d'altitude, en bordure du ruisseau de la Forêt, dans un secteur où il recoupe un colluvionnement de fond de vallon épais de un à deux mètres. Le point de prélèvement correspond donc à une rive de terrasse alluviale/colluviale (cf. photographie). Cette terrasse présente une végétation typique de friche ancienne (noisetiers, aulnes, châtaignier, chêne, saules, régénération de sapin) et devait être une prairie jusque vers le milieu du XXème siècle. Des arbres anciens longent la rive.

On a pratiqué dans cette coupe un prélèvement tous les 10 à 20 cm, depuis la surface jusqu'à la couche de galets sur laquelle coule le ruisseau. Le choix du site a été guidé par la présence, visible, dans la coupe, d'une couche d'argiles grises très riche en charbon vers 1,40 m de profondeur. L'ensemble du profil montrait par ailleurs la présence de nombreux charbons visibles à l'œil nu.

Le profil pédologique correspond, en dessous de l'horizon pédologique superficiel humique, à un colluvionnement assez homogène depuis -20cm jusqu'au niveau 7, à un mètre quarante de profondeur. Le colluvion, entremêlé de nombreuses racines, est composé d'une argile marron à ocre, comportant une fraction sableuse importante issue des grès du substrat. On rencontre tout du long du profil des cailloutis quartzeux provenant certainement des formations plio-quadernaires. Ces cailloutis sont de plus en plus abondants vers le bas du profil, pour aboutir à une couche de galets décimétriques et de cailloutis centimétriques à la base, sur laquelle coule le ruisseau à cet endroit. Au niveau de la couche 9, juste au-dessus du niveau de galets, on trouve dans les argiles grises des morceaux de troncs entiers (ou de racines) identifiés comme hêtres et chênes. Sous la couche de galets, on retrouve du couche d'argiles gris-bleues, peu épaisse, reposant sur le substrat qui est à ce niveau calcaire et où des charbons ont été retrouvés. L'épaisseur et la compacité de la couche de galets, avec absence de toute racine la traversant, permet de penser qu'il n'a pas pu y avoir de transfert de charbons depuis les horizons supérieurs.

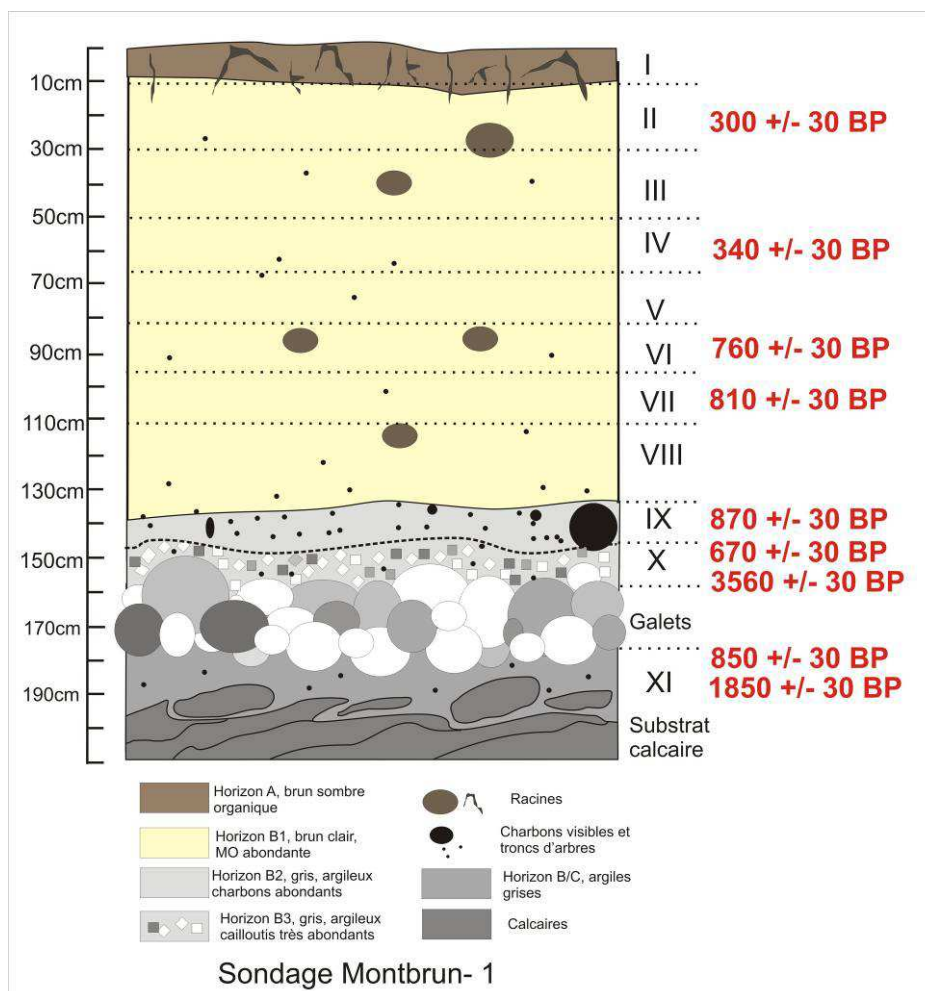


Figure 27 - Coupe pédo-sédimentologique de Montbrun-1



Vue du site de la coupe Montbrun-1 dans la terrasse du ruisseau de la forêt. A droite, la coupe en saison sèche, montrant les horizons inférieurs, de couleur grise, correspondant aux niveaux caillouteux au-dessus de la couche de galets, et au niveau argileux en dessous de celle-ci.

A ₀	0-10	Horizon organique avec structure fibreuse. Marron sombre. Peu d'éléments grossiers (1-5 %). Horizon non calcaire. Racines fines à très fines abondantes. Limite nette et horizontale.
B1	10-144	Couleur marron clair (humique) avec taches arrondies de matériel humique, de couleur noire, petites (2-5mm) et fréquentes (2-20%). Texture argilo-sableuse. Structure granulaire moyennement forte. Très peu d'éléments grossiers. Abondante quantité de matière organique. Système racinaire bien développé. Racines fines et moyennes abondantes (1-5 mm) jusqu'à 60 cm. Activité biologique faunistique perceptible par les nombreuses cavités. Transition graduelle et discontinue.
B2	144- 150	Couleur grise (mouillée), sans taches. Peu d'éléments grossiers. Texture argileuse. Peu de matière organique. Charbons perceptibles à l'œil nu. Transition horizontale et nette.
B3	150-160	Couleur grise (saturée), sans taches. Grande quantité d'éléments grossiers, de forme arrondie,
	160-180	Couche de galets de 5 à 25 cm
B/C	180-190	Argile gris-bleu, pas de cailloutis, quelques charbons

Le profil montre clairement deux grandes strates : à la base, un ensemble de niveaux d'accumulation argileux gris, avec des cailloutis abondants de toutes tailles, surmontant un niveau de galets compactés, soudés, en dessous desquels on rencontre une couche d'argile gris-bleu au contact avec le substrat calcaire. Ces niveaux montrent une première phase de sédimentation liée à un transport de matériaux plio-quadernaires provenant des plateaux et hauts versants du bassin, ou du remaniement de ces matériaux pouvant avoir été déposés anciennement dans le fond du vallon et le lit du ruisseau. La taille des matériaux, en particulier les gros galets, implique des événements fluvio-torrentiels assez puissants, de type lave torrentielle, qui ne sont plus connus aujourd'hui, même pendant les périodes orageuses. Au-dessus de ces niveaux inférieurs, on trouve un épais niveau d'accumulation argilo-sableuse, très homogène sur une épaisseur de près de 1,40 m à cet endroit. En remontant le bassin, l'épaisseur de cette accumulation diminue progressivement.

Neuf datations ont été faites, trois dans le niveau correspondant à l'horizon B3 (niveau IX et X X d'échantillonnage) et 2 dans la couche B/C (niveau XI d'échantillonnage), et 4 dans les horizons supérieurs (niveaux II, IV, VI et VII), à partir de charbons d'Abies, Fagus et Quercus/Castanea, qui ont donné les dates suivantes :

- niveau II (Fagus) : 300 +/- 30 BP = **cal AD 1522 to 1575, cal AD 1625-1646, cal AD 1489-1604, cal Ad 1611-1654** (Poznan 60280)

- niveau IV (Abies) : 340 +/- 30 BP = **cal AD 1490 to 1525, cal AD 1557 to 1603, cal AD 1470 to 1640** (Poznan 60282)

- niveau VI (Abies) : 760 +/- 30 BP = **cal AD 1246 to 1279, cal AD 1219- to 1284** (Poznan 60281)

- niveau VII (Quercus) : 810 +/- 40 BP = **cal AD 1206 to 1265, cal AD 1160 to 1277** (Poznan 60287)

- niveau IX (Abies) : 870 +/- 30 BP = **Cal AD 1040 to 1110** (Cal BP 910 to 840), **Cal AD 1120 to 1220** (Cal BP 840 to 730) (Beta 323065)

- niveau X (Fagus) : 670 +/- 30 BP. = **Cal AD 1270 to 1300** (Cal BP 680 to 640), **Cal AD 1360 to 1380** (Cal BP 590 to 570) (Beta)

- niveau X (Abies) : 3560 +/- 30 BP. = **Cal BC 2010 to 2000** (Cal BP 3960 to 3950), **Cal BC 1980 to 1880** (Cal BP 3930 to 3830), **Cal BC 1840 to 1830** (Cal BP 3790 to 3780) (Beta)

- niveau XI (Quercus/Castanea) : 850 +/- 30 BP. = **Cal AD 1160 to 1260** (Cal BP 800 to 690) (Beta)

- niveau XI (Abies) : 1850 +/- 30 BP. = **Cal AD 80 to 240** (Cal BP 1870 to 1720) (Beta)

Ces datations montrent bien que la phase initiale d'érosion et transport, qui a constitué les couches argileuses et caillouteuses de la base, a remanié des charbons dont les âges sont étalés de l'Âge du Bronze (charbon de sapin de 3560 +/- 30 BP) jusqu'au Moyen Âge (charbon de hêtre de 670 +/- 30 BP). Sous la couche de galet, que l'on peut considérée comme non polluée par des charbons venant des niveaux supérieurs, les dates sont de l'Antiquité (1850 +/- 30 BP) et du Moye Âge (850 +/- 30 BP). Trois dates sur les cinq correspondent au Moyen Âge.

Dans les niveaux supérieurs, les datations effectuées montrent une sédimentation apparemment chronologique des charbons déposés, avec des charbons datant des XIIème-XIIIème siècle pour les horizons VI et VII, entre 80 et 110 cm de profondeur, au-dessus de la phase d'érosion et sédimentation initiale. Dans les horizons supérieurs, II et IV, entre 10 et 70cm, les dates correspondent à une période allant du début XVIème siècle à la moitié du XVIIème. Elles sont relativement imprécises, ce qui est normal pour cette période, mais cependant cohérentes avec la position sédimentaire. L'ensemble de ces dates suggèrent donc que la sédimentation des 130 cm du colluvionnement s'est bien déposée dans les siècles qui ont suivie l'attaque érosive médiévale, jusqu'à la fin du XVIIème siècle (voire encore plus tard).

Les analyses pédo-anthracologiques viennent parfaitement compléter le tableau chronologique :

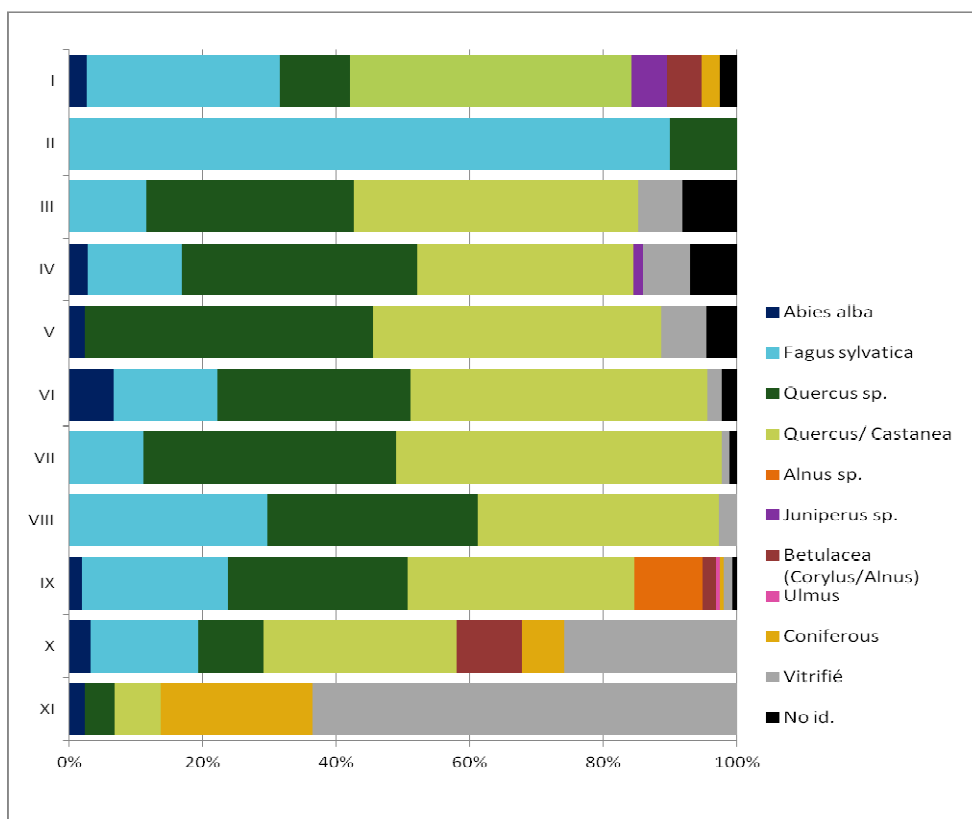


Figure 28 - Profil pédo-anthracologique de Montbrun-1 (en %)

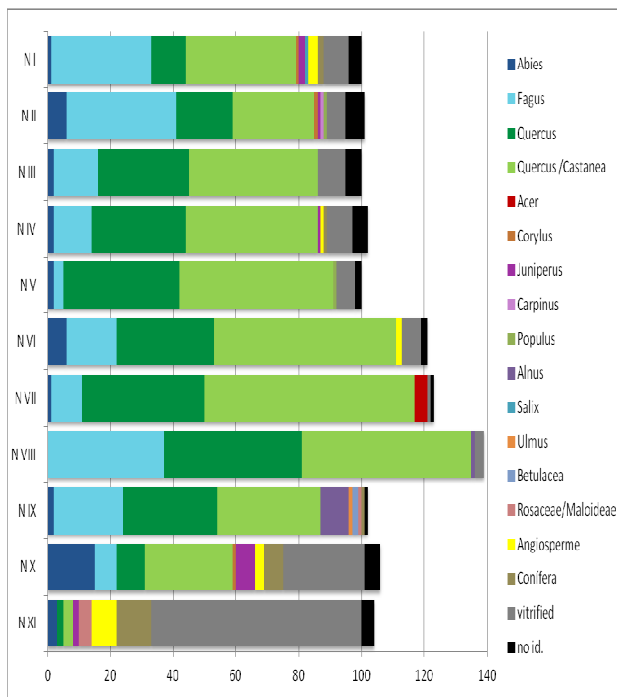


Figure 29 - Profil pédo-anthracologique de Montbrun-1 (en nombre de charbons)

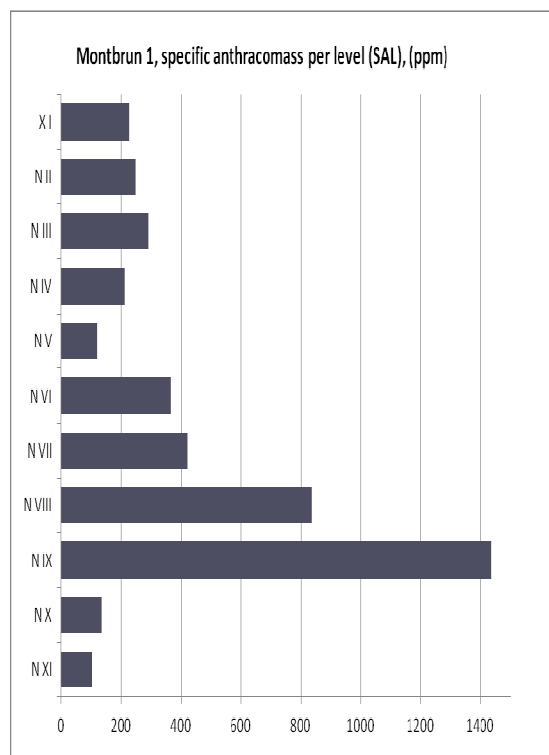


Figure 30 - Anthracomasse par niveau

Le profil pédo-anthracologique fait apparaître la présence modeste du sapin, depuis la base jusqu'au sommet ; les datations sur cette essence confirme son ancienneté sur le site, dès le Bronze ancien, en concordance avec les données palynologiques. On trouve le hêtre et le sapin dans les niveaux de base, avec des charbons de conifères qui peuvent être du genévrier ou du sapin. Les charbons sont assez abondants mais ces niveaux sont pauvres en anthracomasse. Par contre, l'anthracomasse est la plus importante dans les niveaux IX et VIII, qui correspondent à la fin du dépôt érosif initial. Cela peut s'interpréter comme la phase de lessivage des charbons après les essartages. Du niveau VII à II, on est dans une accumulation alluviale homogène, qui est contenue principalement des charbons de chêne et de hêtre avec encore un peu de sapin dans certains niveaux. On retrouve aussi dans beaucoup de niveaux les témoins d'une physionomie ouverte du peuplement : noisetier, genévrier, bouleau, Rosacées/Maloideae.

Les dates obtenues sur les charbons de ce sondage et l'évolution des fréquences des essences dans l'ensemble du profil montrent une concordance tout à fait remarquable avec les grandes phases d'anthropisation mises en évidence dans le sondage palynologique de Pélissié, à moins d'un kilomètre de là. Cet ensemble de données permet d'élaborer l'interprétation suivante :

Des attaques de la forêt, ou du moins des feux, qu'il s'agisse d'incendies, d'essartages ou de brûlis pastoraux, apparaissent dès l'Âge du Bronze et durant l'Antiquité, mais ne semblent pas provoquer d'érosion des sols. Puis on a un impact notable sur la forêt, noté dès le haut Moyen Âge sur le diagramme, qui s'intensifie considérablement à partir des Xe-XIe siècles jusqu'au XVe siècle ; cette phase se retrouve dans plusieurs datations de charbons du profil. De cette période date la grande phase érosive qui va déposer les horizons argileux gris, chargé en cailloux, gros galets, troncs d'arbres et charbons. Par la suite, on assiste à un remplissage vraisemblablement post XIVE-XVe siècles qui semble provenir d'une érosion rapide mais superficielle des versants, (forêt brûlée, pastoralisée, terres pentues mise en culture et non stabilisées...) ; elle va créer les remblaiements alluviaux épais de 1 à 2m à Montbrun (mais de 1 à 4m à Ste Croix) qui colmatent les fonds des vallons. A une date indéterminée, mais sûrement tardive (XIXe siècle, XXe siècle ?) se produit une stabilisation ou un reboisement des versants qui provoque un arrêt de l'érosion et le début de l'incision des lits actuels des petits ruisseaux, dont la compétence est aujourd'hui faible. Le schéma semble être donc commun aux deux bassins versants de Ste-Croix et Montbrun, le profil pédoanthracologique de Ste Croix 3 ayant beaucoup de ressemblance avec celui de Montbrun 1 ; mais avec une différence : la faible représentation du sapin à Montbrun, qui est surprenante, étant donné que les trois-quarts du bassin versant correspondent au versant d'ombrée de la sapinière historique. On pourrait penser que le statut de la forêt de Ste-Croix a offert une protection au sapin, mais les archives ont montré que la forêt de Montbrun était encore une futaie de sapin en assez bon état à la Révolution. En l'état des recherches et faute de datations à Ste-Croix, il est difficile d'émettre des hypothèses sérieuses sur ces différences.

L'évolution du bassin versant de la forêt de Montbrun peut se synthétiser dans les schémas ci-dessous :

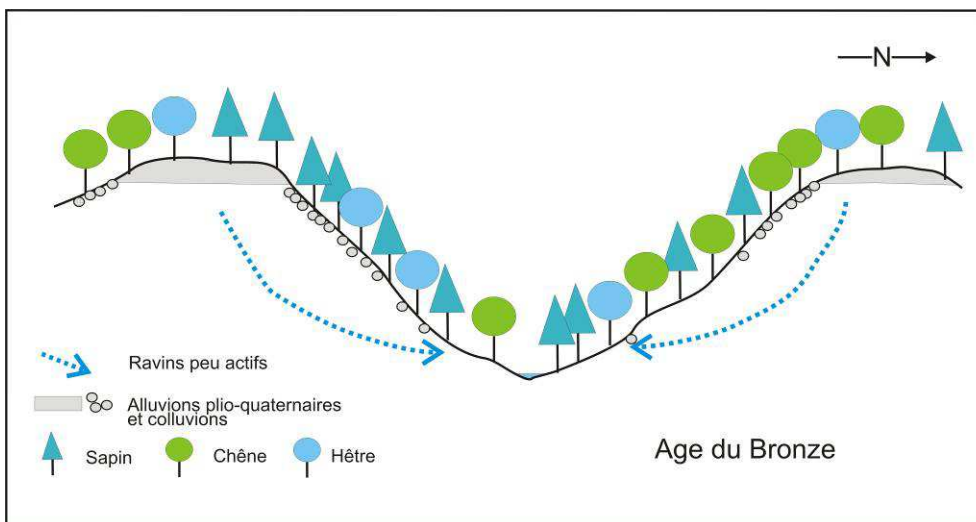


Figure 31 - Montbrun, dynamique schématique Âge du Bronze

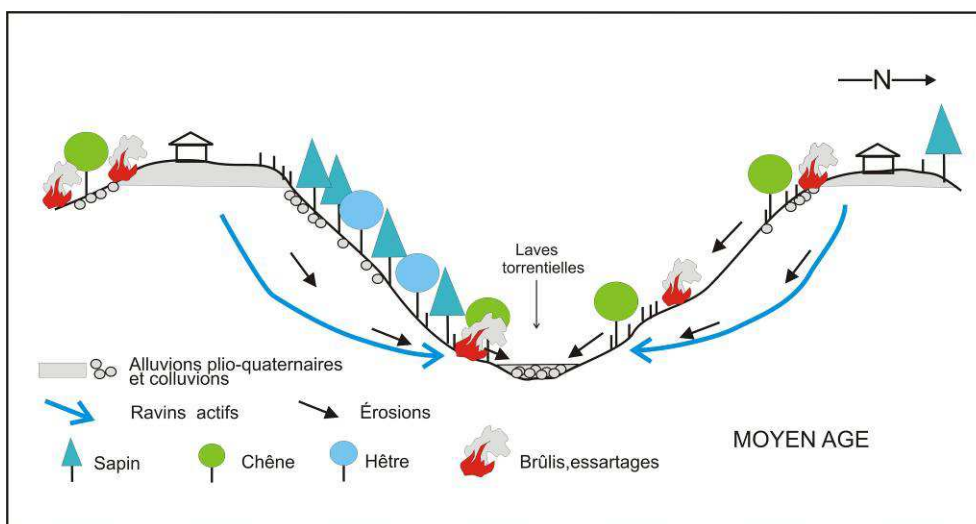


Figure 32 - Montbrun, dynamique schématique médiévale

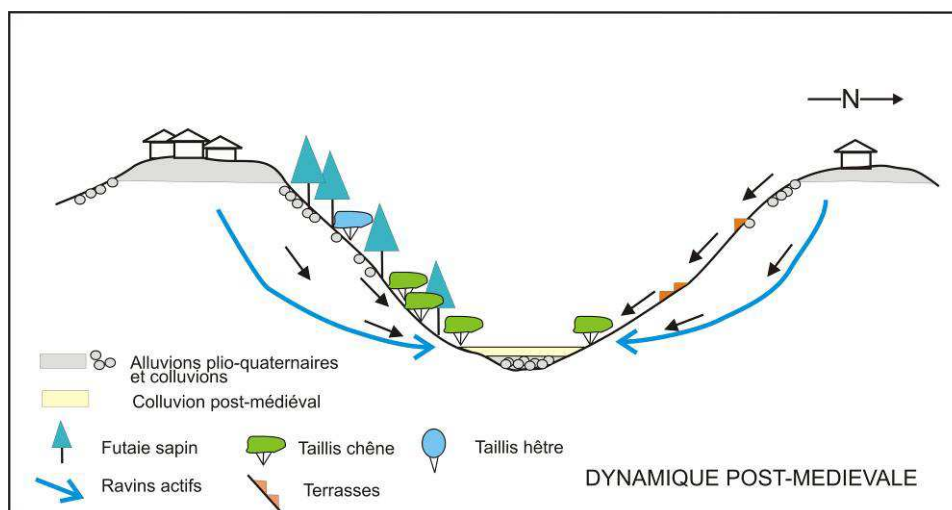


Figure 33 - Montbrun, dynamique schématique post-médiévale

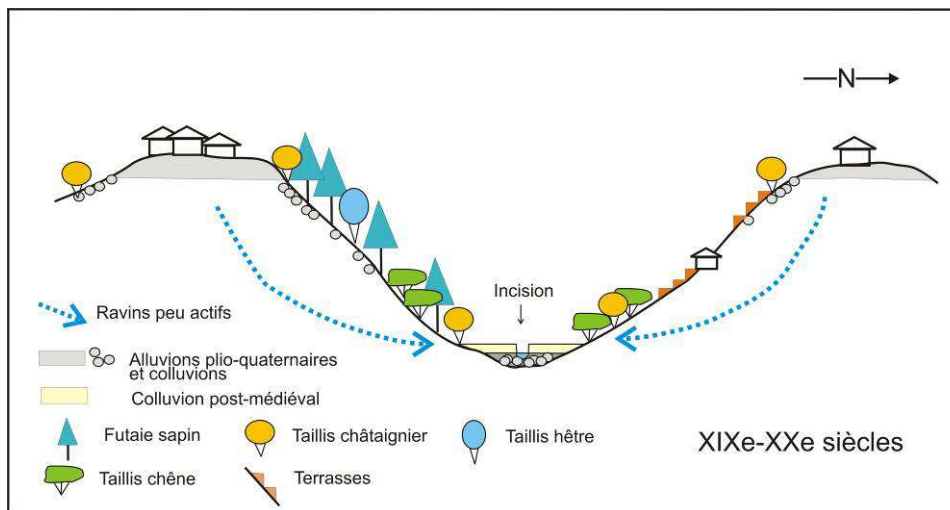


Figure 34 - Montbrun, dynamique schématique XIXe-XXe siècles



Forêt de Montbrun : fossé faisant limite entre l'ancienne forêt seigneuriale (Ladevèze) et l'ancienne forêt communale

2.3.2.2 - Sondage de Montbrun 2 : ombrée de la sapinière

Le sondage a été effectué vers 400 m d'altitude, sur un replat du versant avec une pente de 8 à 9%, dans un peuplement de sapins âgés ; on rencontre des affleurements de grès à une centaine de mètres en amont. La profondeur du sondage a été de 100 cm, le sol devenant très compact et difficile à creuser à ce niveau, ce qui a donné l'impression d'être arrivé à proximité du substrat.

Quatre horizons ont été identifiés :

- horizon A0 : 0-5cm ; organique, couleur noire, structure fibreuse. Beaucoup de racine. Limite inférieure nette et plane
- horizon A : 5-30cm ; couleur marron, beaucoup de matière organique et de racines de toutes tailles ; humide ; texture argilo-siliceuse, structure moyennement granuleuse ; transition vers le bas graduelle. Activité biologique
- horizon B1 : 30-80cm ; couleur ocre, taches d'oxydation fréquentes ; MO décomposée fréquente, racines nombreuses, charbons visibles à l'œil nu ; apparition de graviers (2-6cm) ; transition continue et irrégulière
- horizon B2 : 80-100cm ; couleur ocre-gris, matière organique peu fréquente, pas de taches ; graviers (2-6cm fréquents) ; pas de charbons visibles

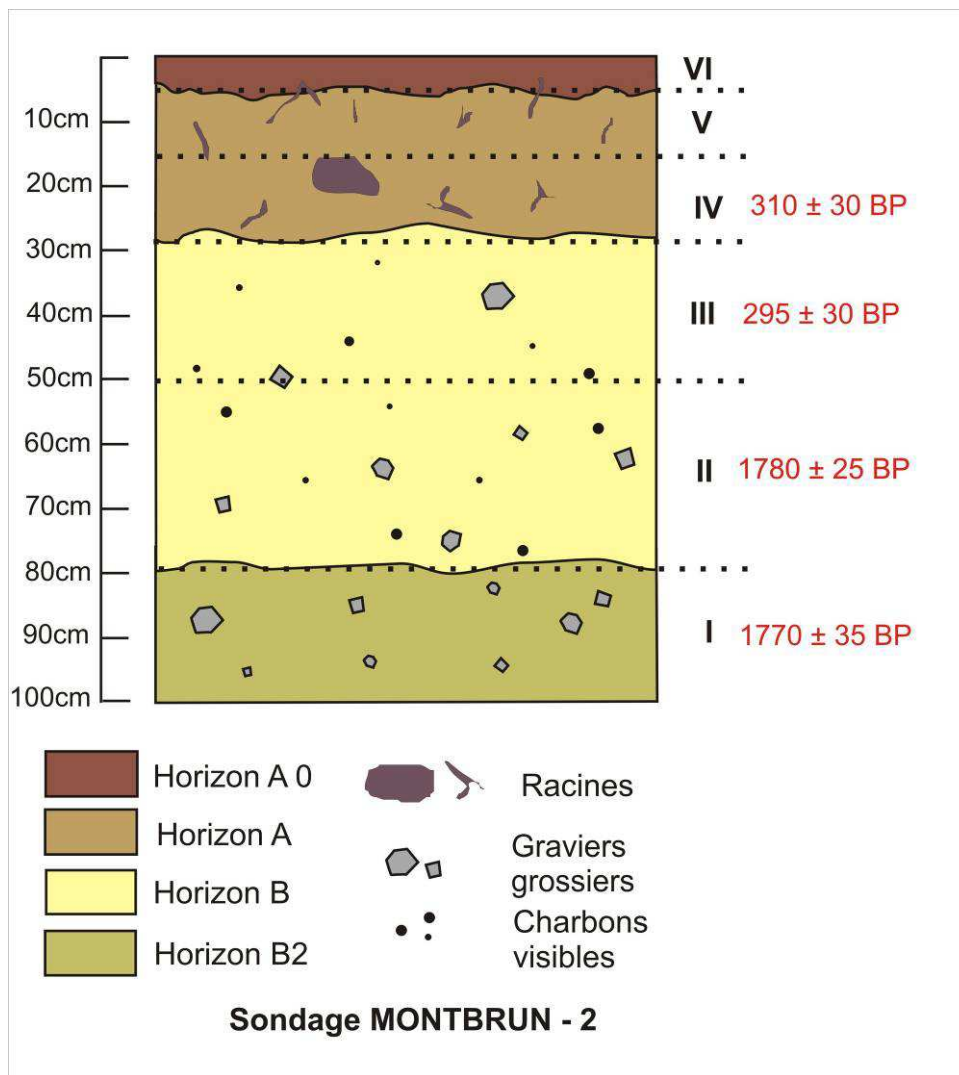


Figure 35 - Coupe pédologique du sondage Montbrun 2

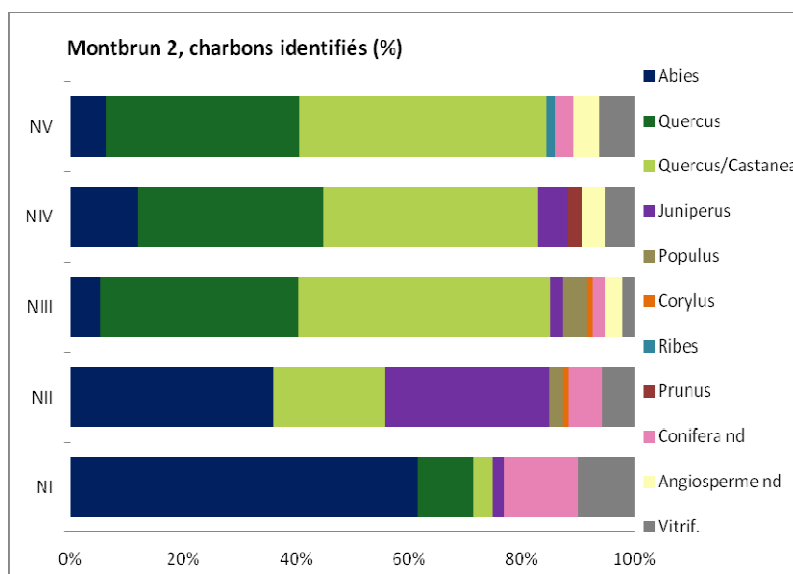


Figure 36 - Profil pédo-anthracologique de Montbrun-2 (en %)

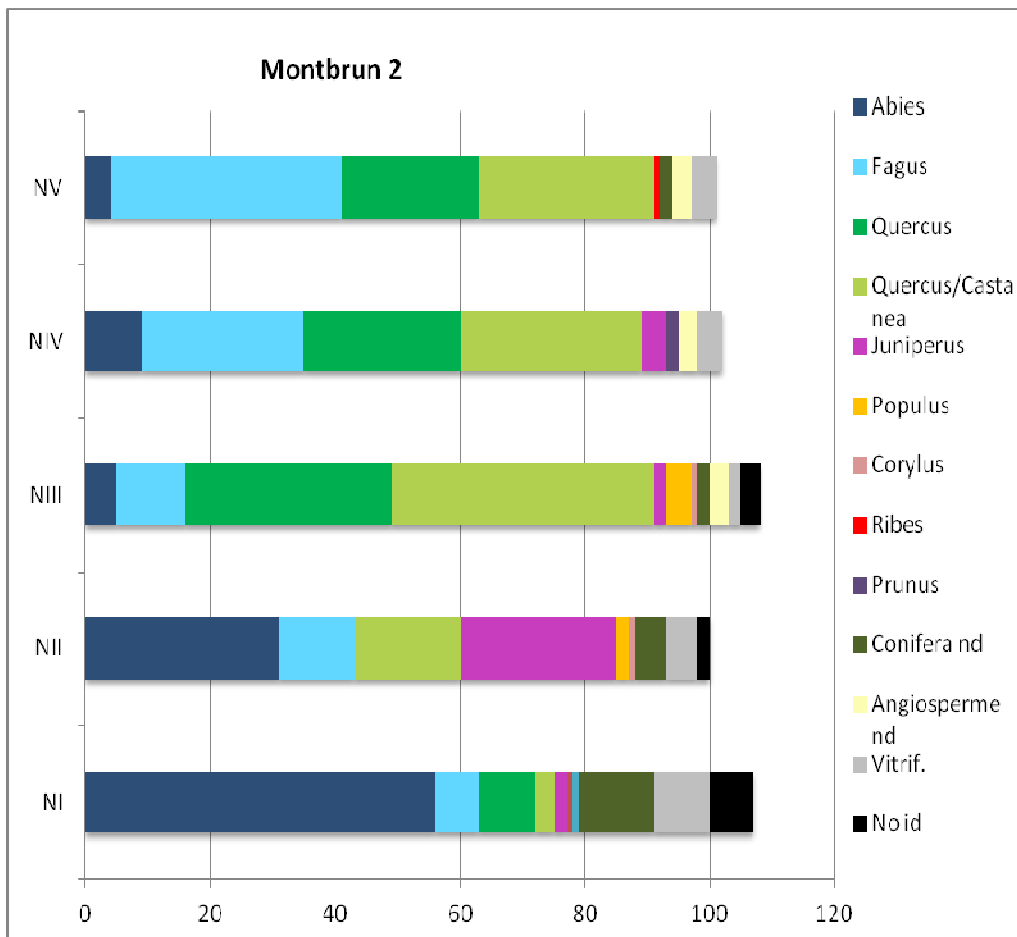


Figure 37 - Profil pédo-anthracologique de Montbrun -2 (en quantité absolue)

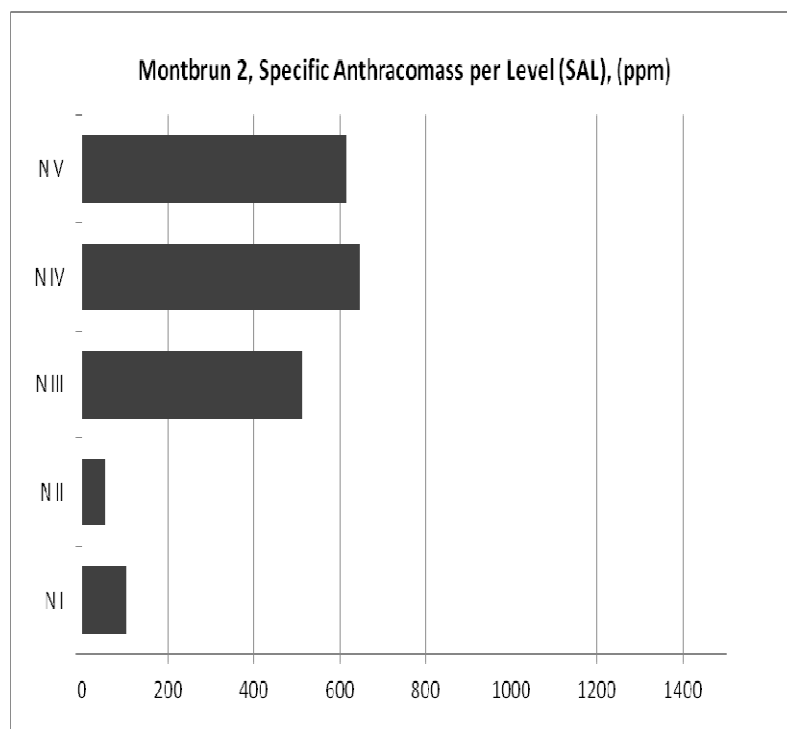


Figure 38 - Diagramme de l'anthracomasse par niveau de Montbrun-2

Le profil pédo-anthracologique de Montbrun 2 restitue l'évolution du paysage de la sapinière depuis l'Antiquité. Au milieu d'un peuplement actuel qui est une sapinière avec un peu de hêtre, les niveaux superficiels montrent une composition spécifique qui dominée par le chêne et le hêtre, avec des essences de boisements ouverts (genévrier, peuplier, noisetier, prunus...). L'anthracomasse est assez élevée. Les dates obtenues dans ces niveaux sont cohérentes et indiquent les XVIème-XVIIème siècles. Par contre, les deux niveaux inférieurs témoignent d'une sapinière dominante, toujours avec chêne et hêtre, mais avec aussi, surtout dans le niveau II, genévrier, peuplier, noisetier, montrant déjà un éclaircissement de la forêt. L'anthracomasse de ces deux niveaux est par contre faible, en dépit d'un grand nombre de fragments. Les dates, obtenues sur un charbon de sapin dans les niveaux 1 (90 cm de profondeur) et de genévrier dans le niveau 2 (60 cm de profondeur) indiquent ici d'une façon cohérente la période antique, du IIème au IVème siècle.

Comme toujours, il ne faut pas oublier que l'on ne date pas des niveaux, mais des charbons. Cela dit, ces datations, non seulement attestent d'un impact sur la sapinière durant l'Antiquité, ce qui est cohérent avec les données polliniques, mais laissent entrevoir la possibilité d'un paysage forestier largement anthropisé à cette époque. Le genévrier, dont un charbon a donc été daté, n'est pas normalement une essence de la futaie de sapin d'ombrée. Or il y a du genévrier dans presque tous les niveaux, et parfois relativement abondant.

Datations de Montbrun-2:

Montbrun 2-4 (20 cm) : **310 ± 30 BP** (Poz-60283)
 68.2% probability: 1521 AD (51.8%) 1591 AD /1620 AD (16.4%) 1643 AD
 95.4% probability: 1485 AD (95.4%)1650 AD

Montbrun 2-3 (40 cm) : **295 ± 30 BP** (Poz-60284)
 68.2% probability: 1522 AD (45.7%) 1575 AD /1625 AD (19.8%) 1649 AD
 95.4% probability: 1491 AD (61.3%) 265AD / 1625 AD (28.1%) 1649 AD

Montbrun 2-2 (60 cm) : **1780 ± 25 BP** (Poz-56965)
 68.2% probability: 217AD (39.6%) 260AD / 282AD (28.6%) 324AD
 95.4% probability: 137AD (61.3%) 265AD / 274AD (34.1%) 335AD

Montbrun 2-1 (90 cm) : **1770 ± 35 BP** (Poz-56966)
 68.2% probability : 220AD (29.4%) 265AD / 273AD (38.8%) 335AD
 95.4% probability: 135AD (94.0%) 349AD / 369AD (1.4%) 378AD



Sondage Montbrun-2

2.3.2.3 - Sondage de Montbrun 3 : soulane de Baratat

Ce sondage a été effectué dans le bas de la soulane du bassin versant de la forêt, dans une parcelle repérée comme étant en forêt sur la carte de 1849 et sur le cadastre de 1846, vers 380 m d'altitude. La végétation est aujourd'hui une forêt mixte issue vraisemblablement d'un faciès très ouvert ; elle est dominée par des chênes de belle venue, francs de pied, d'une vingtaine de mètres de hauteur, entremêlés de cèpées de châtaignier ; on y rencontre aussi une régénération importante de frêne, l'érable, des pommiers sauvages, du charme, du merisier, quelques hêtres. Le sapin est présent sous forme de jeunes arbres de 30-40 ans et d'une régénération très active, et plus à l'ouest sous forme de bosquets d'une soixantaine d'années. A une cinquantaine de mètres se trouvent les limites de parcelles en terrasses enfrichées depuis au moins une cinquantaine d'années, au vu des chênes qui y poussent. On est donc ici dans une station qui semble propice au sapin comme au chêne.

Le versant est en pente modérée (de 5 à 20%), mais présente par endroit des formes de solifluxion.

Des plantations de résineux (*Pinus sylvestris*, *P. nigra*) sont étendues sur tout le versant de la soulane.

Le sondage a été fait jusqu'à 110 cm de profondeur et cinq horizons pédologiques ont été déterminés :

- horizon A0 : 0-18 cm ; organique (30-40% de MO), riche en racines de toutes tailles, de couleur noire avec un peu de gris et de marron ; argileux, humide, en structure granulée dans la partie superficielle.
- Horizon A : 18-40 cm ; assez peu organique (5-10% de MO), de couleur marron, des racines fines nombreuses ; argileux et très plastique, humide.
- Horizon A/B de transition : 40-50cm ; couleur panachée, argileux, avec quelques petits cailloutis (0,2-5 cm)
- Horizon B 1 : 50-70cm ; rouge à rouge-jaune, avec accumulation de fer, gravillonneux et peu argileux
- Horizon B2 : 70-110cm ; argileux, jaune, pas de MO ni de racines, pas de cailloutis et graviers

On trouve un peu partout des blocs de quartzite, qui semblent descendre de l'amont du versant.

Six niveaux d'échantillonnage ont été sélectionnés.

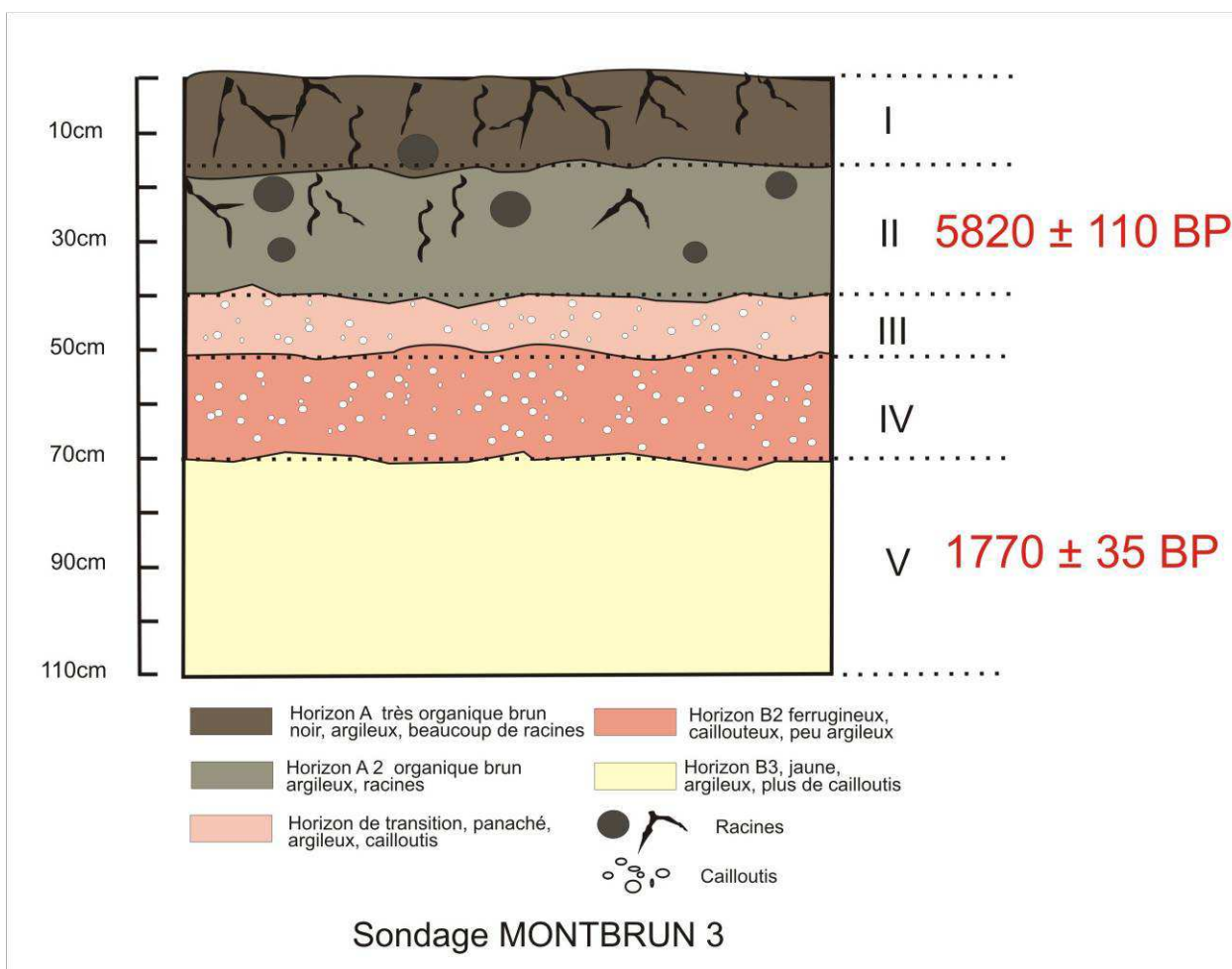


Figure 39 - Coupe pédologique du sondage de Montbrun 3

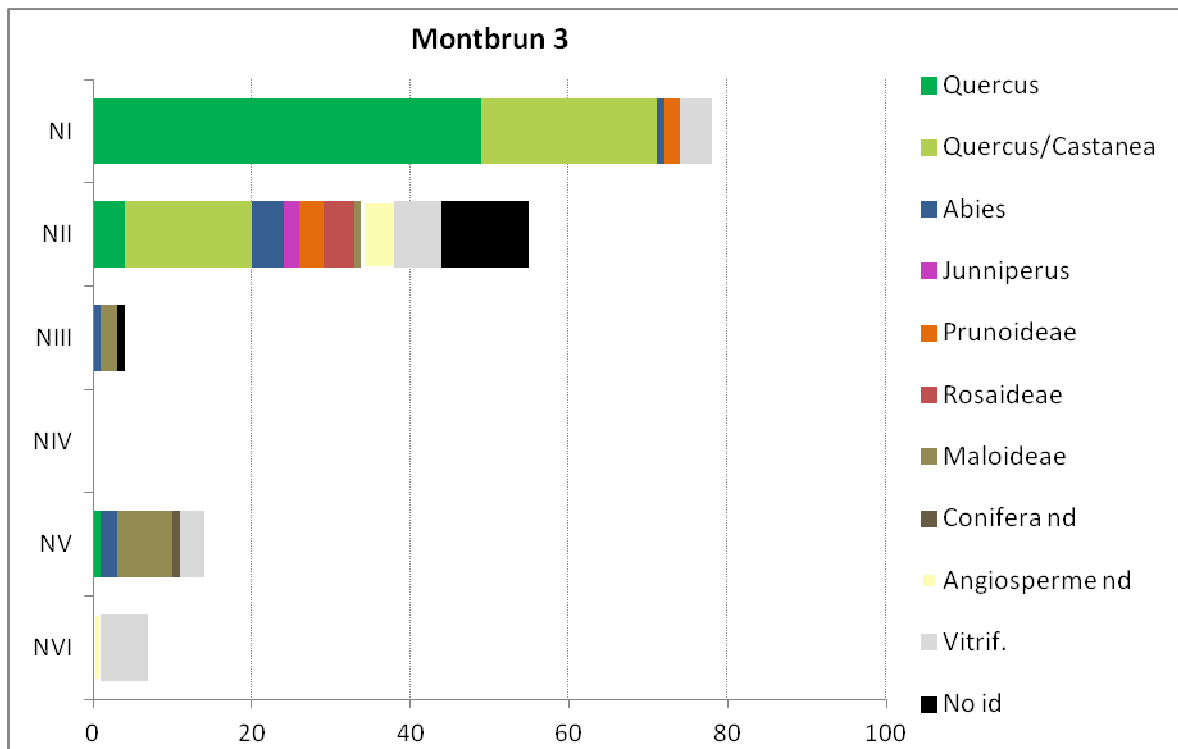


Figure 40 - Profil pédo-anthracologique de Montbrun 3 (en quantité absolue)

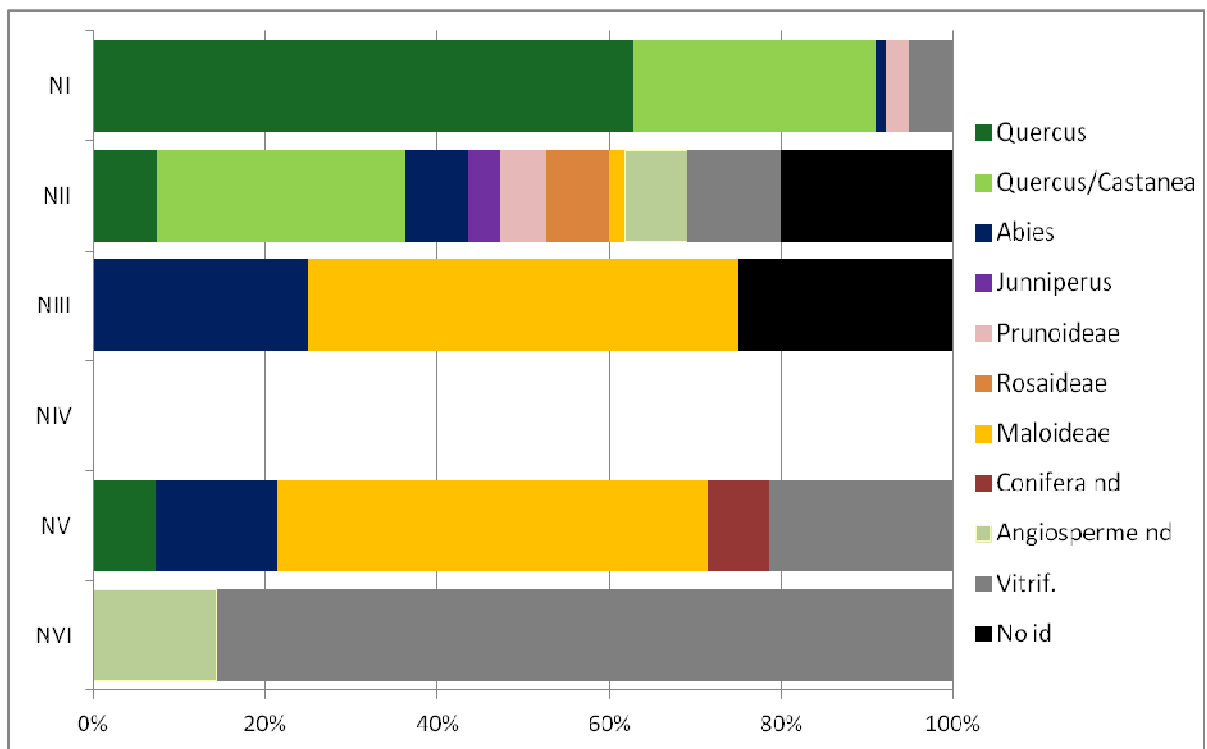


Figure 41 - Profil pédo-anthracologique du sondage de Montbrun 3 (en %)

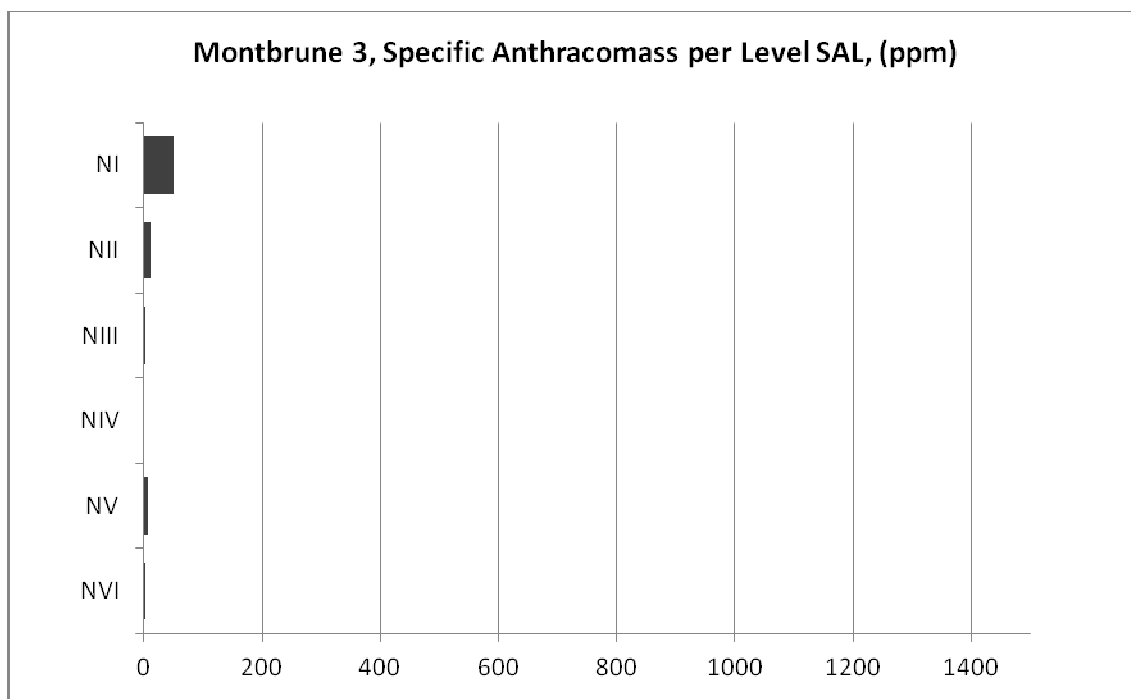


Figure 42 - Diagramme de l'anthracomasse de Montbrun 3

Le diagramme pédo-anthracologique de Montbrun-3 est étonnant. Etant donné que le sondage est dans une ancienne forêt paysanne et à proximité de terrasses de cultures, on aurait attendu une grande production de charbons issus de défrichements, brûlis, voire amendements avec cendres. De plus, sur cette soulane cultivée, et en relation avec les résultats de Montbrun-1, on pouvait imaginer des phénomènes d'érosion transportant du matériel au long du versant. Mais l'anthracomasse est très minime, les charbons étant absents de certains niveaux (en particulier dans les niveaux III et IV, ferrugineux et caillouteux).

En dépit du faible nombre de charbons, la composition des deux niveaux organiques superficiels correspond quand même au paysage de la forêt récente. Dans le niveau I, le chêne est en dominance totale, à peu près comme dans le peuplement actuel, avec quelques éléments de sapin et prunus. En dessous, le chêne est largement accompagné de rosacées, prunus, genévrier, angiospermes typiques des forêts secondaires claires.

La rareté ou l'absence des charbons dans les niveaux III, IV et V est peu compréhensible, mais on y rencontre quand même quelques charbons de sapin, chêne, Maloidae. Ils sont très petits et hélas en trop faible quantité pour en tirer de véritables interprétations, à part la confirmation de l'extension passée du sapin sur la soulane. On est visiblement dans une configuration où les pratiques d'un côté et les conditions géomorpho-pédologiques de l'autre ont dû jouer des rôles croisés pour aboutir à une très faible quantité de charbons analysable.

Les datations obtenues, assez surprenantes, posent plus de questions qu'elles n'en résolvent et donnent une image inédite de l'histoire de ces peuplements de soulane. Elles suggèrent que des incendies et/ou défrichements ont touché la soulane à une époque ancienne (Néolithique ancien ; Bronze), et qu'il n'y a pas eu d'autres impacts par la suite. Sommes-nous au contraire sur un versant où l'érosion –attestée par les colluvionnements/alluvionnements médiévaux et post-médiévaux dans la vallée- a été importante, balayant les horizons superficiels ? La dynamique de construction de ce sol reste encore énigmatique et demandera des analyses géomorphologiques et pédologiques plus poussées.

Les datations montrent aussi, avec la plus ancienne dans un horizon superficiel, que les migrations dans le profil ont été certainement importantes. La dynamique morpho-pédologique, mais aussi les vers de terre de grande taille mis à jour au cours du sondage, en sont probablement la cause.

Par ailleurs, la faible masse des échantillons de charbon obtenus pour effectuer les datations conduit à prendre les résultats avec prudence. Il apparaît donc indispensable de réaliser un autre sondage sur la soulane pour préciser à la fois la chronologie et les formes d'évolution du paysage forestier sur ce secteur visiblement transformé depuis longtemps.

Datations de Montbrun – 3 :

Montbrun 3-2 (30 cm) : **5820 ± 110 BP** (Poz-60242) (0.11 mgC)
68.2% probability: 4797 BC (68.2%) 4541 BC
95.4% probability: 4956 BC (95.2%) 4448 BC / 4412 BC (0.2%) 4407 BC

Montbrun 3-5 (90 cm) : **1770 ± 35 BP** (Poz-60286) (TOC, 0.3mgC)
68.2% probability : 1502 BC (29.4%) 1406 BC
95.4% probability: 1585 BC (83.0%) 1368 BC / 1362 BC (10.8%) 1297 BC

2.4 - SYNTHÈSE GÉNÉRALE

Les sapinières du Volvestre représentaient il y a peu une petite énigme forestière, de par leur éloignement géographique des peuplements montagnards et par leur basse altitude. À partir de l'ensemble des recherches et des données recueillies à ce jour, il est désormais possible d'en résumer l'histoire sur la longue durée, même si beaucoup d'interrogations subsistent sur les détails.

- Le sapin est présent en abondance dans la région de Ste-Croix-Montbrun au Néolithique, la base du diagramme de Pélissié étant datée des environs de 3 300 ans avant n.e. Il est alors une des essences dominantes en compagnie du chêne, du tilleul, de l'orme et du noisetier. Son extension est pour l'instant impossible à connaître avec précision, mais on peut remarquer que des régénérations de sapin se rencontrent aujourd'hui dans les forêts de hêtre et chêne dans une aire assez large autour de Ste-Croix et Montbrun (notamment en forêt de Lasserre, vers Contrazy, au sud de Montbrun...). On ne peut pour l'instant pas répondre à la question de savoir s'il s'agit à cette époque d'un isolat, ou si l'aire du Volvestre était en contact vers le sud avec les zones de sapinières du front montagnard. Mais en fonction des méthodes de la pédoanthracologie et des résultats qu'elles ont livrés dans cette étude, on peut attester qu'il serait facile de le savoir.
- L'abondance du sapin connaît une chute brutale durant l'Antiquité, vers les III-IVe siècles, correspondant à la première grande vague de défrichements agricoles dans les collines du Volvestre. Une forêt feuillue mixte de hêtres, chênes, bouleaux, noisetiers s'installe alors et va devenir le paysage dominant jusqu'à nos jours.
- Les défrichements vont être très importants au Moyen Âge et semblent commencer tôt, avant l'an Mil ; ils provoquent une phase érosive qui a laissé des colluvionnements dans les bassins forestiers des forêts de Ste Croix et Montbrun, et certainement dans toutes les vallées voisines où l'on trouve les mêmes systèmes géomorphologiques. Il est probable qu'à cette époque les sapinières se restreignent à quelques peuplements limités aux stations forestières les plus favorables, profitant également de mesures de protection dans les propriétés seigneuriales ou abbatiales.
- Lorsque les premières sources historiques sur les forêts apparaissent, aux XVIIe-XVIIIe siècles, les peuplements sont encore de belles futaies, très limitées spatialement, mais d'une grande vitalité qui est notée par tous les observateurs (« ça fourmille »). On les dit propres à produire des mâts de marine. Mais elles subissent déjà des pressions agropastorales très fortes, qui les grignotent, ou en changent progressivement la composition. Les sapins reculent au profit des taillis de hêtre et de chêne, mais les limites des

peuplements telles qu'on les connaît par les arpentages ou descriptions vont peut changer entre le XVIIe et le XXe siècle. Dès cette époque, on note dans les descriptions des forêts de Ste-Croix et Montbrun la présence à la fois d'arbres vieux, « mal faits » ou sec du houppier, et d'une « jeunesse nombreuse ».

- Les sapinières connaissent à partir de la Révolution des changements de propriétaires et des vicissitudes qui ont visiblement entraîné une surexploitation de certains peuplements. Mais la vitalité du sapin et sa capacité de régénération ont subsisté et se traduisent de nos jours par la colonisation des forêts voisines de sapinières.

3 - CARTOGRAPHIE DES SAPINIÈRES PYRÉNÉENNES

Auteurs : Pierre GONIN, IDF, pierre.gonin@cnpf.fr
 Antoine DELARUE, CRPF de Midi-Pyrénées, antoine.delarue@crpf.fr

La cartographie des sapinières pyrénéennes a été réalisée à partir de la carte forestière (version 1) de l'Inventaire Forestier National, établie à partir des photos de l'IFN prises entre 1987 et 1999 selon les départements :

Départements	64	65	31	09	11	66
Dates des photographies IFN utilisées	1992	1994	1996	1987	1999	1999

Les types de peuplement délimités par l'IFN ont été rassemblés sous SIG (MapInfo) par le CRPF Midi-Pyrénées pour les 5 départements pyrénéens : Pyrénées-Atlantiques, Hautes-Pyrénées, Haute-Garonne, Ariège, Aude et Pyrénées-Orientales.

Seuls les types de peuplement mentionnant la **présence de sapin** ont été retenus, soit au total **17 types** départementaux, qui peuvent avoir des libellés et des définitions légèrement différentes selon les départements (voir Annexe 1). La typologie est plus ou moins détaillée selon les départements, les sapinières étant subdivisées en fonction de l'âge dans l'Ariège ou en fonction de l'essence majoritaire pour les peuplements mixtes de la Haute-Garonne, de l'Aude et des Pyrénées-Orientales. Ces peuplements sont essentiellement composés de Sapin pectiné, les autres sapins (Sapin de Nordmann...) étant marginaux.

Ces 17 types de peuplement ont été regroupés en **3 groupes** : futaie dominée par le sapin, futaie mixte hêtre et sapin, plantation (voir Annexe 1).

Les peuplements de sapin couvrent **92 100 ha**. Ils sont composés en majorité de futaies de sapin et de peuplements mélangés sapin-feuillus (voir fig. 1 et tab. 1).

Figure 1 - Répartition des types de peuplement de sapin

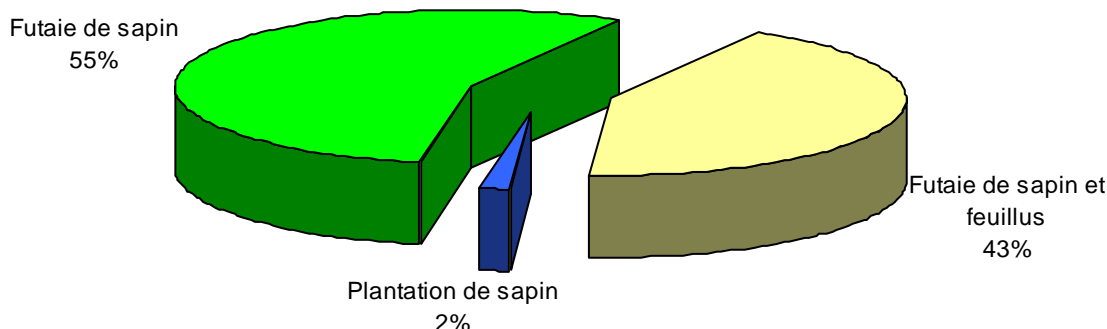


Tableau 1 - Surface des peuplements de sapin (en ha)

Types de peuplement forestier regroupés	64	65	31	09	11	66	Total
FUTAIE DE SAPIN	4 049	18 522	4 956	9 684	11 404	2 485	51 100
FUTAIE DE SAPIN ET FEUILLUS	14 436	6 714	4 810	6 710	5 961	903	39 533
PLANTATION DE SAPIN (PURE OU MELANGEE)				1 417	64		1 481
TOTAL	18 484	25 236	9 766	17 811	17 429	3 387	92 114

La répartition des peuplements de sapin est inégale selon les départements et selon les régions forestières IFN (voir tab. 2), le sapin étant plus particulièrement représentés dans trois régions : **Haute chaîne pyrénéenne, Front pyrénéen et Pays de Sault.**

Tableau 2 - Surfaces des peuplements de sapin, par régions forestières IFN et par département (en ha)

Types de peuplement forestier départementaux IFN	64	65	31	09	11	66	Total
Petites Pyrénées et Plantaurel			17	243			260
Razès et Piège					161		161
Front pyrénéen	8 787	16 029	5 970	3 730			34 515
Haute chaîne pyrénéenne	9 698	9 208	3 780	7 778			30 464
Quérigut				2 424			2 424
Pays de Sault				3 635	17 027	469	21 132
Corbières occidentales					240		240
Corbières méridionales						8	8
Capcir						249	249
Cerdagne						72	72
Conflent						2 561	2 561
Vallespir						28	28
Total	18 484	25 236	9 766	17 811	17 429	3 387	92 114

Au total, ce sont 12 régions IFN nationales, subdivisées en 17 régions IFN départementales, dans lesquelles on trouve des peuplements de sapin (voir tab. 3).

Tableau 3 - Liste des régions forestières IFN dans les Pyrénées avec présence du sapin

Régions forestières IFN (appellation nationale)	Régions forestières IFN départementales	Dép.	Surface (ha)
PETITES PYRENEES ET PLANTAUREL	PRE- ET PETITES PYRENEES	31	17
	PETITES PYRENEES ET PLANTAUREL	09	243
RAZES ET PIEGE	RAZES ET PIEGE	11	161
FRONT PYRENEEN	FRONT PYRENEEN	64	8 787
		65	16 029
		31	5 970
		09	3 730
HAUTE CHAINE	HAUTE CHAINE	64	9 698
		65	9 208
		31	3 780
	HAUTE CHAINE DU COUSERANS	09	2 008
	HAUTE ARIEGE ET VICDESSOS	09	5 770
QUERIGUT	QUERIGUT	09	2 424
PAYS DE SAULT	BORDURE ARIEGEOISE DU PAYS DE SAULT	09	3 635
	PAYS DE SAULT	11	17 027
	BORDURE ORIENTALE DU PAYS DE SAULT	66	469
CORBIERES OCCIDENTALES	CORBIERES OCCIDENTALES	11	240
CORBIERES MERIDIONALES	CORBIERES MERIDIONALES	66	8
CONFLENT	CONFLENT	66	2 561
CAPCIR	CAPCIR	66	249
CERDAGNE	CERDAGNE	66	72
VALLESPER	VALLESPER	66	28
Total			92 114

Les peuplements de sapin sont en majorité situés en forêts communales, mais une part non négligeable concerne les forêts privées, en particulier en Midi-Pyrénées (voir tab. 4, fig. 2 et 3, Annexe 3).

Tableau 4 - Surfaces des peuplements de sapin par type de propriété (en ha)

	COMMUNAL	DOMANIAL	PRIVE	Total
Types de peuplement forestier regroupés				
FUTAIE DE SAPIN	27 172	14 108	9 820	51 100
FUTAIE DE SAPIN ET FEUILLUS	25 243	6 765	7 525	39 533
PLANTATION DE SAPIN (PURE OU MELANGEE)	1 077	164	240	1 481
TOTAL	53 492	21 036	17 585	92 114
Région				
Languedoc-Rousillon (11 et 66)	4 228	9 638	6 950	20 816
Midi-Pyrénées (09, 31, 65)	31 766	11 398	9 649	52 813
Aquitaine (64)	17 498	0	986	18 484
TOTAL	53 492	21 036	17 585	92 114

Figure 2 – Répartition des peuplements de sapin par type de propriétaire

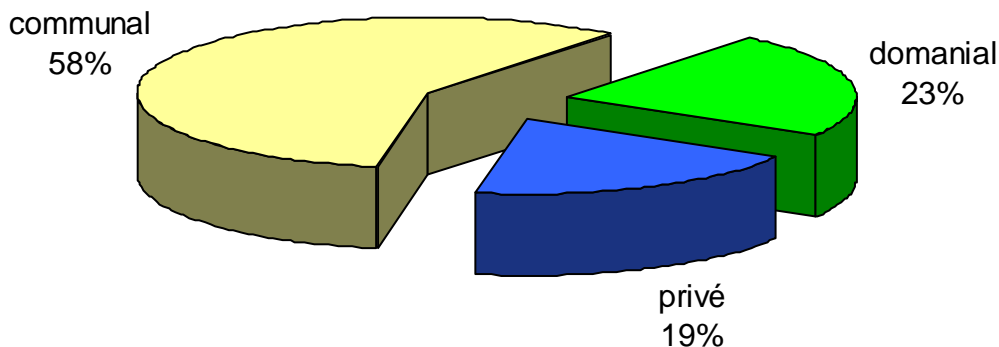
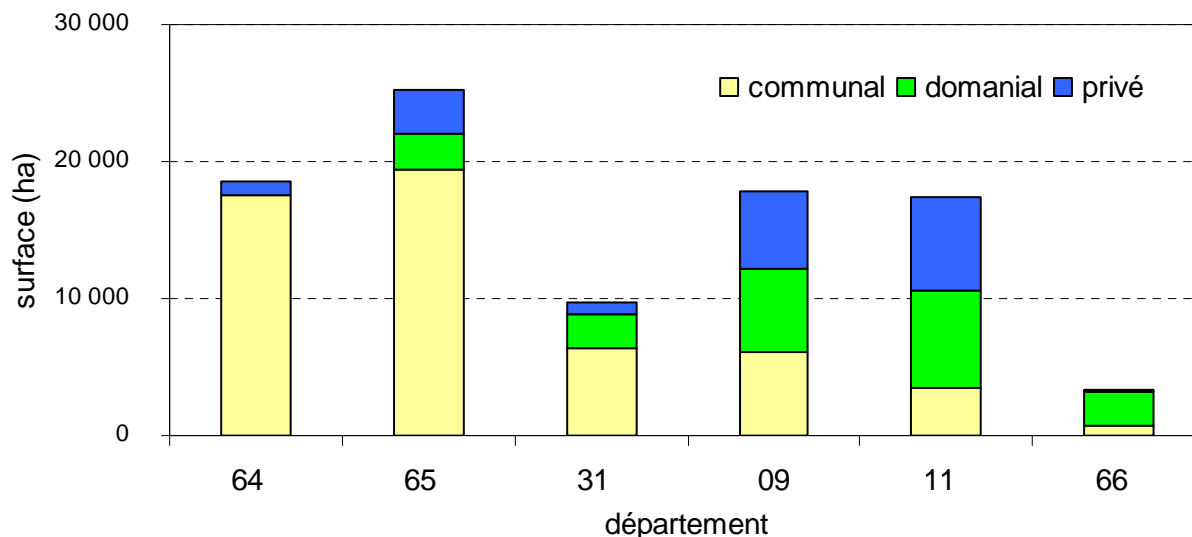
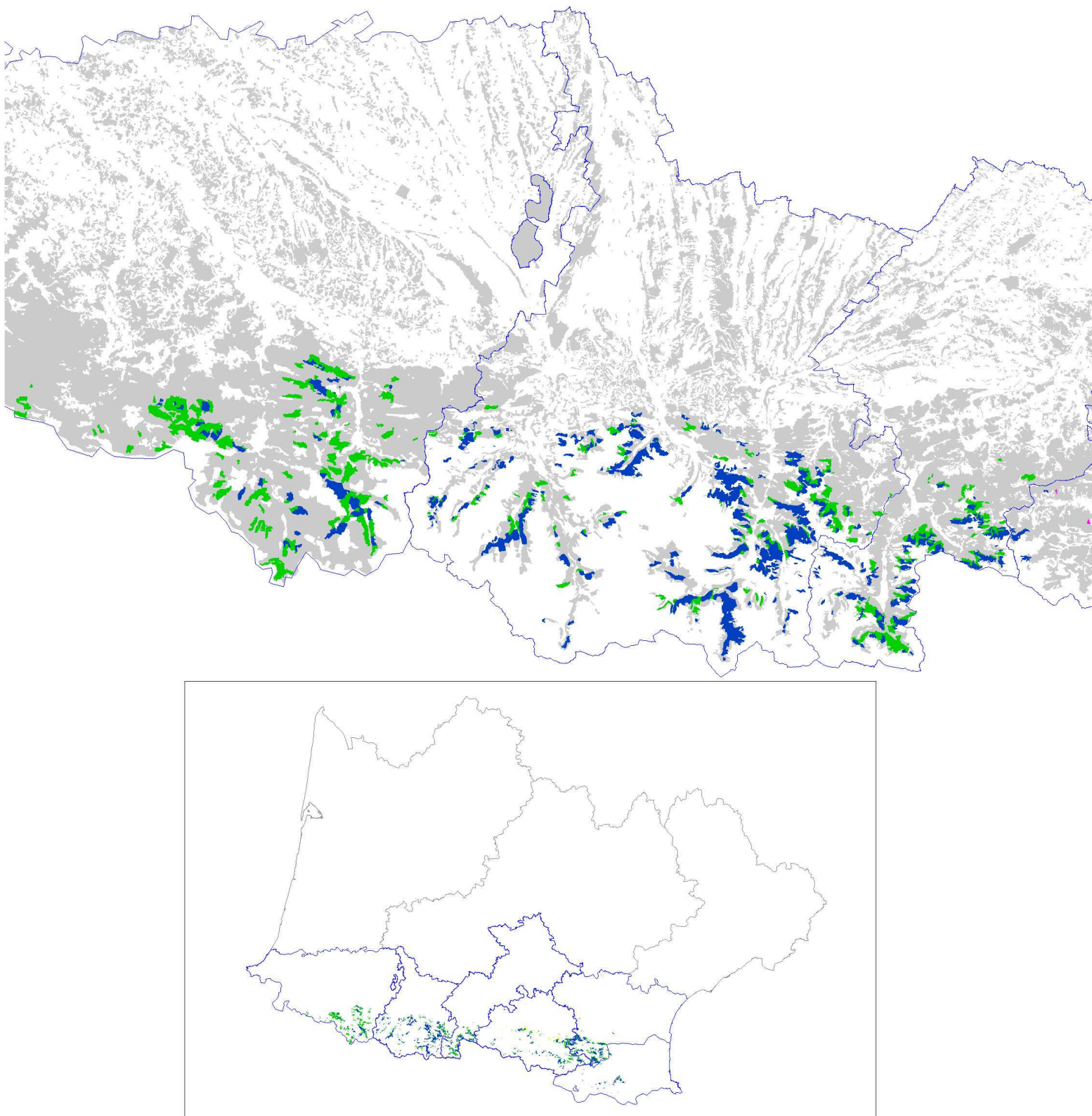


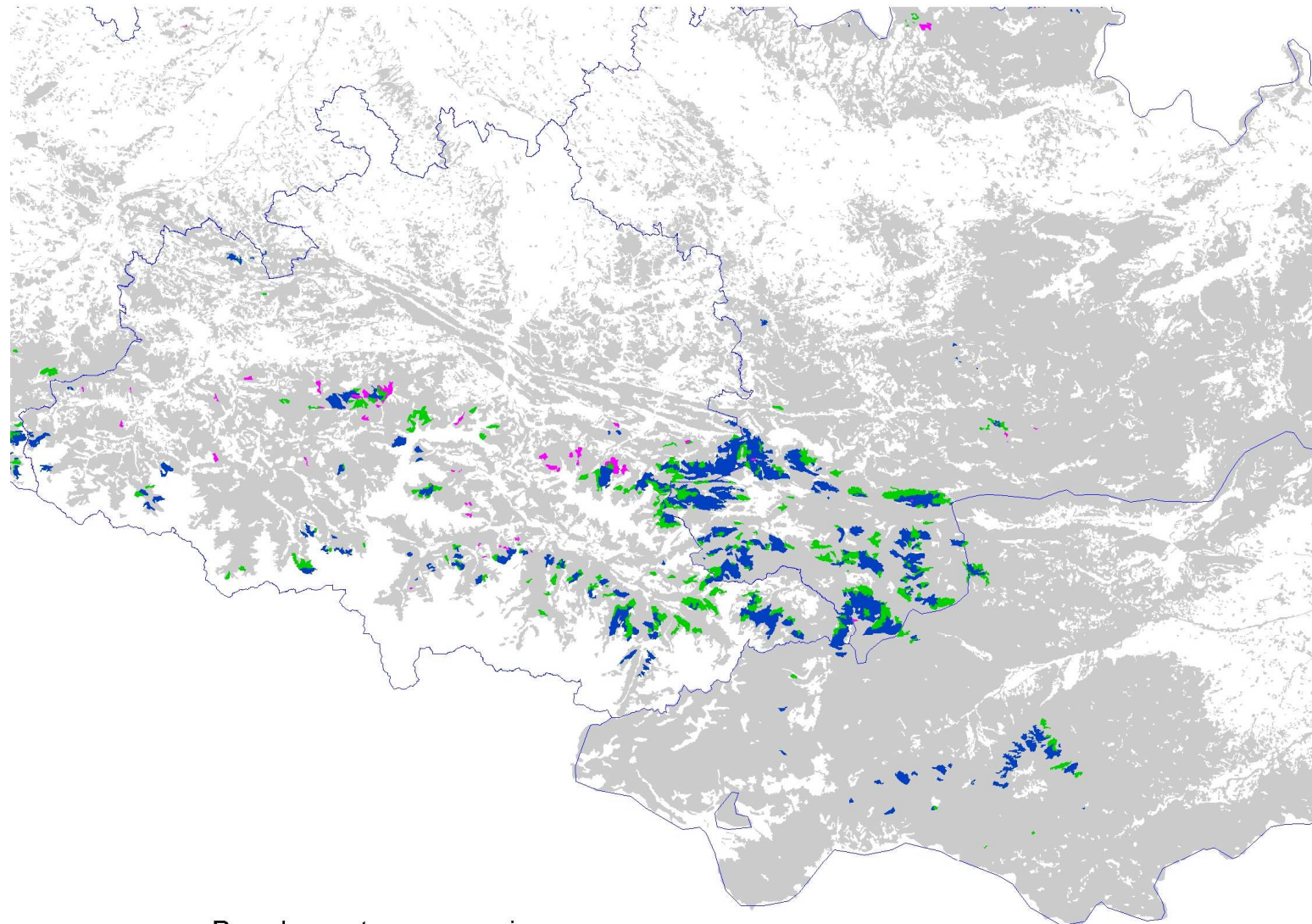
Figure 3 – Répartition des peuplements de sapin par type de propriétaire et par département



La localisation des peuplements de sapin est représentée dans les fig. 4, 5 et 6.

Figure 4 - Localisation des types de peuplement comportant du sapin (source : IFN)

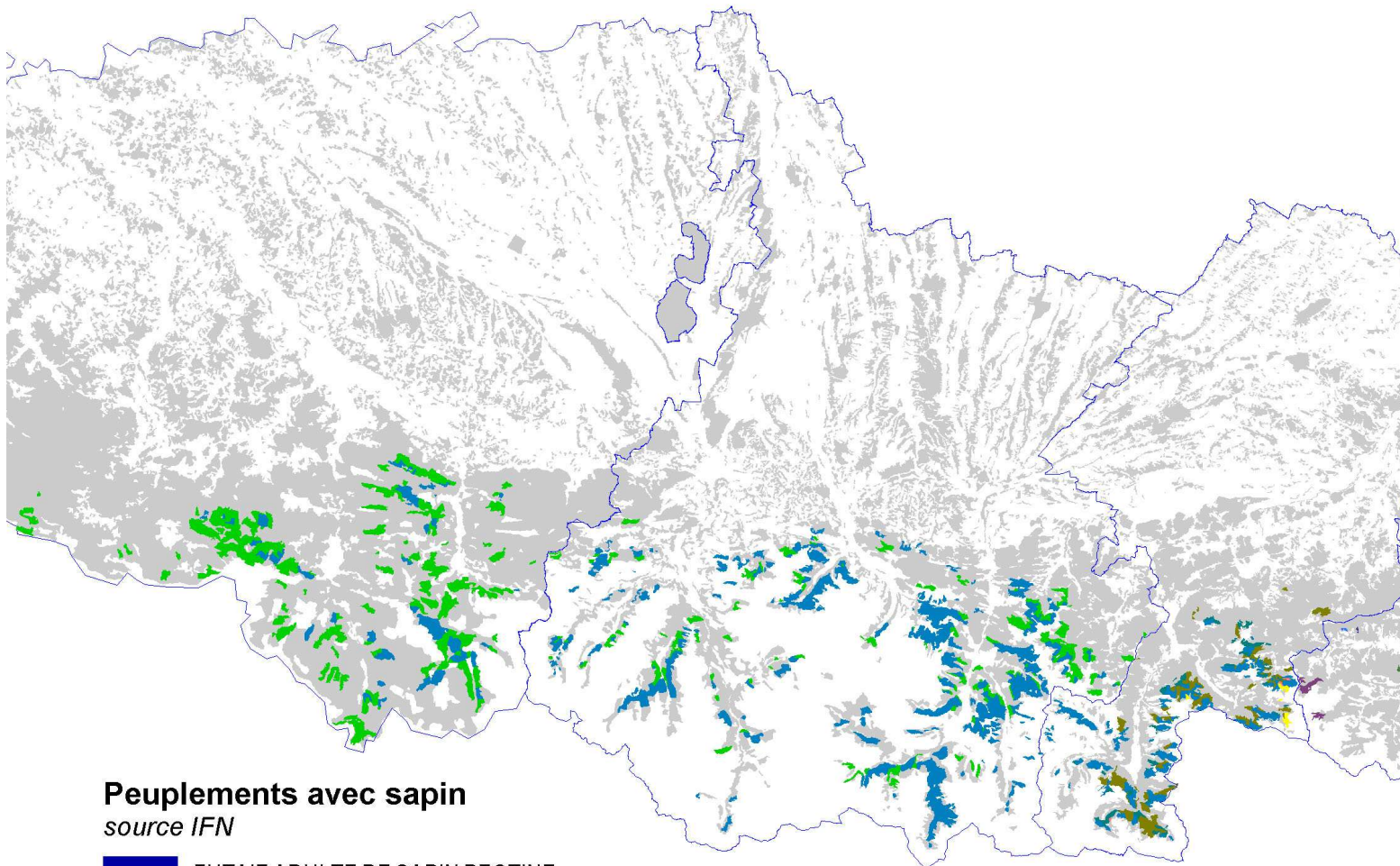




Peuplements avec sapin
source IFN

- FUTAIE DE SAPIN
- FUTAIE DE SAPIN ET FEUILLUS
- PLANTATION DE SAPIN (PURE OU MELANGEE)

Figure 5 - Localisation des types de peuplement comportant du sapin (source : IFN)



Peuplements avec sapin

source IFN

- FUTAIE ADULTE DE SAPIN PECTINE
- FUTAIE ADULTE DE SAPIN PECTINE ET D'EPICEA COMMUN
- FUTAIE D'AGE MOYEN DE SAPIN
- FUTAIE DE SAPIN
- FUTAIE DE SAPIN (PROTECTION)
- FUTAIE JEUNE DE SAPIN PECTINE
- FUTAIE JEUNE DE SAPIN PECTINE ET D'EPICEA COMMUN
- FUTAIE MIXTE D'AGE MOYEN DE SAPIN ET HETRE
- FUTAIE MIXTE DE HETRE ET SAPIN PECTINE (CONIF. MAJORITAIRES)
- FUTAIE MIXTE DE HETRE ET SAPIN PECTINE (FEUIL. MAJORITAIRES)
- FUTAIE MIXTE DE SAPIN ET FEUILLUS (CONIFERES MAJORITAIRES)
- FUTAIE MIXTE DE SAPIN ET FEUILLUS (FEUILLUS MAJORITAIRES)
- FUTAIE MIXTE DE SAPIN ET FEUILLUS (PROTECTION)
- FUTAIE MIXTE DE SAPIN ET HETRE
- FUTAIE MIXTE DE SAPIN ET HETRE (PROTECTION)
- JEUNE FUTAIE DE SAPIN
- JEUNE FUTAIE MIXTE DE SAPIN ET HETRE
- REBOISEMENT EN BANDES DE SAPIN (CONIFERES MAJ.)
- REBOISEMENT EN BANDES OU SOUS ABRI DE SAPIN-EPICEA (C. MAJ.)
- REBOISEMENT EN BANDES OU SOUS ABRI DE SAPIN-EPICEA (F. MAJ.)
- REBOISEMENT EN PLEIN DE SAPINS
- VIEILLE FUTAIE DE SAPIN
- VIEILLE FUTAIE MIXTE DE SAPIN ET HETRE

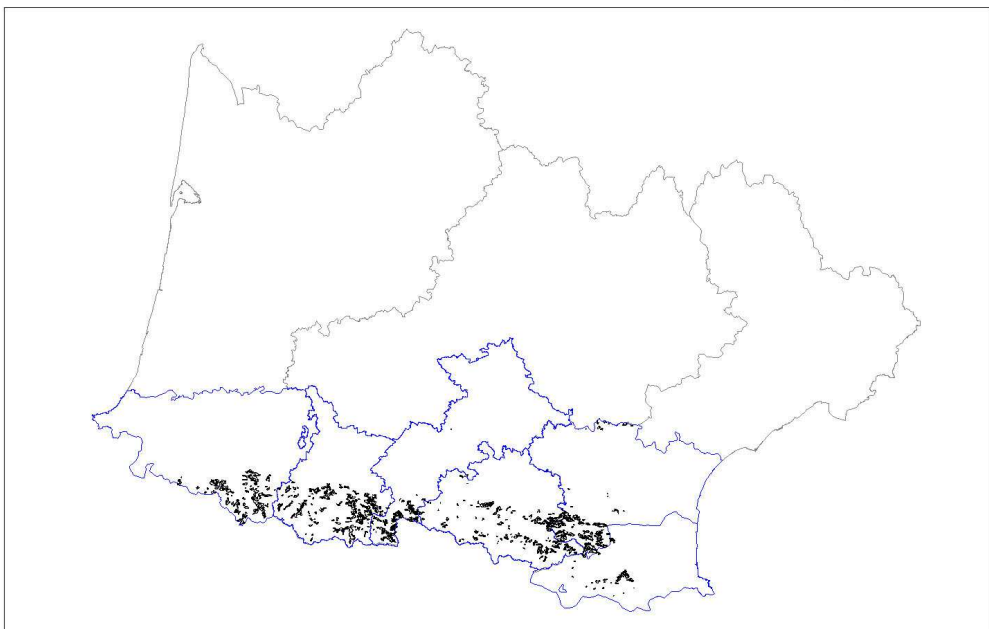
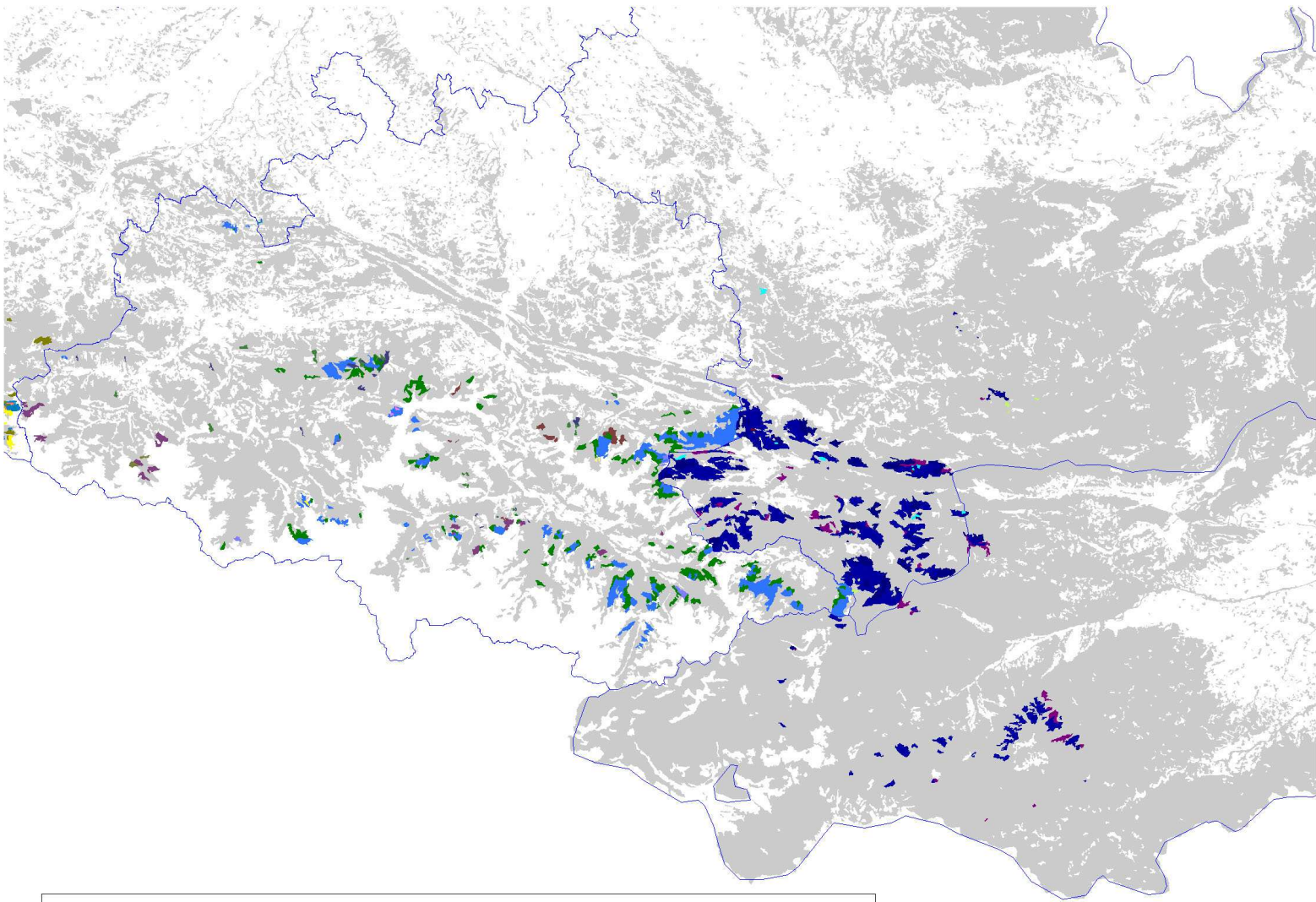
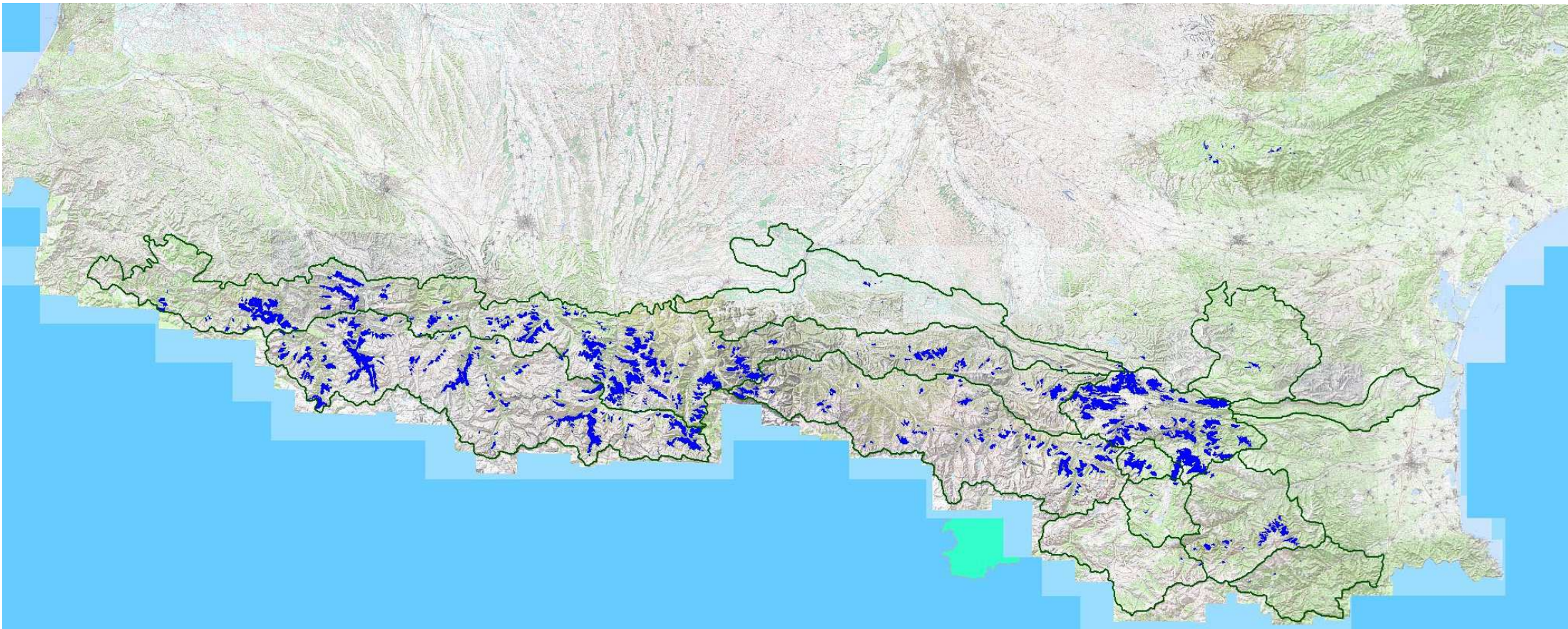


Figure 6 - Localisation des peuplements comportant du sapin (source : IFN)



Légende : bleu = sapinière
vert : limite de régions forestières

4 - ECHANTILLONNAGE DES SAPINIÈRES ET PROTOCOLE DE RELEVÉ

Auteurs : Pierre GONIN, Institut pour le Développement Forestier, pierre.gonin@cnpf.fr
Bruno FADY, INRA Avignon – URFM, bruno.fady@avignon.inra.fr
Brigitte MUSCH, Conservatoire Génétique des Arbres Forestiers, musch@orleans.inra.fr

L'échantillonnage et le protocole de relevé ont été élaborés pour l'étude génétique qui poursuivait plusieurs objectifs :

- sur le massif de Ste Croix Volvestre : de caractériser la sapinière et de la comparer aux autres peuplements pyrénéens pour déterminer si elle a été introduite ou si elle est d'origine naturelle ;
- sur le massif pyrénéen : d'évaluer la structuration géographique de la diversité génétique neutre de la sapinière et d'identifier les différents groupes de populations ;
- sur les Cévennes et les autres massifs proches des Pyrénées : de comparer quelques sapinières considérées comme reliques avec les peuplements pyrénéens.

4.1 - PLAN ECHANTILLONNAGE ET RELEVÉ DE TERRAIN

4.1.1 - NOMBRE DE PLACETTES

Le nombre de placettes a été choisi pour que l'échantillon soit représentatif des zones d'études et permettre de répondre aux interrogations soulevées :

- dans le **massif de Ste Croix Volvestre**, **4 placettes** ont été installées pour échantillonner les trois zones où l'on rencontre encore du sapin : 2 sur la commune de Ste Croix Volvestre où se trouve la principale sapinière, 1 dans chacune des deux autres communes voisines où subsiste du sapin.
- dans le **reste des Pyrénées**, les placettes doivent rendre compte de la diversité des situations géographiques où l'on rencontre le sapin. Le massif pyrénéen se divise en **12 régions forestières IFN** (tab. 1 ; voir chap. 3), mais certaines sont étendues et couvrent plusieurs départements. Si on les subdivise par département, on obtient alors **20 régions IFN** (hors massif du Volvestre). Afin d'échantillonner suffisamment chacune de ces zones, il a été décidé d'installer en moyenne 2 placettes par régions IFN départementales (hors Volvestre), soit au total **environ 40 placettes**. Le plan d'échantillonnage définitif a tenu compte de plusieurs facteurs de stratification (voir 5.1.2 ci-après).
- dans les **trois massifs entourant les Pyrénées**, l'échantillon a été plus limité car l'objectif était d'avoir un point de comparaison, sauf dans le Massif central afin de répondre aux interrogations du Parc national des Cévennes sur l'origine des sapinières en zone cœur.

Au total, ce sont **52 sapinières** qui ont été échantillonnées, dont **45 sur les Pyrénées** (voir fig. 1, Annexe 4 et Annexe 5).

Figure 1 – Répartition des 52 sapinières étudiées

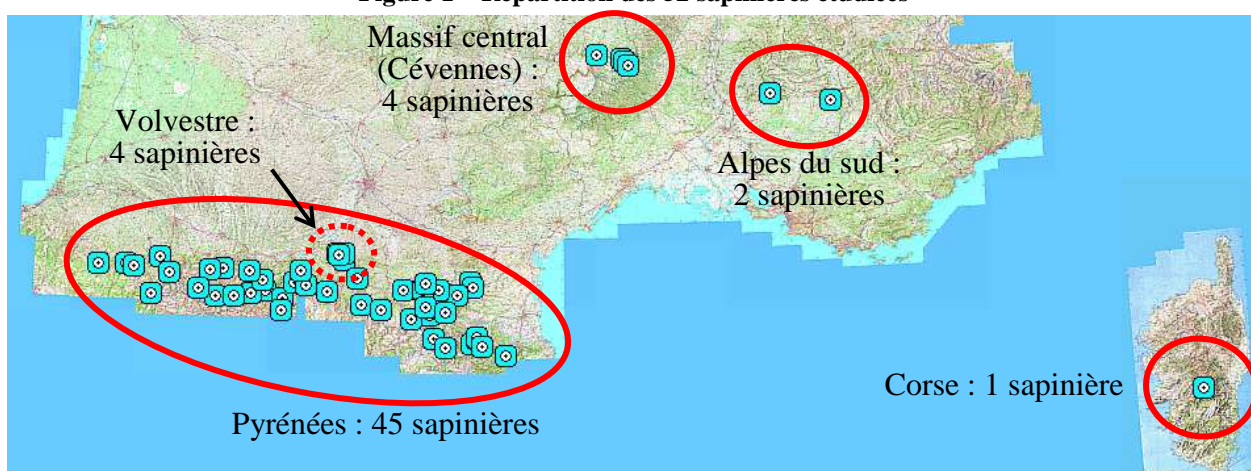


Tableau 1 – surface de sapinières par régions IFN (ha)

Région IFN	Pyrénées							Massif central 48	Corse 2A	Alpes du sud 04 et 84
	64	65	31	09	11	66	Sous-total Volvestre 09 et 31			
Petites Pyrénées et Plantaurel			17	243			260	x		
Razès et Piège					161		161			
Front pyrénéen	8 787	16 029	5 970	3 730			34 515			
Haute chaîne pyrénéenne	9 698	9 208	3 780	7 778			30 464			
Quérigut				2 424			2 424			
Pays de Sault				3 635	17 027	469	21 132			
Corbières occidentales					240		240			
Corbières méridionales						8	8			
Capcir						249	249			
Cerdagne						72	72			
Conflent						2 561	2 561			
Vallespir						28	28			
Grands Causses								x		
Renoso-Incudine									x	
Ventoux										x
Montagne de Lure										x
Surface sapinières	18 484	25 236	9 766	17 811	17 429	3 387	92 114			
Nbre régions IFN /dép.	2	2	3	5	3	6	21	1	1	2
Nbre de régions IFN /dép. hors Volvestre	2	2	2	5	3	6	20	1	1	2

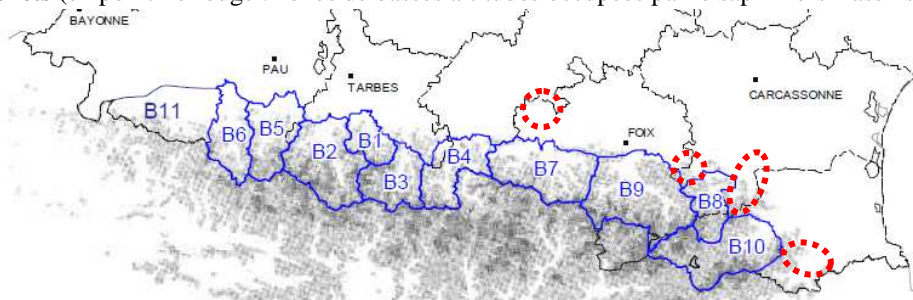
4.1.2 - STRATIFICATION

Les critères pris en compte pour réaliser le plan d'échantillonnage dans les Pyrénées et établir la stratification sont les suivants :

- **répartition géographique** : répartition sur toute la chaîne pyrénéenne, en couvrant les gradients est-ouest et nord-sud, et en recherchant les situations extrêmes (sapinières orientales, occidentales et les plus au nord de la chaîne).
- **régions forestières et bassins versants** : répartition sur les 12 régions forestières que comptent les Pyrénées (voir tab. 1 et chap. 3). Certaines régions sont très étendues et peuvent être subdivisées par département (cas de la Haute chaîne, du Front pyrénéen et du Pays de Sault).

La répartition a également tenu compte du découpage en bassins versants, légèrement différent de celui des régions IFN. Un tel découpage a été réalisé pour l'étude génétique du Pin sylvestre et du Pin à crochets, mais il n'inclut pas les zones de basses altitudes occupées par le sapin (voir fig. 2).

Figure 2 - Découpage des Pyrénées en 11 bassins versants pour l'étude génétique Pin sylvestre et Pin à crochets (en pointillé rouge : zones de basses altitudes occupées par le sapin hors Bassins versants)



- **surface des sapinières** : pour tenir compte des écarts importants de surface existants entre les régions forestières, celles qui sont le plus boisées (voir chap. 3) ont été sur-échantillonnées.
- **écologie et type d'habitat** : répartition sur toutes les situations stationnelles, identifiées par le macroclimat, l'altitude, le niveau trophique et hydrique, permettant de couvrir l'ensemble des types d'habitats (voir chap. 4).

Dans un premier temps, le nombre de placettes a été défini à l'échelle départementale en effectuant la moyenne entre le nombre de placettes déterminé de trois manières différentes : proportionnellement au nombre de régions IFN, au nombre de bassins versants et à la surface des sapinières (voir lignes a, b et c du tab. 2).

Dans un deuxième temps, la répartition de placettes à l'intérieur de chaque département a été réalisée en tenant compte des différents facteurs de stratification.

Tableau 2 - Détermination du nombre de sapinières à échantillonner par département, en tenant compte de la surface des sapinières, du nombre de régions IFN et de bassins versants

	Pyrénées							Volvestre 09 et 31	sous- total	Massif central 48	Corse 2A	Alpes du sud 04, 84	total
	64	65	31	09	11	66							
Nbre de régions IFN /dép. (hors Volvestre)	2	2	2	5	3	6		20*					
Nbre de bassins versants /dép.	3	4	2	3+1**	2+1**	2+1**		19*					
Surface des sapinières à partir des données IFN (ha)													
futaie de sapin	4 049	18 522	4 956	9 684	11 404	2 485		51 100					
futaie de sapin et feuillus	14 436	6 714	4 810	6 710	5 961	903		39 533					
plantation de sapin				1 417	64			1 481					
sous-total sans plantation	18 485	25 236	9 766	16 394	17 365	3 388		90 633					
total	18 484	25 236	9 766	17 811	17 429	3 387		92 114					
Nombre de sapinières à échantillonner													
a - proportionnellement au nombre de régions IFN /dép.	4,1	4,1	4,1	10,3	6,2	12,3							
b - proportionnellement au nbre de bassins versants /dép.	6,5	8,6	4,3	8,6	6,5	6,5							
c - proportionnellement à la surface des sapinières /dép. (hors plantation)	8,4	11,4	4,4	7,4	7,9	1,5							
Nombre retenu	6	8	5	10	6	6	4	45	4	1	2	52	

* le sous-total départemental est supérieur au nombre de régions IFN et de bassins versants car certains d'entre eux sont à cheval sur 2 départements (ex. de la Haute chaîne)

** en rajoutant les bassins versants de basse altitude non définis dans l'étude « Pin »

4.1.3 - CHOIX DES PLACETTES

Dans une zone donnée, les placettes ont été choisies avec l'aide des gestionnaires de l'ONF et des organismes de la forêt privées, en privilégiant les **sapinières remarquables ou déjà étudiées** :

- Unités Conservatoires du **Réseau conservatoire du sapin pectiné** : les 5 Unités conservatoires (UC) pyrénéennes ont été échantillonnées (FD St Lary, FD des Hares, FD du Canigou, FD Corbières occidentales, FD des Fanges) ainsi que l'UC de Corse et 1 UC dans les Alpes du sud ;
- **peuplements sélectionnés** (peuplements dont les graines sont susceptibles d'être récoltées en vue de la production de plants forestiers, choisis sur des critères phénotypiques tels que la forme et la vigueur) : 9 sapinières ont été échantillonnées sur les 26 peuplements sélectionnés que compte les Pyrénées ;
- placettes **RENECOFOR** (Réseau National de suivi à long terme des ECOsystèmes FORestiers). Ce réseau est destiné à détecter d'éventuels changements à long terme dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers et de mieux comprendre les raisons de ces changements. Il fait l'objet d'un suivi floristique et écologique régulier. Sur les 2 placettes pyrénéennes, seule celle de l'Aude (SP11, FD de Callong-Mirailles) a pu être étudiée car celle de l'Ariège (SP09) avait subi un dégât de vent.
- placettes réalisées lors de **l'étude DSF dépérissement sapin** : 2 placettes font partie de l'échantillon sur les 34 placettes que compte le réseau ;
- **réseau de forêts anciennes**, répertoriées et étudiées par le Groupe d'Etude des Vieilles Forêts Pyrénéennes. Ce réseau est constitué des forêts qui n'ont jamais été défrichées, ayant un degré élevé de naturalité et de maturité, avec une forte diversité spécifique. Sur les 15 sites étudiés en 2009, une sapinière a été étudiée.
- **Parcs nationaux** : 2 sapinières sont dans la zone cœur du PN des Pyrénées et 4 dans celle du PN des Cévennes.

Pour être échantillonnées, les **peuplements devaient respecter les conditions suivantes** :

- sapinières autochtones, non issues de plantation, si possibles anciennes (pas de discontinuité de l'état boisé attestée par la carte de Cassini et la carte d'Etat major) ; dans la forêt de Ste Croix Volvestre, deux zones ont cependant été échantillonnées en fonction de leur ancienneté pour apprécier l'incidence de ce facteur ;
- de préférence grande sapinière permettant d'avoir une zone tampon importante et une zone échantillonnée homogène ; au moins 1,5 à 3 ha pour avoir 30 sapins adultes échantillons espacés d'au moins 20 m, de préférence au cœur de la parcelle ;
- éviter la proximité d'anciennes plantations de sapins (> 60 ans) ;
- état sanitaire suffisamment bon pour pouvoir effectuer les prélèvements ;
- accessibilité et autorisation du propriétaire.

4.1.4 - PROTOCOLE DE RELEVÉ

Sur chaque placette, des échantillons ont été récoltés pour les analyses génétiques et des données phytoécologiques ont été recueillies. On trouvera le protocole complet en Annexe 6.

4.2 - CARACTERISTIQUES DE L'ECHANTILLONNAGE

4.2.1. - REPARTITION GEOGRAPHIQUE

Toutes les régions forestières IFN ont été échantillonnées, hormis deux régions ayant peu de sapinière (Razès et Piège, Corbières méridionales) et dont les seuls peuplements étaient soit des plantations, soit en continuité avec un massif déjà échantillonné dans la région voisine (voir tab. 3).

Les sapinières les plus extrêmes ont été échantillonnées (voir fig. 3, Annexe 4 et Annexe 5) :

- à l'est sur la commune d'Amélie les Bains (66) – relevé AMEL
- à l'ouest sur la commune de Larrau dans la Forêt communale d'Iraty (64) – relevé IRAT
- au nord, dans le massif du Volvestre sur la commune de Montbrun-Bocage (31) – relevé MONT, et dans les Corbières sur la commune d'Arques (11) – relevé ARQU
- au sud, avec plusieurs relevés en limite avec l'Espagne.



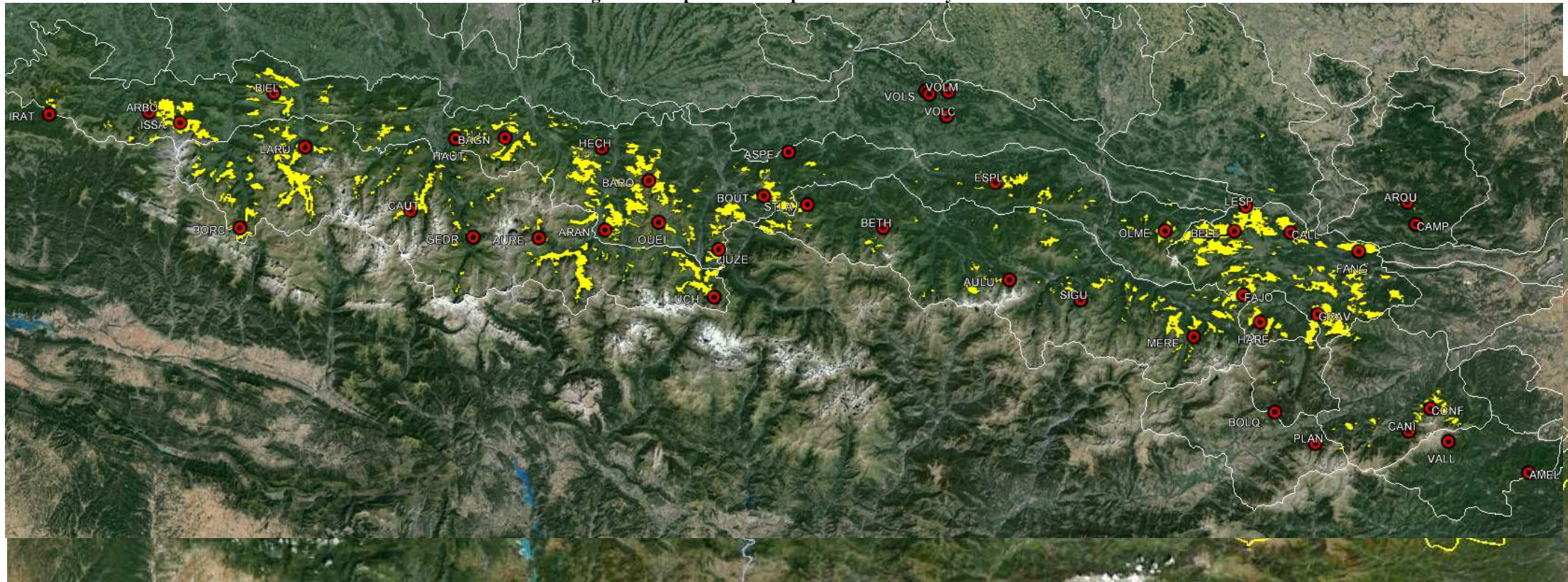
© P. Gonin

Sapinière la plus orientale des Pyrénées au Roc de France (Amélie les Bains, 66)

Tableau 3 - Répartition du nombre de sapinières échantillonnées par département et par région IFN

région IFN	Surface sapinières (ha)	Pyrénées						Massif central 48	Corse 20A	Alpes du sud		total
		64	65	31	09	11	66			04	84	
Petites Pyrénées et Plantaurel	260			1	4							5
Razès et Piège	161											
Front pyrénéen	34 515	4	5	4	2							15
Haute chaîne pyrénéenne	30 464	2	3	1	5							11
Quérigut	2 424				1							1
Pays de Sault	21 132				1	4						5
Corbières occidentales	240					2						2
Corbières méridionales	8											
Capcir	249						1					1
Cerdagne	72						1					1
Conflent	2 561						2					2
Vallespir	28						2					2
Grands Causses								4				4
Renoso-Incudine									1			1
Ventoux											1	1
Montagne de Lure										1		1
Total		6	8	6	13	6	6	4	1	1	1	52

Figure 3 – Répartition des placettes dans les Pyrénées



5 - ANALYSE PHYTOSOCIOLOGIQUE DES SAPINIERES

Auteur : Gilles CORRIOL, Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées,
gilles.corriol@cbnmp.fr



© G. Corriol

5.1 - SYNOPSIS PHYTOSOCIOLOGIQUE DES SAPINIÈRES PYRÉNÉENNES

La classification suivante des forêts naturelles à *Abies alba* des Pyrénées se base sur la structuration du synsystème du Prodrome des végétations de France (Bardat *et al.*, 2004).

QUERCO ROBORIS-FAGETEA SYLVATICAE Braun-Blanq. & Vlieger *in* Vlieger 1937
Forêts feuillues et mixtes, tempérées.

Fagetalia sylvaticae Pawł. *in* Pawł., Sokołowski & Wallisch 1928
Communautés collinéennes et montagnardes, acidiclinales à calcicoles, non thermophiles

Fagion sylvaticae Luquet 1926
Communautés montagnardes, acidiclinales à calcicoles.

1. *Scillo lilio-hyacinthi* – *Fagetum buxetosum* Rivas-Martinez *et al.*, 1991
2. *Scillo lilio-hyacinthi* – *Fagetum lathyretosum grandiflori* (Gruber, 1973) Gruber 1978
3. *Scillo lilio-hyacinthi* – *Fagetum isopyretosum* Br.-Bl. 1967
4. *Scillo lilio-hyacinthi* – *Fagetum saxifragetosum hirsuti* Vanden Berghen 1968
5. *Scillo lilio-hyacinthi* – *Fagetum abietetosum* (Gruber, 1978) Vigo 1979 inval.
6. *Scillo lilio-hyacinthi* – *Fagetum* Br.-Bl. ex O. Bolos 1957 *typicum*

Luzulo luzuloidis-Fagion sylvaticae W.Lohmeyer & Tüxen *in* Tüxen 1954
Communautés montagnardes acidiphiles.

7. *Luzulo niveae* - *Fagetum* (Susplugas 1942) Br.-Bl. 1952
8. « *Luzulo* - *Fagetum pyrenaicum* » Comps *et al.*, 1986 inval.
9. *Silene rupestris* - *Fagetum* Savoie 1996 inval.
10. *Goodyero* - *Abietetum* (O. Bolos 1957) Rivas-Mart. 1968

Cephalanthero - Fagion sylvaticae (Tüxen *in* Tüxen & Oberdorfer, 1958) Rameau 2006

Communautés édapho-mésoxérophiles, basophiles.

11. *Seslerio* – *Fagetum pyrenaicum* Vanden Berghen 1968
12. *Coronillo emeri* – *Abietetum albae* Rivas-Martinez *et al.*, 1991

VACCINIO MYRTILLI-PICEETEA ABIETIS Braun-Blanq. *in* Braun-Blanq., G.Sissingh & Vlieger 1939

Forêts résineuses acidiphiles circumboréales, sur sol oligotrophe.

Piceetalia excelsae Pawł. *in* Pawł., Sokołowski & Wallisch 1928
Pessières, sapinières, pessières-sapinières des sols très acides, du subalpin inférieur et en îlots montagnards.

Piceion excelsae Pawł. *in* Pawł., Sokołowski & Wallisch 1928
Communautés des Alpes, les Pyrénées et le Jura plus sporadiques dans les Vosges.

13. *Homogyno* – *Abietetum* Gruber 1978
14. Sapinières pyrénéennes à sphaignes (aff. *Betulo pubescentis* – *Abietetum*, sans *Picea abies*)

Référentiel :

BARDAT J., BIRET F., BOTINEAU M., BOULLET V., DELPECH R., GEHU J.-M., HAURY J., LACOSTE A., RAMEAU J.-C., ROYER J.-M., ROUX G. & TOUFFET J. 2004. — *Prodrome des végétations de France*. Muséum National d'Histoire naturelle, Paris, 171 p.

5.2 - DETAIL DES GROUPEMENTS

1. *Scillo lilio-hyacinthi* – *Fagetum buxetosum* Rivas-Martinez et al., 1991

Type d'habitat :

Hêtraies-sapinières à buis, basophiles, thermoclines, sur sol superficiel.

Corine Biotopes : 41.142

Synécologie :

Étage montagnard, en situation ombrophile mais bien exposée, sur roche mère carbonatée (calcaire, dolomie) et sol mince, en particulier dans les massifs externes.

Flore différentielle :

Buxus sempervirens, *Helleborus viridis* ssp. *occidentalis*, *Daphne laureola*, *Hepatica nobilis*, *Carex digitata*, *C. flacca*... Faible représentation des taxons du *Fagion*.

Chorologie :

Pyrénées.

Bibliographie :

BRAUN-BLANQUET J., ROUSSINE N., NEGRE R., 1952. — Les groupements végétaux de la France méditerranéenne (prodrome des groupements végétaux de la France) ; Ed. CNRS Montpellier,

GRUBER M., 1987. — Les hêtraies de l'*Helleboro* (*viridis*)-*Fagetum* O. Bolos (1948) 1957 des Hautes-Pyrénées. *Bull. Soc. Linn. Provence*, 39:91-97.

RIVAS-MARTÍNEZ S., BÁSCONES J.C., DÍAZ T.E., FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ F. & LOIDI J. 1991a. — Vegetación del Pireneo occidental y Navarra. *Itinera geobotanica*, 5, p.5-456.

2. *Scillo lilio-hyacinthi* – *Fagetum lathyretosum grandiflori* (Gruber 1973) Gruber 1978

Type d'habitat :

Hêtraies-sapinières neutro-acidiclines, à *Lathyrus occidentalis* ssp. *hispanicus*.

Corine Biotopes : 41.141

Synécologie :

Étage montagnard, en situation relativement abritée, sur roche mère carbonatée, mais sols décarbonatés.

Flore différentielle :

Campanula preclatoria, *Lathyrus occidentalis* ssp. *hispanicus*, *Daphne mezereum*, *Digitalis lutea*, *Festuca heterophylla*, *Geranium nodosum*... Diversité floristique très élevée.

Chorologie :

Pyrénées centro-orientales.

Bibliographie :

GRUBER M. 1973. — Les hêtraies et les sapinières des Pyrénées ariégeoises. *Pirineos*, 109 : 51-62.

GRUBER M. 1978. — *La végétation des Pyrénées ariégeoises et catalanes occidentales*. Thèse de l'Université de Droit, d'Économie et de Sciences (Aix-Marseille III), 305 p.

3. *Scillo lilio-hyacinthi* – *Fagetum isopyretosum* Br.-Bl. 1967

Type d'habitat :

Hêtraies-sapinières acidiclives, oro-hyperatlantiques, à *Thalictrella thalictroides*.
Corine Biotopes : 41.141

Synécologie :

Étage montagnard, en situation très exposée aux influences atlantiques (tendance hyperatlantique), sur roche mère carbonatée, mais sols profonds, lessivés, décarbonatés.

Flore différentielle :

Thalictrella thalictroides, *Saxifraga hirsuta*, *Blechnum spicant*, *Conopodium majus*...

Chorologie :

Pyrénées occidentales, jusque dans les Hautes-Pyrénées.

Bibliographie :

BRAUN-BLANQUET J. 1967. — Vegetationsskizzen aus dem baskenland mit ausblicken auf das weitere iberio-atlantikum, II. Teil ; Communication de la station international de géobotanique méditerranéenne et alpine n° 174. *Vegetatio*, 14 (1-4) : 1-126.

MONTERRAT-RECODER P. 1968. — Los hayedos navarros ; *Collection botanique*, VII (II) ; 845-893.

4. *Scillo lilio-hyacinthi* – *Fagetum saxifragetosum hirsuti* Vanden Berghen 1968

Type d'habitat :

Hêtraies-sapinières acidiclives, oro-hyperatlantiques, des sols compacts, à *Saxifraga hirsuta*.

Corine Biotopes : 41.141

Synécologie :

Étage montagnard, en situation très exposée aux influences atlantiques (tendance hyperatlantique), sur roche mère carbonatée, et sols compacts, moyennement bien drainés.

Flore différentielle :

Asplenium scolopendrium, *Saxifraga hirsuta*, *Blechnum spicant*, *Conopodium majus*...

Chorologie :

Pyrénées occidentales, jusque dans les Hautes-Pyrénées.

Bibliographie :

COMPS B., LETOUZEY J., TIMBAL J., 1986. — Etude synsystématique des hêtraies pyrénéennes et des régions limitrophes (Espagne et Piémont aquitain). *Phytocoenologia*. 14 (2) : 145-236.

VANDEN BERGHEN C. 1968. — Les forêts de la Haute Soule (Basses-Pyrénées). *Bull. Soc. Roy. Bot. Belgique*, 102 (1) : 107-132.

5. *Scillo lilio-hyacinthi* – *Fagetum vaccinietosum* (Gruber 1978) Vigo 1979 inval.

Type d'habitat :

Hêtraies-sapinières, mésoacidiphiles, oro-atlantiques, à *Euphorbia hyberna* et *Vaccinium myrtillus*.

Corine Biotopes : 41.141

Synécologie :

Etage montagnard, sur roche mère siliceuse (schistes, granit), mais à sols pourvus de bases.

Flore différentielle :

Luzula sylvatica, *Festuca altissima*, *Euphorbia hyberna*, *Vaccinium myrtillus*, *Deschampsia flexuosa*, *Lysimachia nemorum*, *Sorbus aucuparia*, *Stellaria holostea*... Flores acidiphile et neutrophile mêlées.

Chorologie :

Pyrénées.

Bibliographie :

GRUBER M. 1978. — *La végétation des Pyrénées ariégeoises et catalanes occidentales*. Thèse de l'Université de Droit, d'Economie et de Sciences (Aix-Marseille III), 305 p.

RIVAS MARTINEZ S., 1968 - Contribucion al estudio geobotanico de los bosques araneses (Pirineo ildense) ; *Publicaciones del Instituto de Biología Aplicada*, 45 : 81-105.

VIGO J. 1979. — Les forêts de conifères des Pyrénées catalanes : essai de révision phytosociologique. *Doc. Phytosociologiques NS*, 4 : 929-941.

6. *Scillo lilio-hyacinthi* – *Fagetum* Br.-Bl. ex O. Bolos 1957 *typicum*

Type d'habitat :

Hêtraies-sapinières, oro-atlantiques, neutro-acidiclives, à *Scilla lilio-hyacinthus*.

Corine Biotopes : 41.141

Synécologie :

Etage montagnard, sur roche mère siliceuse ou calcaire et sols profonds, décarbonatés, en particulier en position externe.

Flore différentielle :

Scilla lilio-hyacinthus, *Luzula sylvatica*, *Pulmonaria affinis*, *Veronica montana*... Flore acidiphile peu représentée, de même que les différentielles citées pour les autres groupements.

Chorologie :

Pyrénées.

Bibliographie :

BOLÒS O. DE, 1957. — Datos sobre la vegetacion de la vertiente septentrional de los Pirineos: observaciones acerca de la zonacion altitudinal en el valle de Aran. *Collection botanique*, V(II), 465-514.

RIVAS MARTINEZ S., 1968 - Contribucion al estudio geobotanico de los bosques araneses (Pirineo ildense) ; *Publicaciones del Instituto de Biología Aplicada*, 45 : 81-105.

7. *Luzulo niveae - Fagetum* (Susplugas 1942) Br.-Bl. 1952

Type d'habitat :

Hêtraies-sapinières montagnardes, acidiphiles, oriento-pyrénéennes (et du pourtour méditerranéen), à *Luzula nivea*.

Corine Biotopes : 41.122

Synécologie :

Etage montagnard, sur roche mère siliceuse et sols franchement acides (humus de forme moder).

Flore différentielle :

Flore strictement acidiphile. Différentielle géographique *Luzula nivea*.

Chorologie :

Pyrénées orientales (Pyrénées Orientales, Ariège en ce qui concerne le versant français).

Bibliographie :

BRAUN-BLANQUET J., ROUSSINE N., NEGRE R., 1952. — Les groupements végétaux de la France méditerranéenne (prodrome des groupements végétaux de la France) ; Ed. CNRS Montpellier,

SUSPLUGAS J., 1942. — Le sol et la végétation dans le Haut-Vallespir (Pyrénées Orientales) ; Numéro 79 des communications de la station internationale de géobotanique méditerranéenne et alpine, Ed. Imprimerie de la Charité, Montpellier, 224 p.

8. « *Luzulo – Fagetum pyrenaicum* » Comps *et al.*, 1986 inval.

Type d'habitat :

Hêtraies-sapinières montagnardes, acidiphiles, des Pyrénées centrales et occidentales, à *Luzula nivea*.

Corine Biotopes : 41.122

Synécologie :

Etage montagnard, sur roche mère siliceuse et sols franchement acides (humus de forme moder).

Flore différentielle :

Flore strictement acidiphile. Essentiellement différenciées négativement.

Chorologie :

Pyrénées centrales et occidentales (géovicariant du *Luzulo niveae – Fagetum*).

Bibliographie :

COMPS B., LETOUZEY J., TIMBAL J., 1986. — Etude synsystématique des hêtraies pyrénéennes et des régions limitrophes (Espagne et Piémont aquitain). *Phytocoenologia*. 14 (2) : 145-236.

9. *Silene rupestris* – *Fagetum* Savoie 1996 inval.

Type d'habitat :

Hêtraies (-sapinières) montagnardes, acidiphiles, xéroclines, à *Silene rupestris*.
Corine Biotopes : 41.122

Synécologie :

Étage montagnard, sur roche mère siliceuse et sols franchement acides (humus de forme moder).

Flore différentielle :

Teucrium scorodonia, *Silene rupestris*, *Quercus petraea*, *Genista pilosa*...

Chorologie :

Pyrénées centrales ...

Bibliographie :

SAVOIE J.-M. 1996. — *Rapprochement entre types de stations et habitats forestiers des Pyrénées centrales*. ONF, 107 p. + 28 tab.

10. *Goodyero* - *Abietetum* (O. Bolos 1957) Rivas-Mart. 1968

Type d'habitat :

Sapinières-hêtraies montagnardes, hyperacidiphiles, à *Galium rotundifolium*.
Corine Biotopes : 42.113

Synécologie :

Étage montagnard, en station hyperacide, en condition plus ou moins abritée (notamment secteurs internes), en situation mésophile à hygrocline.

Flore différentielle :

Galium rotundifolium, *Goodyera repens*, *Dryopteris dilatata*, *Luzula pilosa*, *Lonicera nigra*, pyroles... Faible représentation du hêtre.

Chorologie :

Pyrénées ...

Bibliographie :

BOLOS O. DE, 1957. — Datos sobre la vegetacion de la vertiente septentrional de los Pirineos: observaciones acerca de la zonacion altitudinal en el valle de Aran. *Collection botanique*, V(II), 465-514.

RIVAS MARTINEZ S., 1968 - Contribucion al estudio geobotanico de los bosques araneses (Pirineo ilderdense) ; *Publicaciones del Instituto de Biologia Aplicada*, 45 : 81-105.

11. *Seslerio – Fagetum pyrenaicum* Vanden Berghen 1968

Type d'habitat :

Hêtraies-sapinières oro-atlantiques, calcicoles, à *Sesleria caerulea*.
Corine Biotopes : 41.16

Synécologie :

Étage montagnard, en exposition fraîche, sur roche carbonatée et sol peu épais (édapho-mésoxérophile).

Flore différentielle :

Sesleria caerulea, *Festuca gautieri* ssp. *scoparia*, *Carex ornithopoda*, *Brachypodium rupestre*, *Laserpitium latifolium*, *L. nestleri*, *Sorbus aria*...

Chorologie :

Pyrénées.

Bibliographie :

GRUBER M., 1987. — Les hêtraies de l'*Helleboro (viridis)-Fagetum* O. Bolos (1948) 1957 des Hautes-Pyrénées. *Bull. Soc. Linn. Provence*, 39:91-97.

VANDEN BERGHEN C. 1968. — Les forêts de la Haute Soule (Basses-Pyrénées). *Bull. Soc. Roy. Bot. Belgique*, 102 (1) : 107-132.

12. *Coronillo emeri – Abietetum albae* Rivas-Martinez et al., 1991

Type d'habitat :

Hêtraies-sapinières thermoclines, calcicoles, à buis.
Corine Biotopes : 41.16

Synécologie :

Étage montagnard, en exposition chaude, sur roche carbonatée et sur sol généralement mince.

Flore différentielle :

Buxus sempervirens, *Coronilla emeris*, *Rubia peregrina*, *Viburnum lantana*, *Helleborus foetidus*...

Chorologie :

Pyrénées.

Bibliographie :

GRUBER M. 1978. — *La végétation des Pyrénées ariégeoises et catalanes occidentales*. Thèse de l'Université de Droit, d'Économie et de Sciences (Aix-Marseille III), 305 p.

RIVAS-MARTÍNEZ S., BÁSCONES J.C., DÍAZ T.E., FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ F. & LOIDI J. 1991b. — Sintaxonomía de los hayedos del suroccidentente de Europa. *Itinera geobotanica*, 5, p.457-480.

VILLAR L., ASEGINOLAZA C., GÓMEZ D., MONTSERRAT G., ROMO A., URIBE P. 1990. — Los hayedos prepirenaicos aragoneses : Fitosociología, Fitotopografía y conservación. *Acta Bota Malacitina*, 15 : 283-257.

13. *Homogyno – Abietetum* Gruber 1978

Type d'habitat :

Sapinières pyrénéennes, hyperacidiphiles, à *Rhododendron ferrugineum*.
Corine Biotopes : 42.1331

Synécologie :

Étage montagnard supérieur et subalpin inférieur, en exposition froide, sur sol très acide (humus de forme moder à dysmoder).

Flore différentielle :

Rhododendron ferrugineum, *Pinus uncinata*, *Homogyne alpina*, *Rosa pendulina*, *Melampyrum sylvaticum*, *Athyrium distentifolium* ...

Chorologie :

Pyrénées.

Bibliographie :

GRUBER M. 1978. — *La végétation des Pyrénées ariégeoises et catalanes occidentales*.
Thèse de l'Université de Droit, d'Économie et de Sciences (Aix-Marseille III), 305 p.

14. aff. *Betulo pubescentis - Abietetum albae* (Zoller 1956) Lemée 1995

Type d'habitat :

Sapinières pyrénéennes hyperacidiphiles, mésohygrophiles, à sphaignes.
Corine Biotopes : 42.13

Synécologie :

Étage montagnard et subalpin inférieur, sur sol engorgé, en exposition froide ou sur replats, sur roche mère siliceuse.

Flore différentielle :

Sphagnum quinquefarium, *S. squarrosum*, *S. denticulatum*, *S. palustre*, *Polytrichum commune*...

Chorologie :

Pyrénées.

Bibliographie :

—

5.3 - TABLEAU RECAPITULATIF DES GROUPEMENTS PYRENEENS A SAPIN

Tableau 1 - Répartition des groupements pyrénéens à sapin selon le niveau trophique et hydrique

Niveau hydrique	Niveau trophique					
	Très pauvre (hyperacidiphile)	Pauvre (acidiphile)	Assez pauvre à assez riche (acidicline)	Riche (neutrophile)	Riche (calcique)	Calcaire
Très sec	-	-	-	-	-	-
Sec (mésoxérophile)	- pineraie	(9. <i>Silene rupestris</i> - <i>Fagetum</i>)	-	-	12. <i>Coronillo</i> - <i>Abietetum</i> 11. <i>Seslerio</i> - <i>Fagetum pyrenaicum</i>	-
Assez sec à mésophile	13. <i>Homogyno</i> - <i>Abietetum</i> (subalpin) 10. <i>Goodyero</i> - <i>Abietetum</i> (montagnard)	7. <i>Luzulo niveae</i> - <i>Fagetum</i> : PO 8. <i>Luzulo</i> - <i>Fagetum pyrenaicum</i> : PC 10. <i>Goodyero</i> - <i>Abietetum</i> : Pyrénées internes	3. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum isopyretosum</i> : PA 6. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum typicum</i> : PC & PO	2. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum lathyretosum grandiflori</i> : PC 6. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum typicum</i> : PC & PO	1. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum buxetosum</i> : sols minces	-
Frais (hygrocline)	13. <i>Homogyno</i> - <i>Abietetum</i> (subalpin) 10. <i>Goodyero</i> - <i>Abietetum</i> (montagnard)	10. <i>Goodyero</i> - <i>Abietetum</i>	4. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum saxifragetosum hirsuti</i> : PA 5. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum abietetosum</i> : PC & PO	-	-	-
Assez humide (mésohygrophile)	14. Sapinière à sphaignes (non décrite)	-	-	-	-	-
Toujours humide	-	-	-	-	-	-

Légende : PO : Pyrénées-Orientales ; PC : Pyrénées centrales ; PA : Pyrénées-Atlantiques

5.4 - INTERPRETATION DES RELEVÉS DE SAPINIÈRES DE SAINTE CROIX VOLVESTRE (09)

On trouvera ci-dessous les relevés effectués par Pierre Gonin (Gonin, 2001) dans les sapinières de Sainte-Croix Volvestre, à l'occasion du catalogue des stations forestières du Plantaurel. Le tri phytosociologique de ces relevés met en évidence :

- qu'aucun de ces relevés ne se rattache à une des unités de sapinières de montagne identifiée lors de l'analyse bibliographique ci-dessus ;
- que les relevés de sapinières de Sainte Croix se distribuent sur trois associations végétales distinctes : un groupement du *Fraxino-Quercion* (frênaie hygrocline de fond de vallon), le *Pulmonario affinis-Fagetum* (groupement de hêtraie-chênaie collinéenne, basophile), l'*Androsaemo-Fagetum* (groupement de hêtraie-chênaie collinéenne acidiline) et le *Blechno-Quercetum* (groupement de hêtraie-chênaie collinéenne, acidiphile).

Phytosociologiquement, on constate donc que le sapin ne forme à Sainte Croix Volvestre que des faciès d'associations forestières collinéennes du piémont pyrénéen à large répartition géographique. On ne retrouve notamment pas d'éléments floristiques nettement montagnards (ou très peu : noter le surprenant *Galium rotundifolium* ?).

Nom latin abrégé	Strate	225	224	226	227	228	229	230	345	347	349	231	233	346	232	234	344
<i>Abies alba</i>	t	4	2	4	3	3	3	3	2	+	2	3	4	3	4	5	4
<i>Castanea sativa</i>	t			1	2	2	2		2		3	1	2	2	2	2	4
<i>Fagus sylvatica</i>	t		4	3				3	+			2	3	2	3		1
<i>Prunus avium</i>	t			1	2	1			+			1			2		
<i>Fraxinus excelsior</i>	t	2				2			2	5	2						
<i>Quercus robur</i>	t			2		2		2				1					
<i>Populus tremula</i>	t				2	1											
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	t			1		2											
<i>Betula pendula</i>	t																1
<i>Quercus petraea</i>	t											1					
<i>Sorbus torminalis</i>	t					+											
<i>Fraxino - Quercion</i> et et diff. hygrophiles																	
<i>Carex pendula</i>	h	3				+			+								
<i>Veronica montana</i>	h	+							+	+		+					
<i>Circaea lutetiana</i>	h	1							+	2							
<i>Symphytum tuberosum</i>	h	2															
<i>Angelica sylvestris</i>	h	+															
<i>Festuca gigantea</i>	h	+															
<i>Scrophularia aquatica</i>	h	+															
<i>Carex remota</i>	h	+															
<i>Cardamine raphanifolia</i>	h	2	1														
<i>Athyrium filix-femina</i>	h	+	+					+	1	1	2						+
<i>Cardamine pratensis</i>	h		+								+						
<i>Galium palustre</i>	h								+	+							
<i>Myosotis scorpioides</i>	h									+							
<i>Pulmonario affinis - Fagetum</i>																	
<i>Sanicula europaea</i>	h	1	2			+		1				1					
<i>Clematis vitalba</i>	a	+	+	+													
<i>Pulmonaria affinis</i>	h	1	1			+											
<i>Mercurialis perennis</i>	h	1	1									+					
<i>Lamium galeobdolon</i>	h	+	1							2							
<i>Milium effusum</i>	h	+	+														
<i>Arum sp.</i>	h	+	+						1	+	+						
<i>Carex flacca</i>	h					1				+	+						
<i>Ligustrum vulgare</i>	a								+								
<i>Androsaemo - Carpinenion</i>																	
<i>Tamus communis</i>	h	1	1	+	1	1	+	1	+	+	+	1	+				+
<i>Ruscus aculeatus</i>	a	+	+	1	1	1	1		1		+	1	+	1	+		
<i>Polystichum setiferum</i>	h	3	4	2	1	+		+	1	2		+	1				
<i>Rubia peregrina</i>	h		+	+	1	1											

5.5 - REPARTITION PHYTOSOCIOLOGIQUE DES SAPINIÈRES ECHANTILLONNÉES

(voir classement détaillé en annexe 7)

5.5.1 - RELEVÉS EFFECTUÉS DANS LES PYRÉNÉES

Relevés rattachés au montagnard et au subalpin : parmi les 45 relevés pyrénéens, 37 sapinières se classent dans les étages montagnard ou subalpin (voir tab. 2).

Tableau 2 - Répartition des 37 relevés effectués dans les étages montagnard et subalpin des Pyrénées parmi les groupements pyrénéens à sapin (en rouge : nombre de relevés)

Niveau hydrique	Niveau trophique					
	Très pauvre (hyperacidophile)	Pauvre (acidiphile)	Assez pauvre à assez riche (acidicline)	Riche (neutrophile)	Riche (calcique)	Calcaire
Très sec	-	-	-	-	-	-
Sec (mésoxérophile)	- pineraie	(9. <i>Silene rupestris</i> - <i>Fagetum</i>) : 1	-	-	12. <i>Coronillo</i> – <i>Abietetum</i> : 0 11. <i>Seslerio</i> - <i>Fagetum pyrenaicum</i> : 0	-
Assez sec à mésophile	13. <i>Homogyno</i> - <i>Abietetum</i> (subalpin) : 0 10. <i>Goodyero</i> - <i>Abietetum</i> (montagnard) : 0	7. <i>Luzulo niveae</i> - <i>Fagetum</i> : PO : 11 8. <i>Luzulo</i> - <i>Fagetum pyrenaicum</i> : PC : 8 10. <i>Goodyero</i> - <i>Abietetum</i> : Pyrénées internes : 0	3. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum isopyretosum</i> : PA : 0 6. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum typicum</i> : PC & PO : 3	2. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum lathyretosum grandiflori</i> : PC : 1 6. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum typicum</i> : PC & PO : 5	1. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum buxetosum</i> : sols minces : 1 (montagnard inf.)	-
Frais (hygrocline)	13. <i>Homogyno</i> - <i>Abietetum</i> (subalpin) : 0 10. <i>Goodyero</i> - <i>Abietetum</i> (montagnard) : 0	10. <i>Goodyero</i> – <i>Abietetum</i> : 0	4. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum saxifragetosum hirsuti</i> : PA : 1 5. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum abietetosum</i> : PC & PO : 4	-	-	-
Assez humide (mésohygrophile)	14. Sapinière à sphaignes (non décrite) : 0	-	-	-	-	-
Toujours humide	-	-	-	-	-	-
NON CLASSES	<p>Relevés non classés au niveau d'une association végétale car fragmentaires ou non typiques (le rattachement nécessiterait des relevés complémentaires dans d'autres stades dynamiques ou dans des formations en contact avec la sapinière) : 2 relevés dans le montagnard</p> <ul style="list-style-type: none"> - AMEL = rattachement à l'alliance du <i>Luzulo</i> – <i>Fagion</i> (relevé le plus oriental, situé dans l'aire de répartition du <i>Luzulo niveae</i> – <i>Fagetum</i>, mais le relevé floristique n'est pas suffisamment caractéristique pour le classer dans cette association) ; - LARU = rattachement à la sous alliance du <i>Scillo</i> – <i>Fagenion</i>. 					

Deux relevés du *Luzulo niveae* - *Fagetum* sont nettement dans le montagnard supérieur, en limite avec le subalpin : BOLQ en Cerdagne (en situation climatique plus interne, ce qui entraîne une remontée des étages de végétation) et CONF dans le Canigou. Le seul relevé qui peut être classé dans le **subalpin est PLAN** dans les Pyrénées orientales, appartenant également au *Luzulo niveae* – *Fagetum*, mais qui a une végétation de transition avec *Homogyno* - *Abietetum* du subalpin.

Relevés en limite entre le collinéen et le montagnard : 2 relevés des Corbières occidentales sont situés en limite des étages collinéen et montagnard (le rattachement définitif nécessiterait des relevés complémentaires) :

- ARQU = rattachement soit à la sous-alliance du *Scillo - Fagenion* située au montagnard ou à une association collinéenne ; la difficulté de rattachement est cohérente avec les données climatiques qui situent ce relevé à la limite des étages montagnard et collinéen (voir 6).
- CAMP = *Scillo - Fagetum buxetosum*.

Relevés rattachés au collinéen : les 6 autres sapinières pyrénéennes appartiennent à des associations collinéennes :

- *Blechno - Quercetum* : **2 relevés**
- *Androsaemo - Fagetum* : **4 relevés**

Ce sont les 4 sapinières du Volvestre (VOLV, VOLS, CONT, MONT), celle située en contrebas des sapinières de Bélesta à 550 m (LESP) et une sapinière située dans les Pyrénées centrales (ASPE) à 870 m.

Parmi les associations identifiées dans les Pyrénées, **5 associations ne sont pas représentées dans l'échantillonnage**, correspondant aux situations écologiques extrêmes, notamment au niveau de l'alimentation en eau :

- Sapinière à sphaignes,
- *Homogyno - Abietetum*,
- *Goodyero - Abietetum*,
- *Coronillo - Abietetum*,
- *Seslerio - Fagetum pyrenaicum*.

5.5.2 - RELEVES EFFECTUES HORS DES PYRENEES

Les **7 relevés** effectués hors des Pyrénées peuvent se classer dans l'étage **montagnard** :

- Corse :
 - *Luzulo-Fagion* basal (relevé floristique permettant un rattachement au niveau d'une alliance, mais pas d'une association) : **1**
- Massif central :
 - *Luzulo-Fagion* basal (relevé floristique permettant un rattachement au niveau d'une alliance, mais pas d'une association) : **2**
 - *Luzulo niveae - Fagetum* : **2**
- Alpes du sud :
 - *Cephalanthero - Fagion* : **1**
 - Non classé : **1**

6 – STATIONS ET CLIMAT

Auteurs : Pierre GONIN, Institut pour le Développement Forestier, pierre.gonin@cnpf.fr
Grégory SAJDAK, Institut pour le Développement Forestier, gregory.sajdak@cnpf.fr

En parallèle à l'analyse phytosociologique (voir chap. 5), une analyse stationnelle a été réalisée sur l'ensemble des relevés grâce aux données recueillies sur chaque placette. Cette analyse a été complétée par une étude climatique à partir des données suivantes :

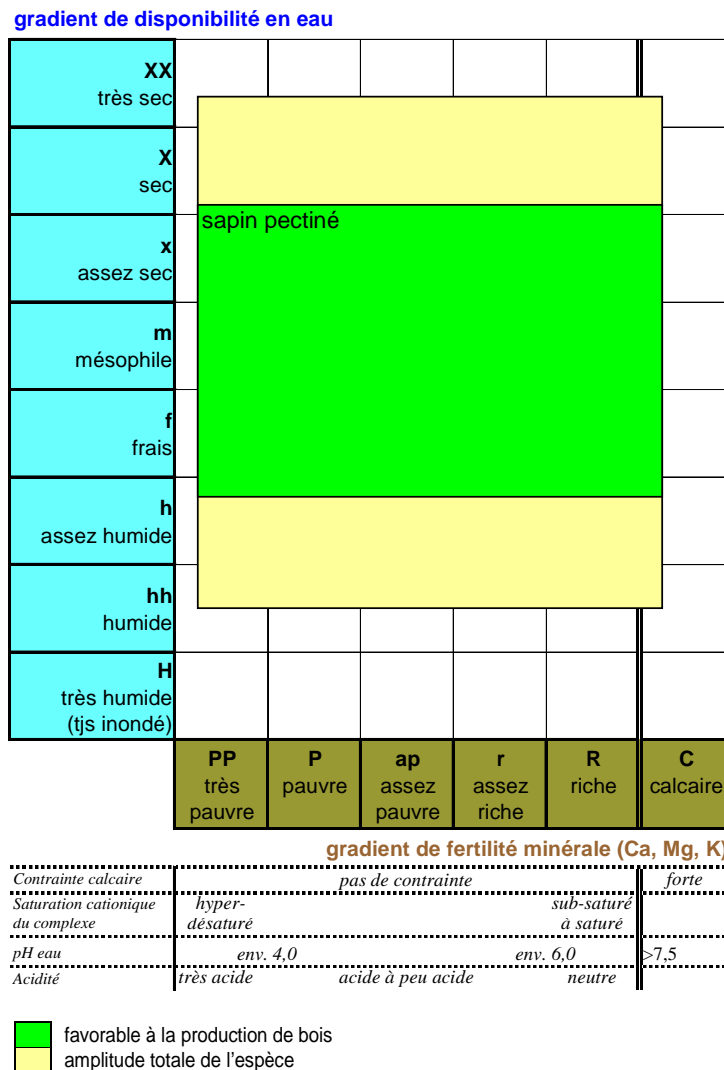
- A Sainte Croix Volvestre (09) :
 - * températures journalières entre juin 2010 et mars 2012, à proximité de la sapinière de Sainte Croix (lieu-dit Cabanes, à 320 m d'altitude), grâce à l'implantation d'une station météorologique automatique par l'IDF ;
 - * précipitations mensuelles sur la période 1990-2011, également à proximité de la sapinière de Sainte Croix (lieu-dit Maharage, à 400 m d'altitude), grâce aux relevés de M. Chevalier-Auriac qui nous a fourni gracieusement ses données (station manuelle) ;
- A Saint Girons (station Lorp-Sentaraille située à 411 m, Ariège), plus proche station Météo France par rapport à Sainte Croix Volvestre (13 km au sud-ouest) :
 - * précipitations mensuelles sur la période 1990-2009 et température moyenne mensuelle entre juil. 2010 et nov. 2011 ;
 - * précipitations et températures moyennes mensuelles sur la période 1960-1990 ;
- Sur l'ensemble des relevés réalisés pour l'étude génétique :
 - * température moyenne mensuelle, pluviosité mensuelle sur la période 1961-1990, calculées avec le modèle Hélios (pas de 1 km) qui prend en compte la pente et l'exposition du terrain (Agro-Paris-Tech, Piedallu et *al.*). Certaines données sont éloignées de la réalité locale, en particulier dans le Luchonnais, mais cela n'affecte pas l'analyse globale.
 - * température moyenne mensuelle, pluviosité mensuelle et ETP sur la période 1961-1990, calculées avec le modèle Aurélhy de Météo France (Analyse Utilisant le RELief pour l'Hydrométéorologie = méthode d'interpolation utilisant le relief pour améliorer la cartographie des précipitations) ; l'analyse avec Aurélhy n'est pas présentée car les conclusions sont globalement similaires, seuls les seuils changent (en particulier les températures moyennes sont en général inférieures de 1 à 2 °C), avec ponctuellement des écarts importants sur les précipitations ou les températures.

6.1 – EXIGENCES STATIONNELLES ET CLIMATIQUES DU SAPIN PECTINE

Le sapin est très résistant au froid, ce qui explique sa présence en altitude. Il est cependant très sensible aux gelées de printemps, surtout à basse altitude. Le sapin est exigeant en matière d'humidité atmosphérique qui doit être élevée et constante tout au long de l'année, certaines populations pouvant cependant supporter des périodes de sécheresse. En hiver, il est sensible à la sécheresse survenant lors de redoux quand le sol est encore gelé.

Le sapin pectiné tolère un large éventail de conditions de sol, tant pour la teneur et la disponibilité en éléments nutritifs que pour l'acidité. Par contre, il ne supporte pas les sols compacts ou hydromorphes et les meilleures croissances sont observées sur les sols profonds, riches en éléments nutritifs, de texture fine à moyenne et bien drainés (Rameau *et al.*, 1993 ; voir fig. 1).

Figure 1 - Ecogramme du Sapin pectiné
(Rameau *et al.*, 1993)



Le sapin pectiné est très tolérant à l'ombrage et peut demeurer pendant des décennies sous le couvert d'arbres plus âgés. C'est une espèce longévive qui peut dépasser 300 ans. La dispersion des graines est très efficace, ce qui lui permet de coloniser des milieux favorables, même en dehors de ses limites climatiques.

Climat et étages de végétation dans les Pyrénées

Le sapin pectiné est une espèce montagnarde qui forme des peuplements purs ou mixtes avec le hêtre dans les Pyrénées, entre **700 et 1700 m en exposition nord, 1000 et 1900 m en exposition sud**.

Il est présent sur tout le versant nord des Pyrénées, sous des climats variés : ce versant est soumis à l'influence atlantique dominante, combinée à l'influence méditerranéenne dans sa partie orientale, et à l'influence continentale dans certains secteurs plus abrités. Ces influences se combinent de façon variable le long de la chaîne, ce qui conduit à distinguer habituellement trois secteurs sur le versant nord des Pyrénées :

- occidental : soumis à une influence atlantique marquée,
- central : soumis à l'influence atlantique dégradée,
- oriental : soumis à l'influence méditerranéenne.

Dans le détail, le relief va influencer le régime des précipitations. Les premiers reliefs au nord sont plus arrosés, pouvant créer des situations d'abris à l'arrière. A l'opposé, certaines hautes vallées abritées des flux d'ouest par des reliefs (Néouvielle...) ont un climat de type continental ou interne, plus secs (Dupias, 1985).

Parmi les différents étages de végétation qui se succèdent dans les Pyrénées, les sapinières occupent principalement le montagnard, mais elles peuvent déborder au subalpin inférieur (Gruber, 1980 ; Dupias 1985). Ces étages de végétation sont essentiellement déterminés par la température, aussi les limites altitudinales peuvent varier en fonction de l'exposition et du confinement, mais aussi du caractère interne et continental qui entraîne une remontée des étages de végétation. Classiquement, les limites admises par les auteurs sont les suivantes dans les Pyrénées (Gruber, 1980 ; Ozenda, 1980 ; Dupias, 1985 ; Gamisans, 1999) :

Tableau 1 : limites des étages de végétation dans les Pyrénées

	Tm (temp. moy. an.)		Limites d'altitude	
	Rameau <i>et al.</i> (1993)	Gamisans (1999) en région eurosibérienne	Expo. nord	Expo. sud
étage collinéen	8 à 12 °C	10 à 13 °C		
			700-900 m	1000-1200 m
étage montagnard	4 à 8 °C	7 à 10 °C		
			1600-1700 m	1800-1900 m (idem dans les zones internes ou continentales)
étage subalpin	-2 à 4 °C	4 à 7 °C		

Remarquons que Rivas-Martinez (cité par Gamisans, 1999) délimite l'étage oroméditerranéen (équivalent du montagnard et subalpin inférieur pour la partie méditerranéenne de la péninsule ibérique) par $T_m = 4$ à 8 °C.

6.2 - CONDITIONS CLIMATIQUES A STE CROIX VOLVESTRE

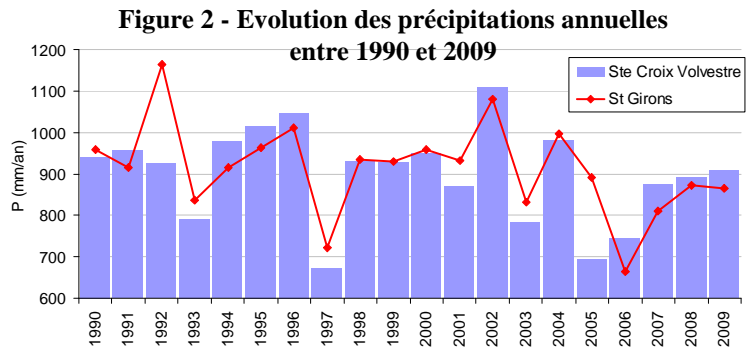
Afin de mieux comprendre la présence du sapin pectiné dans la forêt de Ste Croix Volvestre, surtout à cette altitude (350 m), nous en avons déterminé les caractéristiques climatiques, que nous avons ensuite comparées avec celles des autres sapinières pyrénéennes.

En l'absence de station Météo-France à Ste Croix, nous avons utilisés les données disponibles localement (précipitations sur 20 ans et température pendant 1 année) et les données du modèle Hélios pour les comparer avec celles de la station Météo-France la plus proche et la plus comparable : St Girons (Lorsp-Sentaraille).

6.2.1 - LES PRECIPITATIONS

Sur la période 1990 – 2009, les précipitations annuelles ont été de **900 mm** à Ste Croix Volvestre, soit une valeur très proche de celle observée à St Girons : 913 mm, sans différence significative

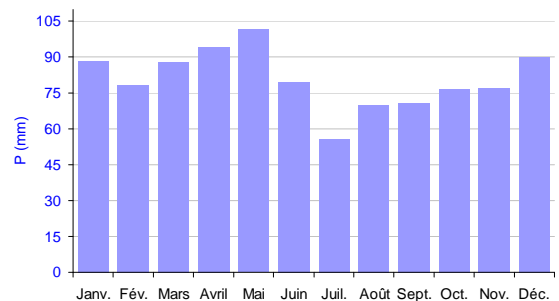
($p < 0.05$ et $r = 0.74$). A noter une forte variabilité interannuelle autour de cette valeur moyenne : jusqu'à 200 mm/an en plus ou en moins (voir fig. 2). Précisons que deux années présentent de fortes différences entre St Girons et Ste Croix Volvestre (1992 et 2005), peut-être à cause de la neige (pluviomètre à Ste Croix non adapté à la mesure de la neige ?), mais avec un impact limité sur les résultats.



Sur la période trentenaire précédente (60-90), les précipitations annuelles de **St Girons** ont été plus élevées : **1034 mm/an**. Pour la même période (61-90), les valeurs données par le modèle Hélios à **Ste Croix Volvestre** sont légèrement plus faibles : **970 mm/an** et semblent sous-estimer la pluviosité.

Les précipitations sont bien réparties tout au long de l'année (voir fig. 3), avec un minimum estival et un maximum au printemps, soit un régime de précipitations clairement d'influence océanique.

Figure 3 - Précipitations mensuelles à Ste Croix Volvestre (modèle Hélios 61-90)



6.2.2 - LA TEMPERATURE

Pendant l'année de relevé des températures à Ste Croix (juil. 2010 à oct. 2011), l'hiver fut plus froid à Ste Croix qu'à St Girons (-1,5 °C en moyenne de déc. à fév. et -2,0°C en déc.), ce qui pourrait s'expliquer par la situation en fond de vallon (masque) de la station météo. Le reste de l'année, en particulier l'été, les températures furent comparables (voir fig. 4). De ce fait, la moyenne annuelle (oct. 2010 à sept. 2011) est légèrement plus faible à **Ste Croix : 11,9°C par rapport à St Girons : 12,5 °C** (-0,58 °C), mais l'écart ne porte pas sur la période de végétation. Notons que la moyenne trentenaire à St Girons est plus faible : **11,8 °C**.

Figure 4 - Evolution des températures mensuelles à Ste Croix Volvestre et St Girons de juil. 2010 à oct. 2011 et comparaison avec la moyenne trentenaire de St Girons

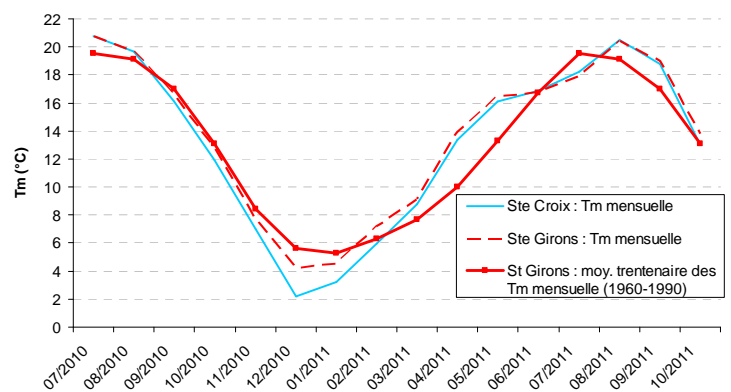
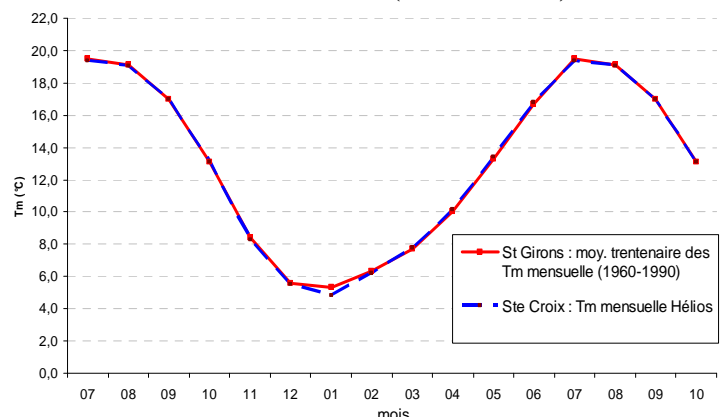


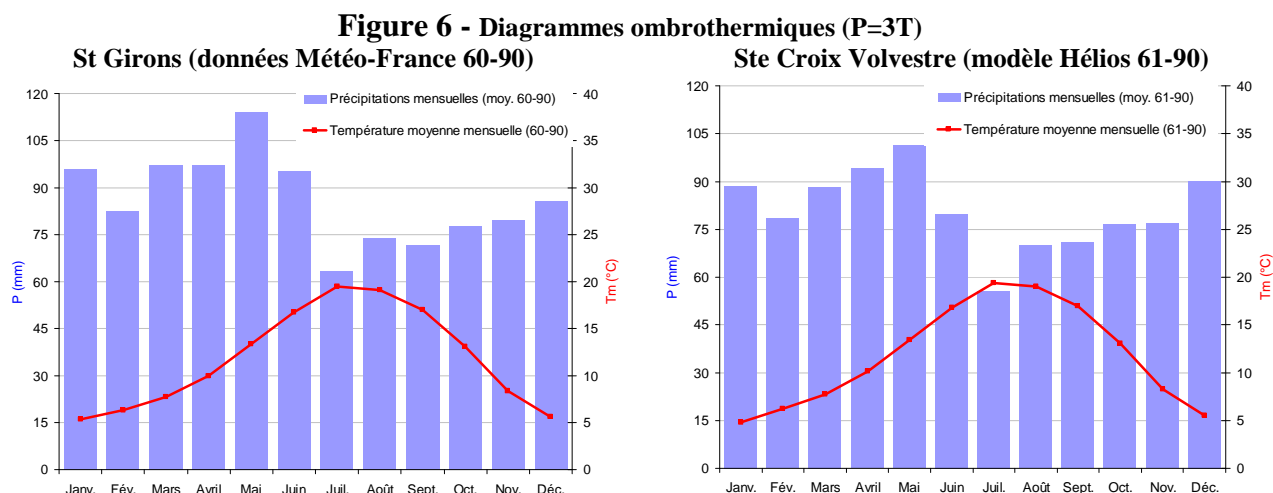
Figure 5 - Evolution des températures mensuelles à Ste Croix Volvestre (modèle Hélios) et



6.2.3 - LA SUBSECHERESSE ESTIVALE

Les diagrammes ombrothermiques, représentant sur la même figure les précipitations mensuelles et les températures moyennes, permettent de mettre en évidence la subsécheresse estivale. Hors région méditerranéenne, on recherche la présence de **mois subsec** au sens de Gaussen, qui correspond à $P < 3T$.

Les résultats diffèrent entre St Girons et Ste Croix Volvestre car les précipitations données par le modèle Hélios à Ste Croix sont légèrement inférieures à celles de Météo-France à St Girons. De ce fait, juillet est très faiblement subsec à Ste Croix alors qu'il ne l'est pas à St Girons (voir fig. 6). Cette situation climatique limite, marque l'apparition d'un mois subsec l'été qui sera marqué seulement certaines années défavorables.



6.2.4 – CONCLUSION

Le climat de Ste Croix Volvestre est donc très proche de celui de St Girons, de type océanique avec des précipitations annuelles de l'ordre de **900 à 1000 mm**, une température moyenne annuelle proche de **12 °C** et l'apparition d'un **mois subsec peu marqué**. De telles conditions ne correspondent pas à celles que l'on trouve à l'étage montagnard, mais bien à l'**étage collinéen**. Ces résultats sont cohérents avec les relevés phytosociologiques qui classent la végétation parmi des associations collinéennes (voir chap. 5.4 et 5.5). Seules les situations les plus confinées en bordure de ruisseau, fraîches et humides, voient apparaître une flore montagnarde et révèlent que cette région a cependant des caractéristiques climatiques proches du montagnard.

6.2 - CARACTERISATION STATIONNELLE ET CLIMATIQUE DES SAPINIÈRES ECHANTILLONNÉES

6.2.1 - REPARTITION ECOLOGIQUE

Les placettes couvrent l'aire écologique du sapin pectiné la plus courante (voir fig. 7 et annexe 7). Seules les situations extrêmes au niveau hydrique n'ont pas été échantillonnées ; elles correspondent d'une part aux stations sèches, en particulier sur substrat calcaire et exposition chaude, d'autre part aux stations humides, en particulier en zone alluviale ou sur tourbière.

gradient de disponibilité en eau

XX très sec						
X sec						
x assez sec	3	4		1		
m mésophile	3	2	9	3	2	
f frais			8	6	4	
h assez humide						
hh humide						
H très humide (tjs inondé)						
	PP très pauvre	P pauvre	ap assez pauvre	r assez riche	R riche	C calcaire
	non ou faiblement calcaire pas de contrainte					contrainte forte

gradient de fertilité minérale (Ca, Mg, K)

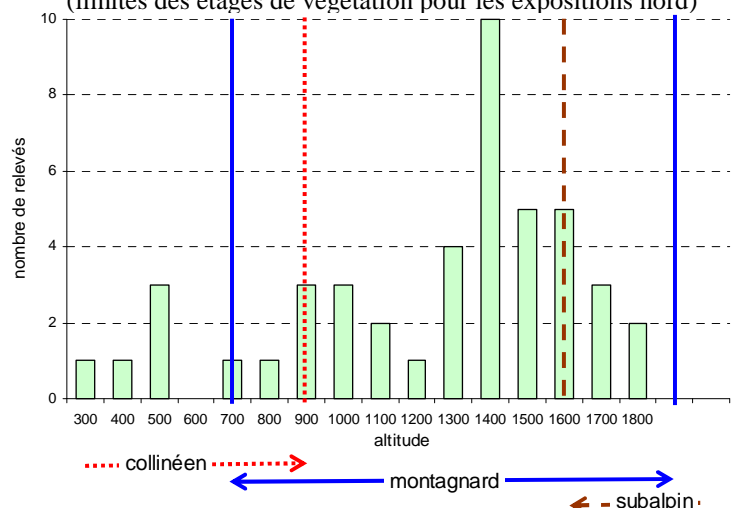
Figure 7 – Répartition des 45 placettes Pyrénées dans l'écogramme et comparaison avec l'aire écologique du sapin pectiné (nombre de relevés dans chaque situations écologiques)

Aires écologiques du sapin pectiné :
 - en vert = conditions suffisantes pour assurer la production de bois
 - en jaune clair = amplitude totale

6.2.2 - REPARTITION EN ETAGES BIOCLIMATIQUES

Au niveau altitudinal, les relevés s'échelonnent entre 348 et 1800 m, soit de l'étage de végétation collinéen à l'étage subalpin, la majorité des relevés étant situés au montagnard (voir fig. 8).

Figure 8 – Répartition des 45 placettes Pyrénées selon l'altitude (limites des étages de végétation pour les expositions nord)



La température étant déterminante dans la définition des étages bioclimatiques, les relevés ont été classés (voir fig. 9) selon la température moyenne annuelle donnée par le modèle Hélios (en général inférieure de 1 à 2 °C à celle donnée par Aurelhy) et comparés avec le classement issu de l'analyse phytosociologique (voir chap. 5.5) :

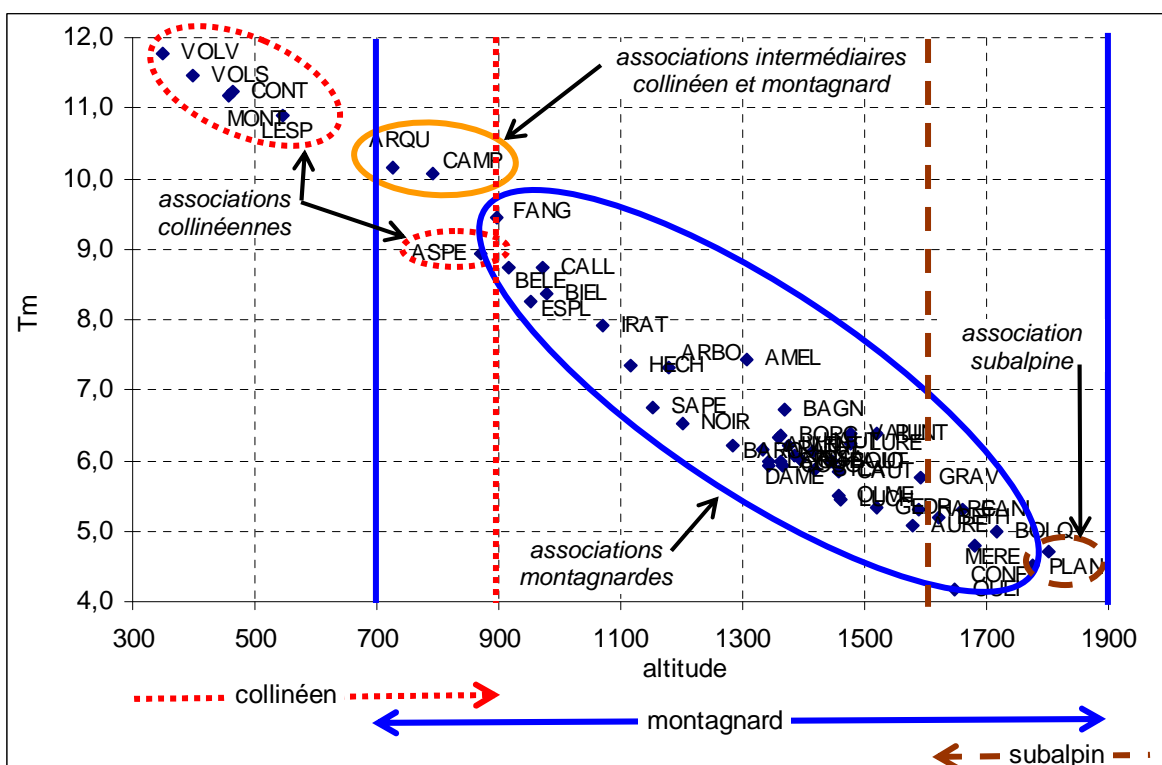
- **associations collinéennes** d'après l'analyse phytosociologique : 5 sapinières, dont 4 dans le Volvestre, ont nettement des caractéristiques de l'étage collinéen, avec **Tm = 11 à 12 °C** et altitudes comprises entre **350 et 550 m** ; le dernier relevé ASPE étant plus proche du montagnard avec Tm = 9 °C à 870 m ;
- **associations en limite entre le collinéen et le montagnard** d'après l'analyse phytosociologique : les 2 relevés concernés sont également intermédiaires sur la figure avec **Tm = 10 °C** et altitudes entre **700 et 800 m** ;
- **associations montagnardes** d'après l'analyse phytosociologique : ce groupe couvre l'ensemble du montagnard avec **Tm = 4,5 à 9,5 °C** et altitudes entre **900 et 1800 m** ;
- **association subalpine** d'après l'analyse phytosociologique : le seul relevé est situé à **1770 m** avec **Tm = 4,5 °C**.

Les résultats des classements phytosociologique et climatique sont cohérents et permettent d'apporter des informations sur les limites d'étages grâce au nombre élevé de sapinières échantillonnées, bien que l'échantillonnage soit bâti pour l'analyse génétique :

- **la limite entre les étages collinéen et montagnard** se situe entre **700 et 900 m** en versant nord, avec **Tm de l'ordre de 10 °C** (11 °C avec le modèle Aurelhy) ;
- **la limite entre les étages montagnard et subalpin** se situe entre **1700 et 1800 m** (altitudes élevées liées aux relevés des Pyrénées orientales en situation plus continentale), avec **Tm de l'ordre de 4,5 °C** (6 °C avec Aurelhy).

Ces résultats pourraient être précisés en complétant l'échantillonnage, mais ils sont conformes aux données bibliographiques pour l'altitude. Par contre, les températures limitant le montagnard (Tm = 4,5 à 10 °C) diffèrent de celles des auteurs : la limite haute est identique à celle de Gamisans (1999), mais supérieure à celle de Rameau *et al.* (1993) qui ne dépasse pas 8 °C ; inversement, la limite basse est proche de celle de Rameau, mais inférieure à celle de Gamisans qui est de 7 °C (rappelons que ces valeurs sont issues du modèle Hélios et sont inférieures aux températures Aurelhy).

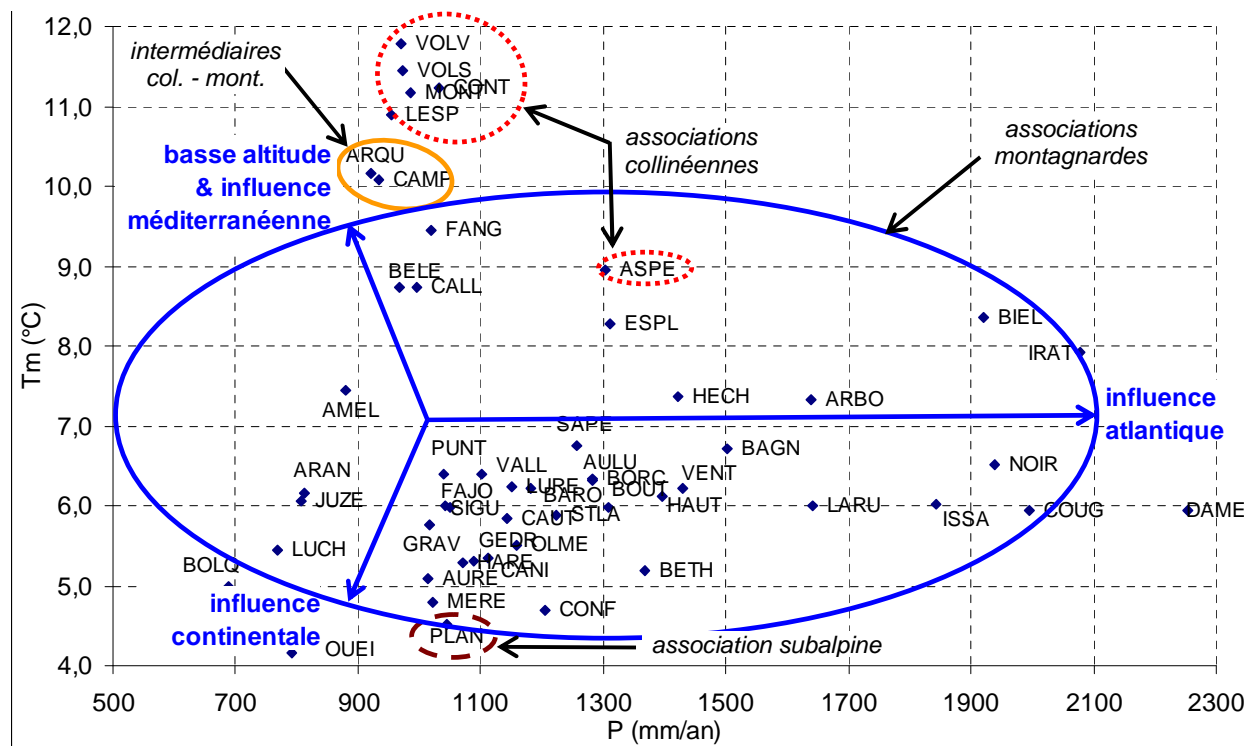
Figure 9 – Répartition des 52 relevés en fonction de la température moyenne annuelle et de l'altitude, regroupés par étages de végétation définis avec l'analyse phytosociologique



6.2.3 - REPARTITION SELON LES PRECIPITATIONS

La répartition des relevés en fonction de la température et des précipitations (voir fig. 10) permet aussi de distinguer les trois étages bioclimatiques : collinéen, montagnard et subalpin. Dans l'étage montagnard, le plus représenté, l'influence **atlantique** est nette sur les sapinières les plus occidentales (BIEL, IRAT, ISSA...), tandis que les plus faibles précipitations sont observées soit dans les zones plus internes, soumises à l'influence **continentale**, avec des températures assez faibles (BOLQ, MERE, AURE...), soit dans la partie plus orientales plus soumises à l'influence méditerranéenne, avec des températures plus élevées (FANG, CALL...), en particulier à basse altitude.

Figure 10 – Répartition des 52 relevés en fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations annuelles, regroupés par étages de végétation définis avec l'analyse phytosociologique



6.2.4 – POSITION CLIMATIQUES DES SAPINIÈRES DU VOLVESTRE

Au niveau climatique, les sapinières collinéennes du Volvestre se distinguent nettement des sapinières montagnardes, en particulier au niveau des températures. Leurs caractéristiques climatiques ne sont cependant pas très éloignées de certaines sapinières montagnardes avec lesquelles elles sont en continuité. On peut donc s'interroger sur les limites climatiques du sapin pectiné à basse altitude, qui semblent repoussées dans le Volvestre. Notons que certains paramètres climatiques n'ont pas été analysés, en particulier l'humidité atmosphérique qui pourrait jouer un rôle dans la répartition du sapin pectiné.

Ces observations nous amènent à nous interroger, d'une part sur les limites climatiques du sapin, d'autre part sur l'existence d'écotypes adaptés aux conditions de basses altitudes pour ces populations très anciennes comme le révèle l'étude palynologique (voir chap. 2.1).

6.3 - CONCLUSION SUR L'ÉCHANTILLONNAGE

L'échantillonnage couvre bien les Pyrénées du point de vue géographique, ce qui permet d'apprécier les liens de filiation entre les principales populations qui composent la chaîne. Cependant, chaque massif n'a pas pu être étudié en détail vu le nombre de relevés réalisés, l'échantillonnage ayant surtout été calibré pour tracer les grands traits de l'occupation du sapin dans les Pyrénées et avoir des points de comparaison avec la sapinière de Ste Croix Volvestre.

Les étages collinéen et montagnard ont été échantillonnés dans toutes leurs composantes climatiques. Par contre, l'étage subalpin est peu représenté malgré des sapinières échantillonnées à haute altitude (> 1650 m) mais qui se rattachent du point de vue floristique au montagnard (en particulier la sapinière de Bolquère).

La majorité des situations écologiques sont représentées, mais les extrêmes écologiques sont plus rares ou absents, notamment au niveau hydrique (voir chap. 5.5). Si cette situation a des conséquences limitées sur l'analyse de la diversité génétique neutre, il sera nécessaire de compléter l'échantillonnage pour analyser la diversité génétique adaptative et tenir compte des caractéristiques phytoécologique pour étendre le réseau des unités conservatoires.

En fonction des besoins d'étude complémentaire, l'échantillonnage pourra être complété au niveau des situations stationnelles absentes et des zones géographiques moins représentées.

7 – ANALYSE GENETIQUE

Auteurs : Bruno FADY, INRA Avignon – URFM, bruno.fady@avignon.inra.fr
Brigitte MUSCH, Conservatoire Génétique des Arbres Forestiers, musch@orleans.inra.fr

Des analyses génétiques ont été réalisées sur 52 peuplements qui sont en outre décrits au niveau phytosociologique et stationnel (voir chap. 4). Les premières interprétations portent essentiellement sur les Pyrénées. Elles seront complétées sur l'ensemble des massifs français avec des analyses en cours dans toutes les Unités conservatoires françaises.

7.1 - PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE ET METHODE DE GENOTYPAGE

Chaque sapinière échantillonnée est représentée par 30 arbres dominants, choisis au hasard et distants d'au moins 20 m pour éviter (ou au moins limiter) les risques d'apparentement entre deux arbres voisins. L'échantillonnage consiste en 3 prélèvements de cambium effectués en appliquant un emporte-pièce sur l'écorce en 3 points du tronc de l'arbre choisi. Le matériel, immédiatement congelé dans l'azote liquide, a été expédié à l'ONF-CGAF d'Orléans, en charge de l'extraction d'ADN.

Le génotypage a été réalisé par le CGAF et par l'INRA sur les mêmes échantillons d'ADN, mais avec des méthodes différentes et complémentaires. Le CGAF a utilisé la méthode des **microsatellites chloroplastiques (cpSSR)**, fragments d'ADN répétés portés par l'ADN chloroplastique, transmis par la voie paternelle par le pollen puis par les graines après fécondation. Le **génotype cpSSR d'un individu représente donc celui de son père**. Ces marqueurs sont très sensibles aux effets de goulot d'étranglement démographiques et sont souvent utilisés pour rendre compte de **l'évolution récente** des populations. L'INRA a utilisé la méthode des **microsatellites nucléaires (nSSR)**, fragments d'ADN portés par l'ADN nucléaire, issu de la reproduction sexuée, représentant donc à **parts égales une influence paternelle et maternelle**. Ces marqueurs permettent de rendre compte de **l'histoire évolutive** Quaternaire des populations ainsi que des **déséquilibres** dus à des irrégularités de reproduction et de flux de gènes asymétriques entre populations contemporaines.

Six marqueurs chloroplastiques ont été utilisés pour cette étude. L'amplification de ces marqueurs a mis en évidence un marqueur monomorphe sur l'ensemble des populations. Un deuxième marqueur qui a été conservé pour les analyses ne présente pas un profil de microsatellite. En effet, il est composé de 3 allèles séparés chacun de beaucoup de paires de bases. Il est plus sûrement dû à des insertions de taille variable au niveau de ce locus. L'amplification des cpSSR a été conduite en multiplexant par 3 les marqueurs. Le génotypage a été effectué sur un séquenceur ABI 3100 16 capillaires. La lecture des données obtenues après séquençage a été faite à l'aide du logiciel GeneMapper V3.7. Les données ainsi recueillies ont été analysées en utilisant les logiciels GenAIEx (Peakall et Smouse 2006) et Structure (Pritchard *et al.*, 2000).

Un ensemble de 10 locus nSSR polymorphes a pu être utilisé pour cette étude. L'amplification des nSSRs a été faite en multiplexant les amorces avant les réactions. Le génotypage nSSR a été réalisé sur un séquenceur ABI 3730. Les données ont été validées par deux relecteurs distincts et analysées en utilisant les logiciels GenAIEx (Peakall et Smouse 2006) et Structure (Pritchard *et al.*, 2000).

7.2 - RESULTATS DE L'ANALYSE nSSR DANS LE MASSIF PYRENEEN

Niveau intra-population

Les 10 locus nSSRs utilisés sont polymorphes dans chacune des 45 populations du massif pyrénéen. Le nombre moyen d'allèles par locus est de 19 (extrêmes variant de 6 à 36). La probabilité d'identité génétique entre deux individus d'une même population est nulle. La diversité moyenne observée est forte ($H_o = 0,595$) et comparable à celle attendue sous hypothèse de reproduction au hasard ($H_e = 0,617$), résultant en un taux de fixation (indication de la consanguinité) globalement non significatif ($F_{is} = -0,07$). Peu de populations originales se distinguent de par leur diversité intra-population, sauf la population ASPE qui présente la plus forte diversité ($H_e = 0,770$). La population BORG présente la plus faible diversité ($H_e = 0,472$). Les données par population sont indiquées dans les tableaux 1 et 2 en annexe 9.

Niveau inter-populations

Les résultats les plus marquants concernent la diversité entre populations, qui explique environ 12% de la variabilité génétique totale. La **diversité entre populations s'organise en deux grands ensembles**, l'un à l'ouest et l'autre à l'est de la vallée de Luchon située dans les Pyrénées centrales (voir fig. 1 et 2). Les populations LUCH, JUZE et BOUT sont intermédiaires entre ces deux grands ensembles.

Figure 1 – Probabilité des arbres d'appartenir à l'un des 2 groupes

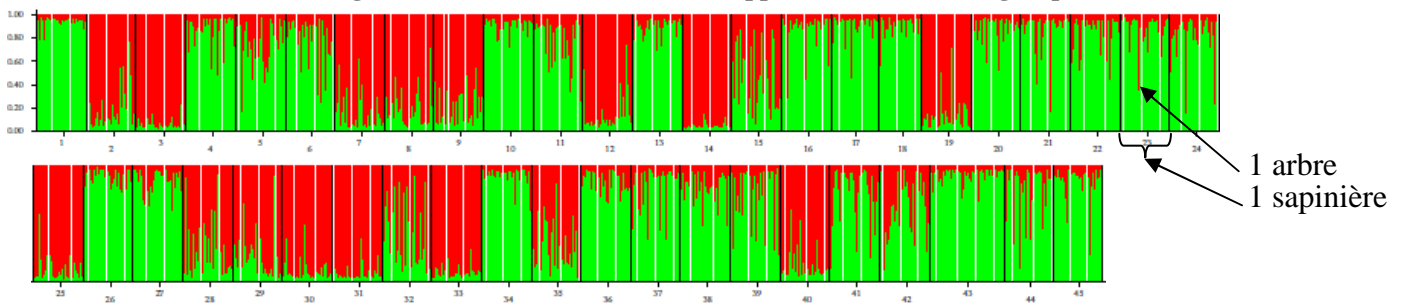
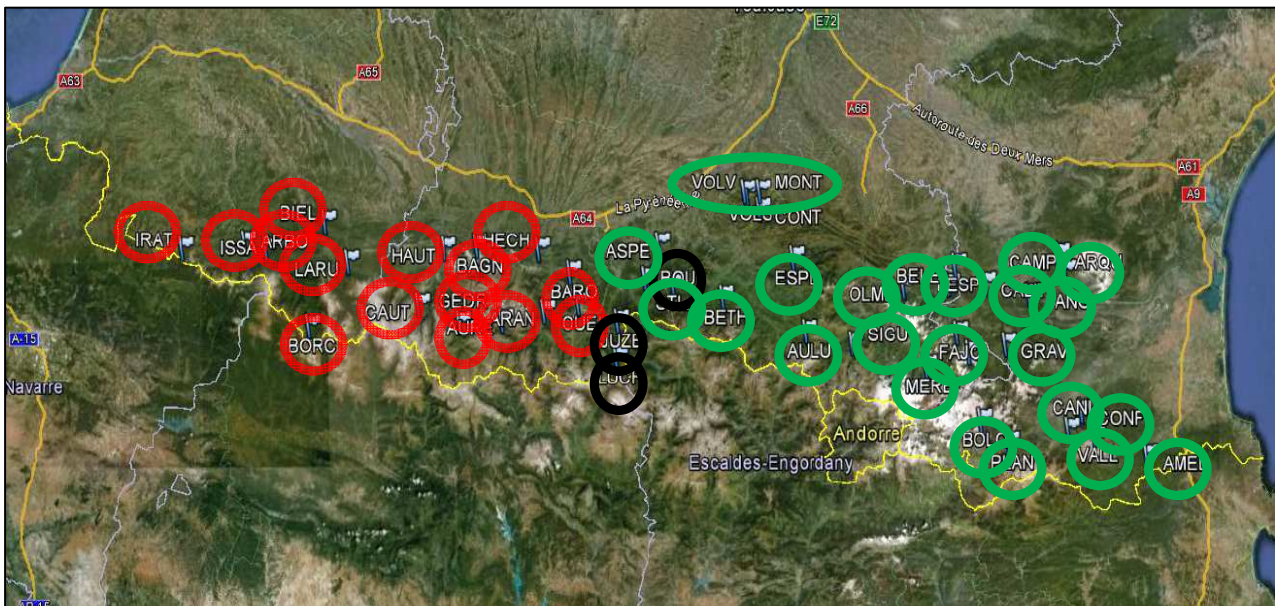


Figure 2 – Localisation des deux ensembles de populations (en rouge et vert) et des 3 populations intermédiaires (en noir)



Lorsque l'on analyse leur diversité séparément, aucun des deux groupes occidental et oriental ne révèle de particularité intra-groupe significative dans les premiers traitements.

La cause la plus probable de cette structuration des sapinières pyrénéennes est l'existence d'au moins deux refuges ou groupes de refuges distincts au cours de la dernière ère glaciaire Quaternaire, chacun ayant évolué de manière indépendante et ayant été à la base de la recolonisation post glaciaire de la chaîne pyrénéenne.

Au sein de ce panorama évolutif, **les sapins du Volvestre appartiennent clairement au groupe oriental**, allant de la Méditerranée à la vallée de Luchon. Il paraît peu probable que ces sapins soient issus de plantations, du moins de plantations avec transfert de graines, hors de la zone pyrénéenne orientale. La sapinière du Volvestre ne possède pas non plus d'allèles rares, ce qui n'en fait pas une candidate de choix comme sapinière refuge (ce qui serait plus probable pour les sapinières les plus orientales comme CALL et FANG).

7.3 - RESULTATS DE L'ANALYSE cpSSR

Les marqueurs chloroplastiques utilisés ont un taux élevé de polymorphisme, ils constituent un outil de choix pour les études de diversité. Ils permettent de mettre en évidence des niveaux de différenciation faible et des goulots d'étranglement. Ces marqueurs sont utilisés chez de nombreux gymnospermes ce qui permet des comparaisons entre groupes d'une même famille.

Un total de 102 haplotypes a été détecté sur l'ensemble des populations, soit en moyenne 14 haplotypes par population. Un des haplotypes est largement majoritaire dans l'ensemble des populations, présent 697 fois, et 36 sont uniques. Cet haplotype n'est pas majoritaire uniquement dans les populations des Alpes et Corse de Puntenuellu (PUNT). Les forêts du massif central sont intermédiaires en termes de fréquence d'apparition de cet haplotype entre les populations pyrénéennes et alpines. Elles possèdent des fréquences haplotypiques plus équilibrées. Contrairement aux données nucléaires, il n'a pas été possible de trouver une structuration claire des populations, mais il semble qu'il y ait une diversité haplotypique qui augmente d'ouest en est. Il faut toutefois noter que la population de BORG a la diversité haplotypique la plus faible, seulement 4 haplotypes, et la population HARE possède le plus d'haplotypes privés (6 /12 haplotypes).

Si l'on s'intéresse aux fréquences alléliques des marqueurs, on peut noter que dans ces populations, deux marqueurs sont peu polymorphes (3 ou 4 allèles) avec un allèle majoritaire. Le nombre d'allèle moyen sur l'ensemble des populations est de 3,6, la moins variable étant la population de BORG (2,33) et les plus variables étant les populations d'ASPE et VALL (4,5), soit presque du simple au double. Dans l'ensemble des populations, une seule possède un allèle privé à une fréquence faible. Tous les marqueurs présentent une répartition des allèles unimodales avec plus ou moins d'allèles rares, mais il n'a pas pu être détecté d'allèles avec une fréquence significative (>10%) qui ne soit attribuable qu'à une seule population et qui permettrait de la tracer.

La diversité génétique moyenne est $H=0,405$, la population de BORG a la diversité la plus faible ($H=0,184$) et celle du Ventoux a la plus forte ($H=0,534$). La population pyrénéenne ayant la plus grande diversité est VALL ($H=0,53$). Comme pour les fréquences haplotypiques, certaines populations se distinguent elles se situent plus dans la partie orientale, mais une forte variabilité existe au sein de ces forêts.

La population du Volvestre ne se distingue pas des forêts pyrénéennes. Au vu de ces résultats, il semble peu probable que cette forêt soit issue de plantation si ce n'est de populations proches géographiquement. Elle se distingue nettement des populations alpines, corses, ou même du Massif central. Les allèles les plus fréquents dans cette population sont aussi ceux de la majorité des autres populations. Il ne semble pas exister d'éléments qui nous permettent de penser que cette sapinière du Volvestre, bien que relativement éloignée vers le nord, possède des caractéristiques particulières génétiques qui pourraient permettre sa proposition en unité de conservation.

7.4 - PERSPECTIVES

Les méthodes actuelles de la génétique des populations permettent de tester, dans un ensemble de scénarios démographiques, quel est celui qui explique le mieux la structuration des données génétiques issues de l'analyse des microsatellites nucléaires. Cette approche bayésienne, implémentée dans le logiciel DIY ABC, permet donc de reconstituer l'histoire d'un jeu de données en faisant un certain nombre de suppositions sur les taux de mutation, les tailles réelles de population et les dates de divergences entre populations. Dans le cas du sapin dans les Pyrénées, un certains nombres d'évènements historiques jalons peuvent être utilisés pour calibrer et tester différentes hypothèses permettant d'expliquer la répartition du sapin en deux entités génétiques distinctes, elles mêmes bien différentes du groupe des sapins des Alpes : refroidissement de la terre au cours du Tertiaire, alternances climatiques quaternaires, et recolonisation post-glaciaire lors du dernier réchauffement climatique terrestre. Les analyses ne sont pas encore terminées, mais parmi les scénarios testés, celui qui fait dériver les sapins pyrénéens (français) d'un ancêtre de type alpin puis qui fait émerger (par dérive génétique suite à un goulot d'étranglement démographique récent) les sapins ouest-pyrénéens à partir d'un ancêtre est-pyrénéen, est le plus probable. Les scénarios faisant dériver les sapins pyrénéens d'un ancêtre antérieur à l'émergence des Alpes ou faisant émerger sapins ouest- et est-pyrénéens indépendamment les uns des autres, sont significativement moins probables. Si ces tests de scénarios alternatifs permettent de donner un nouvel éclairage sur l'origine évolutive des sapins pyrénéens, ils demandent à être confirmés par des apports paléo-écologiques, les dates de divergence calculées des différents groupes n'étant pas très précises (*a priori*, l'émergence des sapins ouest pyrénéens dans leur composition génétique actuelle est un évènement récent, Holocène).

8 - GESTION

Auteurs : Bruno FADY, INRA Avignon – URFM, bruno.fady@avignon.inra.fr
Brigitte MUSCH, Conservatoire Génétique des Arbres Forestiers, musch@orleans.inra.fr
Ch. DRENOU, Institut pour le Développement Forestier, christophe.drenou@cnpf.fr
Patrick VALETTE, ONF, patrick.valette@onf.fr

8.1 – GESTION SYLVICOLE

La gestion des sapinières pyrénéennes a récemment fait l'objet d'une synthèse par l'ONF (Alger, 2010) qui précise les différentes conduites de peuplements possibles (futaie régulière, futaie par parquets et futaie irrégulière) et les itinéraires techniques de travaux sylvicoles adaptés au massif pyrénéen. Différents documents cadres donnent également des orientations de gestion en sapinière :

- pour les forêts gérées par l'ONF, les aménagements sont établis conformément aux Directives Régionales d'Aménagement (DRA) pour les forêts domaniales, et aux Schémas Régionaux d'Aménagement (SRA) pour les autres forêts publiques. Sur la base de ces documents cadres, l'aménagement de la forêt domaniale de Sainte Croix Volvestre a été élaboré pour planifier les interventions sur la période 2012-2031.
- en forêt privée, les Schémas Régionaux de Gestion Sylvicole (SRGS) élaborés par les CRPF précisent les conditions d'une gestion durable et aident le propriétaire à élaborer une stratégie raisonnée de mise en valeur de sa forêt, notamment lors de la rédaction d'un Plan Simple de Gestion (PSG) ou lors de l'adhésion au code de bonnes pratiques sylvicoles.

Les principales consignes de gestion sont développées ci-après.

8.1.1 - GESTION DES SAPINIÈRES DANS LE MASSIF PYRÉNÉEN

Une gestion multifonctionnelle

Les forêts sont gérées dans une optique multifonctionnelle, combinant les fonctions suivantes :

- fonction de production ligneuse,
- fonction écologique (biodiversité, ressource en eau potable...),
- fonction sociale (accueil du public, paysage),
- fonction de protection contre les risques naturels.

Généralement, l'objectif de production est la clef de voûte de la gestion sylvicole, mais la prise en compte des niveaux d'enjeux de ces différentes fonctions permet d'adapter la gestion des sapinières dans le massif pyrénéen où cette multifonctionnalité s'exprime par excellence.

Données générales

La gestion est conduite en suivant les prescriptions suivantes :

- le **diamètre d'exploitabilité** optimale du sapin est de l'ordre de **50-55 cm** en fonction de la fertilité de la station et en tenant compte des contraintes techniques et économiques actuelles.
- la **régénération naturelle** est privilégiée. Le recours à la plantation est appliqué dans des cas particuliers (reconstitution après tempête, échec de la régénération naturelle, etc.) et s'impose parfois malgré un léger surcoût initial (mise en place de clôture de protection du fait de la présence d'ongulés).
- une **réduction de la densité** des peuplements est préconisée afin d'augmenter la quantité d'eau disponible pour chaque arbre, notamment dans le cadre de l'adaptation au changement climatique.
- la recherche d'un **mélange feuillu** doit être optimisée dans des peuplements trop purs (dynamique naturelle feuillue, essences forestières ou espèces arbustives).
- la gestion doit être parfois **adaptée en fonction des espèces remarquables** identifiées, comme le grand tétras ou l'ours.

- l'étagement altitudinal retenu privilégie le **sapin pectiné pour les altitudes supérieures à 1000-1200 m** et le hêtre pour les altitudes inférieures à ces valeurs (DRA-SRA Forêts Pyrénéennes).

Choix d'un mode de traitement

Si la structure du peuplement détermine souvent le traitement sylvicole appliqué, d'autres éléments peuvent orienter le choix du traitement. L'objectif principal assigné, les difficultés d'exploitation, l'état de la desserte forestière, les possibilités économiques, sont autant de critères qui définissent les différents scénarii de gestion. Toutefois, les traitements préconisés sont adaptés aux caractéristiques du terrain, en particulier la pente :

- avec une **pente inférieure à 45 %**, choix du traitement en fonction de la structure du peuplement et de l'objectif principal,
- avec une **pente comprise entre 45 % et 60 %**, le traitement en futaie régulière est généralement déconseillé sauf si le réseau de pistes est optimal (la difficulté d'exploitation, liée à des contraintes économiques, exige des prélèvements forts et ponctuels posant problème en premières éclaircies) ; le traitement en futaie par parquets est privilégié dans les zones à très forte pression de cervidés (nécessité d'un engrillagement pour la régénération) et dans les secteurs d'exploitabilité difficile (récolte par parquets) ; hormis ces cas, le traitement en futaie irrégulière devient le traitement approprié, tout spécialement dans les zones à enjeu fort de protection (protection des sols et impact paysager limité, récolte par bouquets),
- avec une **pente supérieure à 60 %**, le traitement en futaie régulière reste marginal (cas des peuplements mûrs à fort capital), les zones à très forte pression de cervidés obligent un traitement en futaie par parquets (mise en place de clôture obligatoire) tandis que le traitement en futaie irrégulière s'impose la plupart du temps.

La futaie régulière et la futaie par parquets (voir Alger, 2010)

La conduite de ces peuplements est tributaire de la classe de fertilité, des difficultés d'exploitation ou de mécanisation, de la sylviculture passée et du contexte économique. Les critères d'exploitabilité optimaux sont 50-55 cm de diamètre pour un âge indicatif de 100 à 130ans en fonction de la classe de fertilité. La première éclaircie constitue le point de départ de l'itinéraire (voir référentiels sylvicoles : Alger, 2010).

Le renouvellement des peuplements est guidé par la surface terrière ($G = 27-35 \text{ m}^2/\text{ha}$ avant la mise en régénération). En cas de végétation concurrente trop importante, des travaux préparatoires peuvent aider à la mise en place de la régénération (travail du sol, nettoyage...). La durée de régénération ne doit pas s'étaler au-delà de 25 ans sur semis acquis. Pour ce faire, des cloisonnements ou des couloirs de débusquage selon les possibilités de mécanisation sont installés. Des coupes progressives des semenciers sont programmées à un rythme soutenu avec des prélèvements forts ($100 \text{ à } 150 \text{ m}^3/\text{ha}$) et une coupe définitive intervient dès que les semis ont 50 cm de hauteur (2 m en cas de dégâts d'ongulés). La régénération fait l'objet d'un suivi surfacique (les objectifs de renouvellement sont définis en surface pour la période d'aménagement).

Les travaux de nettoyage éventuels sont réalisés en même temps que le dépressage. Les travaux de dépressage n'intéressent que les peuplements très denses et homogènes (> 5000 tiges/ha). En cas de dégâts importants de cervidés ou de pente $> 45 \%$, aucun dépressage n'est réalisé.

Enfin, l'élagage artificiel des peuplements n'est plus d'actualité hormis dans un cas spécifique : peuplement issu de plantation, en classe de fertilité 1 avec une surface minimale ($S > 1\text{ha}$).

La futaie irrégulière (voir Alger, 2010)

La particularité de la futaie irrégulière est de concilier dans un même traitement quatre grandes opérations de gestion : la récolte, l'amélioration, le renouvellement et le traitement sanitaire. L'approche de ces peuplements se fait essentiellement par la surface terrière (richesse, structure et composition). A l'instar de la boussole, la surface terrière guide le sylviculteur dans la direction à suivre.

La recherche d'une régénération diffuse et la sélection permanente de chaque arbre conditionnent ce type de traitement. Pour l'aider dans cette tâche, le sylviculteur dispose de savoirs sylvicoles et de données dendrométriques (valeurs cibles de recherche de l'équilibre).

Le renouvellement des sapins est éparé et il ne fait pas l'objet d'un suivi en surface. Il se construit sur de petites surfaces inférieures à 50 ares. Il est le résultat d'une récolte d'arbres arrivés à maturité et d'un dosage judicieux de la lumière. La rotation des coupes tiendra compte de la

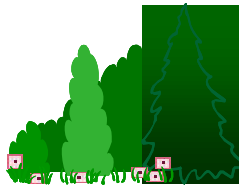
fertilité et des difficultés d'exploitation. Les perches sélectionnées, lors des interventions, vont constituer les tiges d'avenir.

La futaie irrégulière nécessite normalement des travaux limités. Ils visent à mettre en lumière la régénération et à favoriser éventuellement le recrutement de perches. Le complément en régénération artificielle doit être l'exception.

La Sapinière-Hêtraie ou Hêtraie-Sapinière

Sapin et Hêtre ayant des exigences stationnelles comparables, la gestion sylvicole du mélange s'apparentera à la gestion des sapinières.

Que ce soit le hêtre ou d'autres essences feuillues, voire résineuses, le mélange d'essences est un leitmotiv en sylviculture. Il convient donc de favoriser cette mixité : la litière se décompose mieux, meilleure résilience du peuplement, diversité de micro-habitats pour la faune forestière, etc..



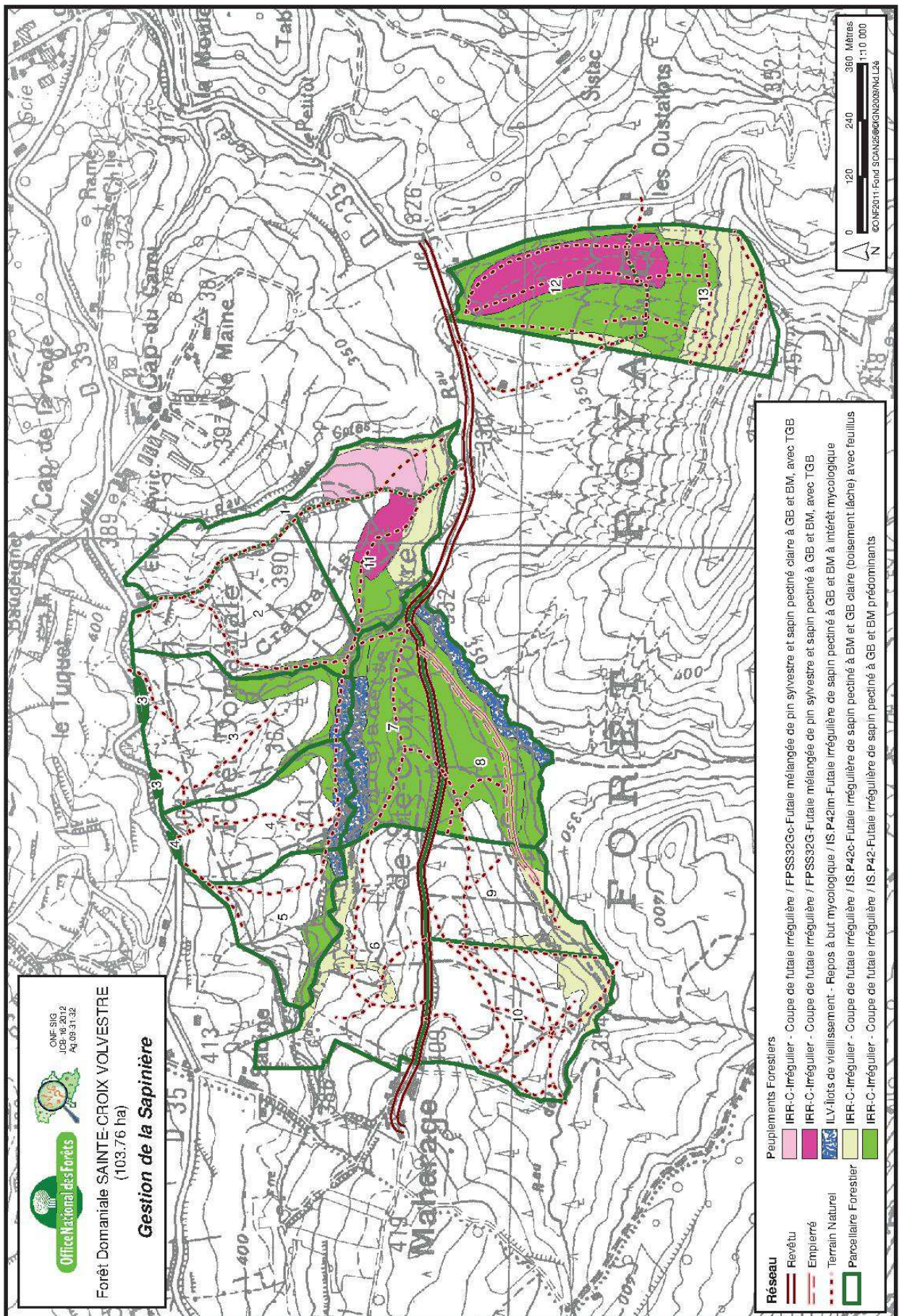
8.1.2 - LA FORET DOMANIALE DE SAINTE CROIX VOLVESTRE : UNE SAPINIERE EMBLEMATIQUE

Cette forêt domaniale d'une centaine d'hectares comprend un peuplement de sapin pectiné qui occupe une superficie de 40 ha environ (voir fig. 1). La particularité de cette sapinière est de se situer à une altitude faible, comprise entre 325 et 400 mètres. S'agit-il d'un peuplement naturel issu de la reconquête forestière après la dernière glaciation würmienne ou bien d'un peuplement né d'une volonté monacale moyenâgeuse ? L'étude en cours est destinée à répondre à cette question chère aux cruxéens.

Le sapin pectiné occupe les fonds de vallon et les versants du relief collinéen situés au sud du village. Un dépérissement est constaté depuis de nombreuses années, accentué apparemment par les sécheresses de 1976 et plus récemment de 2003. Il semblerait que l'état sanitaire du sapin soit directement lié à la proportion de gui présent dans le houppier (voir protocole SYLVAPIR). La nouvelle méthode ARCHI (voir 7.2), basée sur l'architecture des houppiers, devrait pouvoir diagnostiquer le dépérissement et les capacités de résilience des arbres car, malgré les signes de dépérissement, les sapins semblent avoir suffisamment de vitalité pour ne pas disparaître prématurément. Le changement climatique annoncé pourrait remettre en cause la présence de cette essence à cet endroit et nécessitera un suivi attentif.

Cette sapinière, communale jusqu'en 1970, date de son acquisition par l'Etat, fut traitée peu ou prou en futaie jardinée de 1884 à 1974. Durant la période 1974-1993, le traitement en futaie régulière a prévalu avant que le choix de la futaie irrégulière ne soit adopté lors de la dernière révision d'aménagement (1994 – 2008).

Figure 1 : Carte de « Gestion de la Sapinière » de la Forêt Domaniale de Sainte Croix Volvestre (E = 1/10.000)



L'inventaire du peuplement forestier

Un inventaire précis du peuplement forestier a été réalisé par échantillonnage systématique, avec 166 placettes, à raison d'un point tous les 80 mètres. Sur chaque placette, un relevé relascopique a permis d'inventorier la surface terrière par essence et par catégorie de grosseur de bois (petit bois = PB Ø 20-25, bois moyen = BM Ø 30-40, gros bois = GB Ø 45-60 et très gros bois = TGB Ø > 65). Les hauteurs et diamètres ont également été mesurés pour chaque catégorie de diamètre. Les régénérations basse (0,5 m < H < 3 m) et haute (H > 3 m et Ø > 7,5 cm) étaient relevées sur des placeaux de 2 m de rayon dans la placette. Enfin, le nombre de perches (7,5 cm < Ø < 17,5 cm) a été déterminé sur des placettes circulaires de 10 m de rayon soit 3,14 ares. Les fiches de descriptions étaient complétées par des renseignements accessoires.

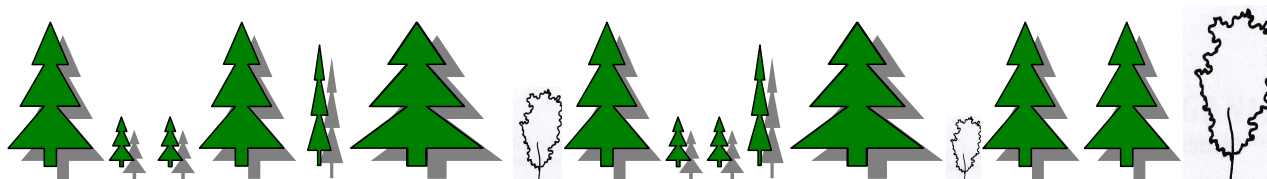
Les résultats de l'inventaire figurent dans le tableau 1 pour les deux types de sapinières identifiés dans la forêt (hormis les futaies mélangées de pin sylvestre et sapin pectiné). La valeur moyenne observée pour la surface terrière est de 26 m²/ha (valeur cible = 27 m²/ha), le pourcentage de la surface ayant une régénération satisfaisante est de 30 à 50 % (valeur cible = 20 %) et la densité de perches varie de 60 à 240 tiges/ha (valeur cible = 80 tiges/ha). La répartition PB/BM/GB est globalement bonne dans cette forêt, le renouvellement est correct. La structure générale des peuplements est proche de l'équilibre.

Tableau 1 - Résultats de l'inventaire

	Futaie irrégulière de sapin pectiné à gros bois et bois moyen (codes IS.P42 & IS.P42im)	Futaie irrégulière de sapin pectiné à BM et GB claire (boisement lâche) avec feuillus (code IS.P42c)
Composition essence	sapin pectiné 79% - châtaignier 12% pin sylvestre 4% - chêne 2% - autres feuillus 3%	sapin pectiné 64% - châtaignier 22% pin sylvestre 2% - autres feuillus 10% - autres résineux 2%
Diamètre dominant	60 cm	55 cm
Diamètre moyen	40 cm	40 cm
Hauteur dominante	30 m	27 m
Hauteur moyenne	27 m	24 m
Petit bois - PB	21%	27%
Bois Moyen - BM	41%	45%
Gros Bois - GB	35%	25%
Très Gros Bois - TGB	2%	3%
Surface terrière	22 à 46 m ² /ha	5 à 30 m ² /ha
Perches/ha	120 tiges/ha	60 tiges/ha
Régénération (<i>B ou H</i>)	33%	45%
Volume	200 à 580 m ³ /ha	40 à 340 m ³ /ha
Durée de survie	0 à 180 ans	0 à 180 ans

Les choix d'aménagement

La période d'application de la révision d'aménagement de la forêt domaniale de Sainte Croix Volvestre est de 20 ans (2012-2031). Le **sapin pectiné reste l'essence objectif** sur les stations qui lui sont favorables (c'est-à-dire sur les surfaces actuelles déjà occupées par cette essence). La sapinière continuera à être traitée en futaie irrégulière avec un objectif de production. Le châtaignier sera conservé à titre cultural et les autres feuillus seront maintenus en mélange.



La conduite des peuplements répondra aux exigences de la **futaie irrégulière** (coupes de futaies irrégulières avec une durée de rotation de 10 ans). Les bois mûrs seront récoltés, la gestion de la lumière (ouverture de trouées) sera une préoccupation constante afin de générer un renouvellement diffus. Les principes d'amélioration du peuplement et de gestion sanitaire seront aussi respectés lors des interventions. La régénération de sapin pectiné bénéficie d'une bonne dynamique naturelle dès que les conditions sont réunies. Des travaux sylvicoles de nettoyage-dépressage pourront être programmés en complément (élimination des tiges indésirables, d'essences concurrentes, abaissement de la densité). La surface moyenne annuelle à passer en coupe dans les peuplements de sapin pectiné est de 3,46 ha avec un diamètre d'exploitabilité fixé à 45-50 cm.

Compte tenu de la richesse exceptionnelle de la fonge, la mise en place d'une **réserve « mycologique »** a été proposée (en partenariat avec le CNRS/Université de Toulouse et le PNR des Pyrénées Ariégeoises). Un **îlot de vieillissement** (îlots de vieux bois) a été constitué sur une surface de 4,06 ha (voir localisation sur la fig. 1). Aucune coupe ni aucun travaux ne seront réalisés dans cet espace réservé durant la présente période d'aménagement (excepté l'abattage d'arbres dangereux près du sentier de découverte par mesure de sécurité). Des mesures compensatoires sont à rechercher (financement dédié pour pallier l'absence de recettes de bois). En outre, la gestion sylvicole intègre la prise en compte de la biodiversité courante (maintien d'arbres morts ou à cavités, mélange des essences, respect des sols fragiles...). Afin d'éviter le tassement des sols, des précautions seront prises lors de travaux sylvicoles ou d'exploitations forestières.

La volonté d'accueil du public en forêt s'est concrétisée par la création d'un **sentier de découverte** au cœur de la sapinière, avec l'aide du PNR des Pyrénées Ariégeoises. De plus, dans le cadre des animations du PNR, des sorties thématiques sont organisées.

Côté paysage, le traitement en futaie irrégulière de la sapinière optimise la naturalité des lieux et limite l'impact paysager des exploitations forestières.

Un suivi régulier du dépérissement des sapinières est envisagé. Un diamètre d'exploitabilité abaissé avec un âge d'exploitabilité ramené à 100 ans, une décapitalisation et une surdensité contrôlée pour augmenter la quantité d'eau disponible pour les individus, sont des mesures préventives à ce dépérissement.

Conclusion

Ce peuplement singulier de sapin pectiné est au cœur de la préoccupation de gestion forestière de cette forêt domaniale de Sainte Croix Volvestre. Son intérêt scientifique, son importance sociale mais aussi son enjeu politique n'ont pas échappé lors de la rédaction de l'aménagement forestier. Une attention particulière à cette sapinière de basse altitude sera le quotidien de la gestion courante.

8.2 – METHODE ARCHI : DIAGNOSTIC VISUEL DE L'ETAT DE SANTE DES SAPINIÈRES

Auteur : Ch. DRENOU, Institut pour le Développement Forestier, christophe.drenou@cnpf.fr

Ce chapitre présente une nouvelle méthode de diagnostic de l'état de santé des sapins. Mise au point en 2012 dans le cadre de plusieurs études réalisées dans l'Aude, l'Auvergne, le Mont Ventoux et les Vosges, elle revêt un intérêt certain pour les sapinières de Ste Croix Volvestre. En particulier, la méthode ARCHI donne aux gestionnaires les moyens de ne pas confondre les sapins en phase de dépérissement de ceux exprimant une dynamique de résilience. Indiscutablement, Ste Croix Volvestre est à ce sujet un excellent site pédagogique.

8.2.1 - QU'EST-CE QU'UN ARBRE DEPERISSANT ?

Un dépérissement est un terme de symptomatologie (symptômes = anomalies, désordres, écarts à la normale) qui correspond à l'idée que l'on se fait d'une détérioration globale de la santé de l'arbre (défoliation, mortalité, nécroses...). La cause est non identifiée ou non immédiatement identifiable avec certitude. Un dépérissement n'est pas une maladie, celle-ci ayant une cause connue et étant reproductible expérimentalement (cas de la graphiose de l'Orme par exemple) (Delatour, 1990).

Lorsqu'on s'intéresse au dépérissement des arbres, une observation limitée aux branches mortes n'est pas suffisante. Dès 1983, Becker et Lévy écrivaient au sujet de la forêt de Tronçais : « La présence et l'abondance des branches mortes chez les chênes peut être trompeuse, et il est fréquent de surestimer la gravité du dépérissement d'un arbre, alors que l'inverse ne se produit jamais ». Il en est de même chez les résineux. Ainsi, Sergent (2011) sur le douglas dans le Tarn et l'Aveyron, Cailleret (2011) sur le sapin pectiné de Provence et Nourtier (2011) sur la sapinière du Mont Ventoux, démontrent que les arbres dont le houppier est endommagé n'ont pas nécessairement de faibles taux de croissance ni une forte probabilité de mourir par comparaison avec des arbres au houppier sain.

Cette apparente contradiction s'explique par la double composante du dépérissement. D'abord, la résistance à un stress. Elle permet de retarder l'apparition des premiers symptômes et on comprend aisément que cette résistance diminue progressivement avec l'augmentation de l'intensité du stress. Il y a donc des seuils à ne pas franchir. Cependant, une fois le stress passé, un retour à l'état physiologique initial (ou proche de l'état initial) est possible, c'est la résilience, deuxième composante du dépérissement. **En conséquence, un dépérissement survenant au cours de la vie d'un arbre peut avoir un caractère réversible ou irréversible, tout dépendra de son état physiologique au moment du stress, de la nature et de la durée de celui-ci et de la capacité de résilience de l'essence considérée.**

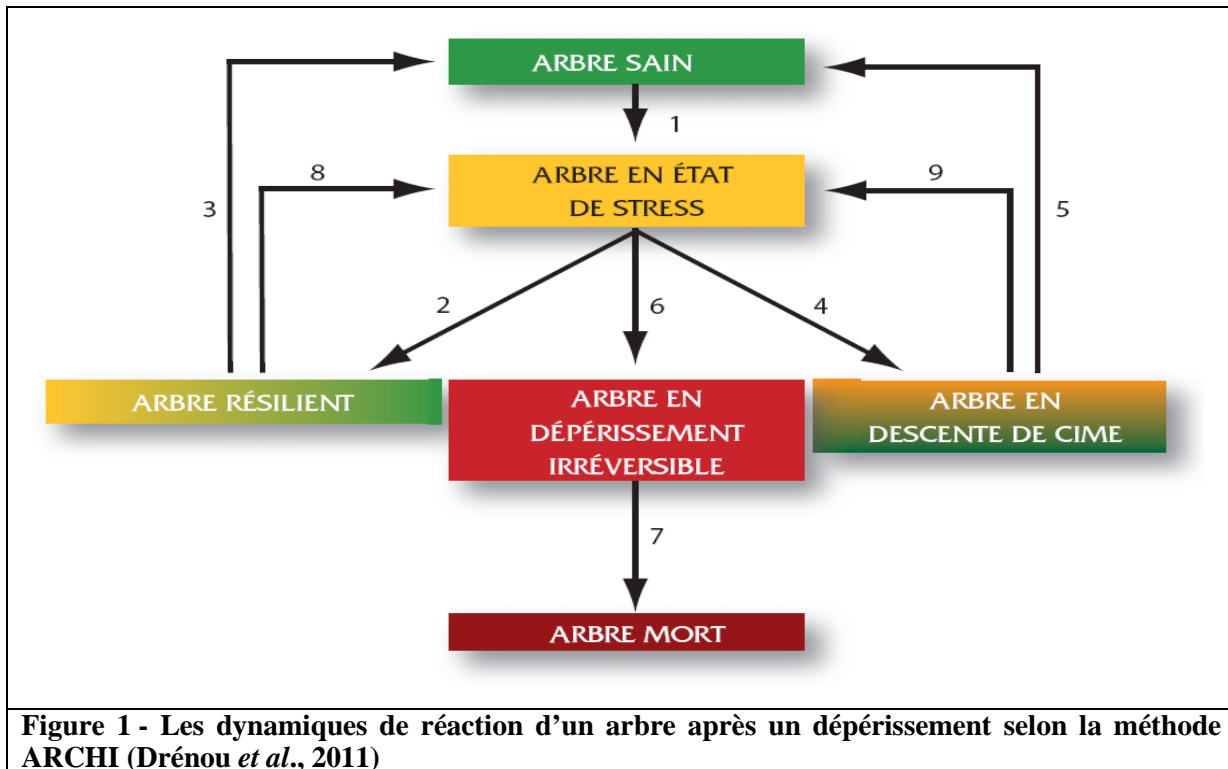
8.2.2 - QU'EST-CE QUE LA METHODE ARCHI ?

La méthode ARCHI est une méthode de diagnostic du dépérissement des arbres basée sur l'analyse architecturale des houppiers. Les deux composantes du dépérissement sont prises en compte : non seulement les symptômes de dégradation des houppiers dus à une baisse de résistance physiologique, mais aussi les processus de résilience tels que l'apparition des gourmands.

Jusqu'à présent, les méthodes de diagnostic visuel des arbres ont ignoré la présence des gourmands, considéré leur observation comme facultative, ou même interprété leurs rôles à contre-sens. Certes, un arbre qui se couvre de gourmands donne une impression de grande confusion morphologique, mais leur rôle est fondamental (Drénou *et al.*, 2012). D'ailleurs, les essences incapables de produire des gourmands, comme les pins de milieu tempéré par exemple, ont un réel handicap lorsqu'il s'agit de remplacer des branches cassées ou dépérissantes. En réalité, plus les gourmands sont nombreux et grands, plus les chances de restaurer un nouvel houppier après un stress est grande, et meilleure est la résilience.

La méthode ARCHI permet de classer les arbres en cinq types (Drénou, 2012) :

- l'arbre **sain**, ne présentant aucun symptôme de dégradation du houppier,
- l'arbre en état de **stress** récent (début de la dégradation du houppier, potentiel de restauration existant mais non exprimé),
- l'arbre **résilient** surmontant un stress pour redevenir sain à terme et reprendre ainsi une croissance normale (dans ce cas, les processus de restauration du houppier compensent parfaitement les symptômes de dégradation),
- l'arbre exprimant une **descente de cime**, c'est-à-dire formant un deuxième houppier sous la cime initiale,
- l'arbre bloqué en situation de dépérissement **irréversible** (houppier dégradé sans aucun processus de restauration viable).



8.2.3 - APPLICATION DE LA METHODE ARCHI AU SAPIN

La méthode ARCHI a été développée pour la première fois chez le chêne pédonculé (*Quercus robur* L.) [Drénou et al., 2011; Drénou et al., 2012], puis a été appliquée au sapin pectiné [Giraud, 2012].

Le sapin est composé de plusieurs niveaux d'organisation et les observations sont réalisées selon trois niveaux distincts : (1) l'arbre entier, (2) le houppier dit 'notable', c'est à dire la partie supérieure du houppier située à la lumière et (3) les axes. On distingue au total quatre types d'axes chez le sapin pectiné (A1, A2, A3 et A4). Ceux-ci sont agencés de manière ordonnée au sein de la structure et apparaissent selon une séquence précise au cours du développement de l'arbre. Les fonctions de chaque axe diffèrent également. Par exemple, les A3 ont un rôle essentiellement d'assimilation de la lumière.

Les gourmands ne rentrent pas dans le cadre de la ramification précédemment décrite. Un gourmand est considéré comme vigoureux quand il présente une dominance apicale marquée (existence d'un axe principal dominant), une forte croissance et une sexualité absente ou limitée à quelques cônes femelles. Dans le houppier notable, les gourmands sont considérés comme nombreux lorsqu'ils sont présents sur plus de 50% des A2 et qu'ils recouvrent ces derniers sur plus du quart de la longueur.

Les critères architecturaux retenus sont simples et facilement visibles avec une paire de jumelles (12X50). Le travail de l'observateur sur le terrain est facilité par une série de questions à réponses

binaires oui/non intégrant les critères architecturaux (tableau 1). Les critères traduisent soit des symptômes de dégradation (anomalies), soit des processus de restauration (retour à la normale). Un point important est que seuls les arbres de l'étage dominant et seule la zone des houppiers à la lumière sont retenus pour les notations.

Niveaux d'observation	Questions posées
Arbre entier	L'arbre est-il vivant (cambium vivant à 1,30m) ? Y a-t-il des gourmands vigoureux ? Les gourmands vigoureux sont-ils nombreux ?
Houppier notable	Y a-t-il plus de 5% de mortalité ? Y a-t-il plus de 5% de feuillage à coloration anormale ? Le tronc est-il visible sur toute la longueur ? La mortalité est-elle limitée aux A3 et A4 (si non : présence d'A2 morts)?
Tronc	Y a-t-il formation d'un deuxième houppier ?
Axes A2	Y a-t-il des gourmands vigoureux ? Les gourmands vigoureux sont-ils nombreux ?

Tableau 1 - Niveaux d'observation et questions posées à l'observateur

Toutes les réponses sont intégrées dans un arbre de décision qui conduit à la détermination et au classement des arbres selon cinq types (tableau 2, figure 2) : arbre sain, arbre stressé, arbre résilient, arbre en dépérissement irréversible, et arbre en descente de cime.

Symptômes de dégradation	Processus de restauration	Etat de l'arbre adulte & appellation
AUCUN	ABSENTS	Etat normal Arbre SAIN
LÉGERS Présence de mortalité dans le houppier notable, <u>mais</u> feuillage dense ; ou feuillage peu dense, <u>mais</u> mortalité limitée aux A3	ABSENTS ou FAIBLES Absence de gourmands vigoureux ; ou gourmands vigoureux peu nombreux	Ecart à la normale Arbre STRESSÉ
	PRÉPONDÉRANTS sur les A2 Présence de gourmands vigoureux et nombreux	Retour à la normale Arbre RÉSILIENT
IMPORTANTES Feuillage peu dense <u>et</u> mortalité non limitée aux A3	ABSENTS ou FAIBLES Absence de gourmands vigoureux ; ou gourmands vigoureux peu nombreux	Point de non-retour à la normale Arbre en DÉPÉRISSEMENT IRRÉVERSIBLE
	PRESENTS mais DIFFUS Présence de gourmands vigoureux et nombreux, mais non hiérarchisés et diffus dans l'arbre entier	Ecart à la normale Arbre STRESSÉ
	PRÉPONDÉRANTS sur le tronc Présence de gourmands vigoureux, nombreux et hiérarchisés (formation d'un deuxième houppier)	Retour à un état proche de la normale Arbre en DESCENTE de CIME

Tableau 2 - Typologie des états du sapin pectiné selon l'ampleur des symptômes de dégradation du houppier et selon l'importance des processus de restauration architecturale

La combinaison des descripteurs architecturaux précédents a permis de construire une clef de détermination des différents types ARCHI chez le sapin (figure 3). Précisons que la clef de détermination des types ARCHI ne permet pas d'identifier les causes d'un dépérissement, ni même d'expliquer les différences de comportement (résilience ou mortalité) des arbres d'un même peuplement. Elle permet uniquement de prédire le potentiel de réaction des sapins dépérissants.

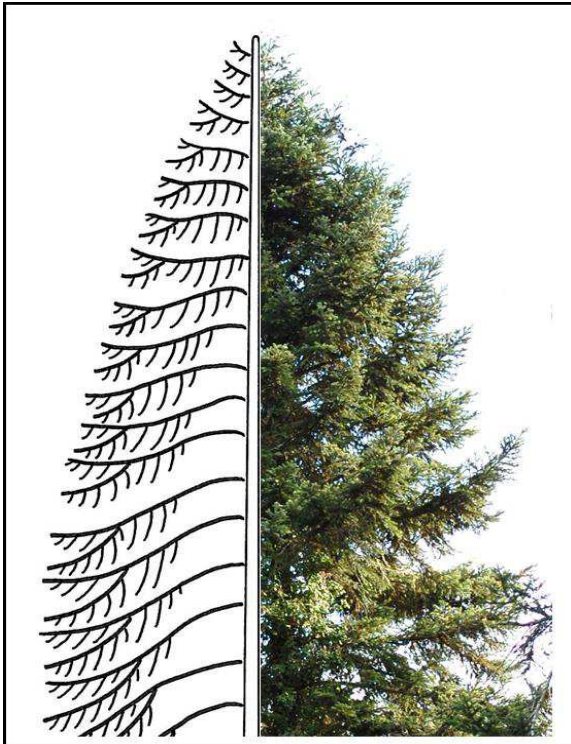


Fig. 2a

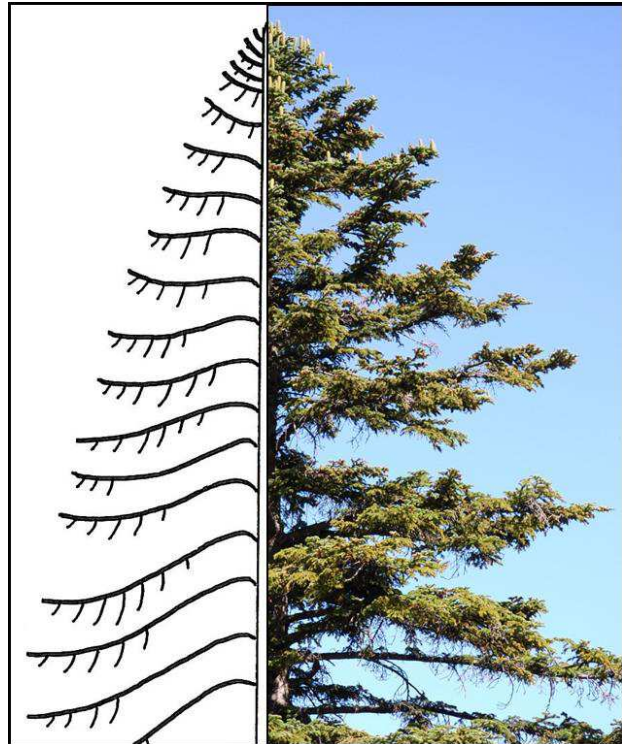


Fig. 2b

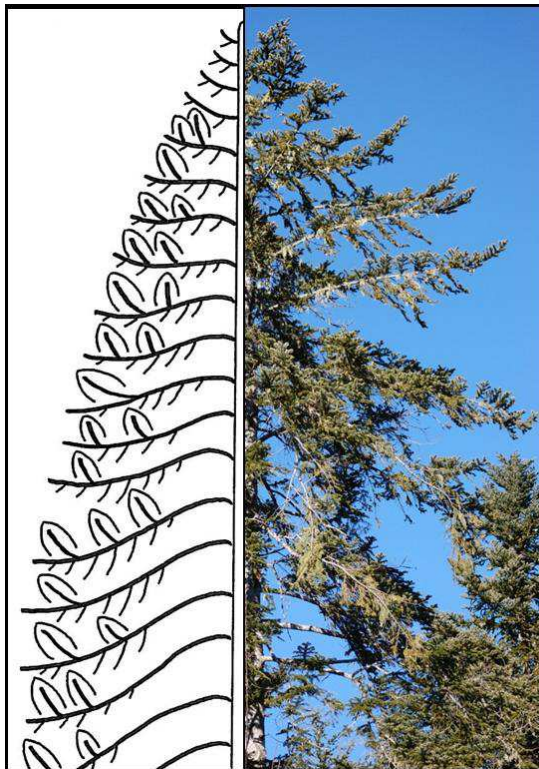


Fig. 2c

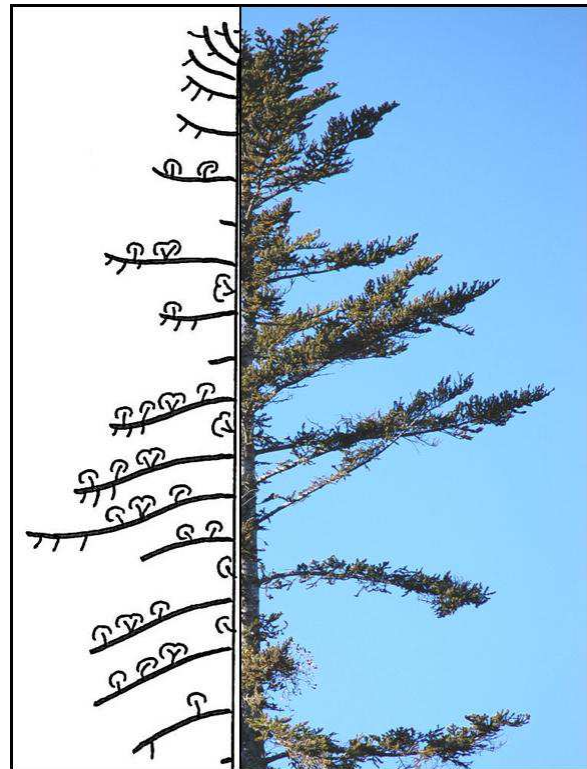


Fig. 2d

Figure 2 - Illustration de quatre états sanitaires chez le sapin pectiné. Sain (2a), stressé (2b), résilient (2c) et dépérissement irréversible (2d). Schémas et photos : Ch. Drénou.

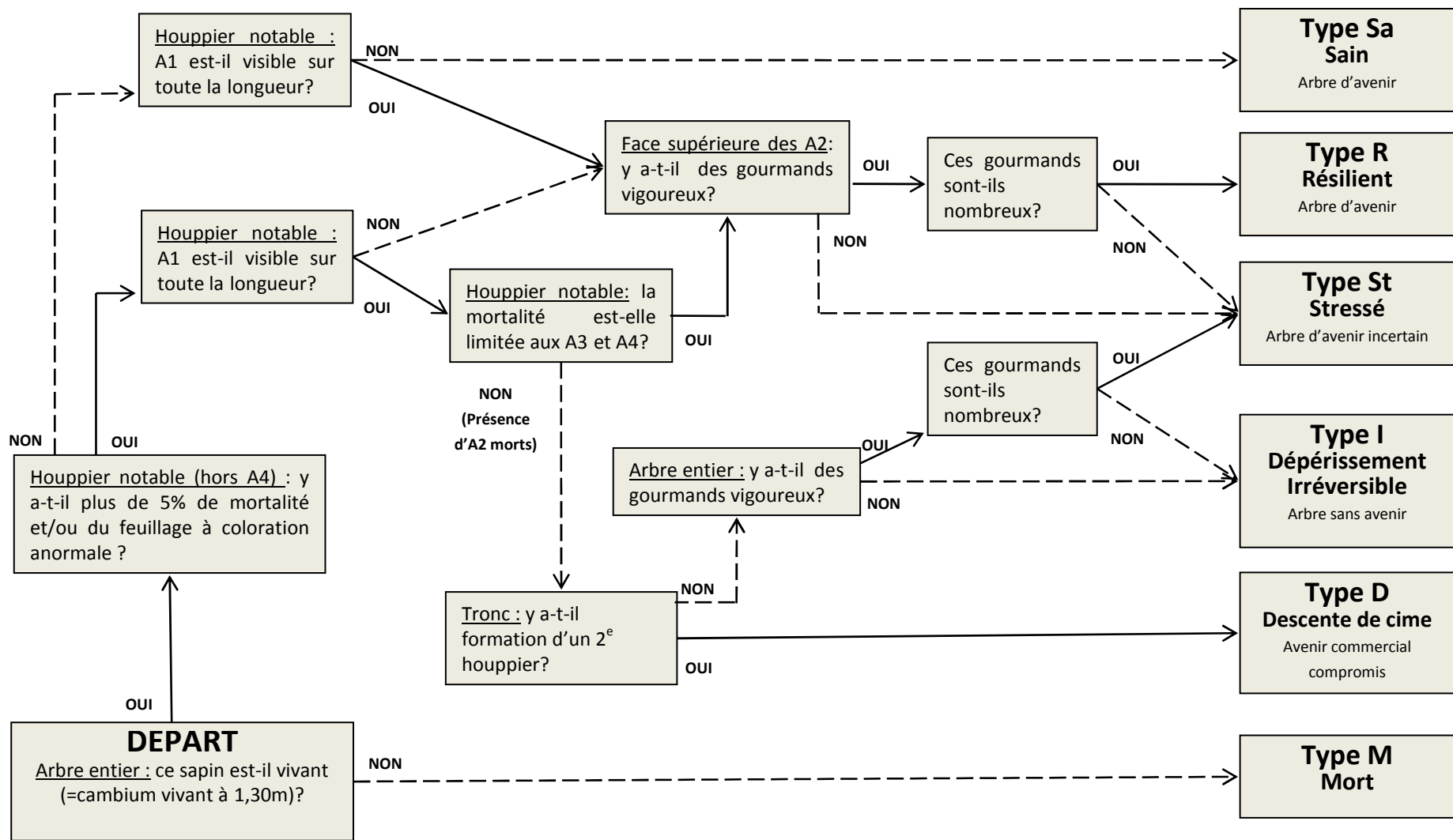


Figure 3 - Clé ARCHI d'aide au diagnostic des dépérissements du sapin pectiné (*Abies alba* Mill.)

8.3 - GESTION DES RESSOURCES GENETIQUES

La prise en compte de la diversité génétique dans le monde forestier est relativement récente. Cette diversité, au sein des populations et entre populations, est considérée comme l'assurance pour les espèces de pouvoir faire face aux changements globaux. Toutefois, cette diversité peut être affectée par les activités anthropiques comme la dégradation et la fragmentation des milieux naturels, les transferts de matériel végétal non adapté d'un site à un autre, ou encore la gestion forestière (Ledig, 1992 ; Lefèvre, 2004 ; Hosius *et al.*, 2006). Cette diversité qui est essentielle pour l'adaptabilité des espèces, mérite d'être conservée. Une prise de conscience des enjeux de la conservation des ressources génétiques forestières s'est faite dès le milieu des années 80, aussi bien en France que dans le monde, et elle a permis de mettre en exergue la nécessité d'une protection adaptée de ces ressources dans le cadre de la gestion durable des forêts. A partir de 1986, ont été mis en place les premiers réseaux de conservation des ressources génétiques forestières, dont celui du sapin pectiné. La création de la Commission des Ressources Génétiques Forestières (CRGF) en 1992 a constitué un outil précieux pour la mise en œuvre pragmatique de cette conservation, retracée lors du colloque « La CRGF : regard sur 20 ans d'action et nouveaux enjeux » (ONF, 2012). En outre, les différents acteurs forestiers ont signé la Charte pour la Conservation des Ressources Génétiques des Arbres Forestiers, réaffirmant ainsi leur engagement à contribuer à une politique nationale en faveur de cette composante très importante de la diversité des écosystèmes forestiers.

8.3.1 - LE RESEAU DE CONSERVATION GENETIQUE ET SA GESTION

Comment faire pour assurer une gestion respectueuse de la diversité génétique ?

Le réseau de conservation *in situ* pour une espèce est un échantillon de populations représentant l'essentiel de la variabilité génétique de cette espèce sur le territoire national (voir fig. 5). Il a pour but de préserver la diversité génétique de l'espèce et sa capacité à évoluer dans son milieu naturel, contrairement à une conservation *ex situ* statique. Les unités conservatoires de ces réseaux, représentant la diversité génétique et pédo-climatique d'une espèce, constituent de véritables vigies permettant d'évaluer le niveau d'adaptation et l'adaptabilité de populations naturelles aux changements globaux en cours.

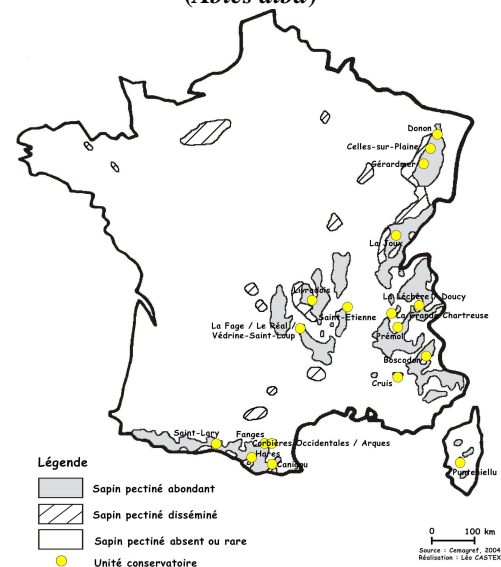
Les unités conservatoires relèvent d'une **protection contractuelle** due à la signature de la charte de gestion, impliquant un niveau d'enjeu fort de la fonction écologique de l'unité conservatoire. Cela implique que leurs limites doivent être précisément reportées sur les cartes des fonctions principales de la forêt afin qu'elles puissent être prises en compte par le gestionnaire, tout comme la surface et l'objectif de conservation.

Pour la **gestion** des unités conservatoires, l'aménagement suit les **clauses générales et particulières de la charte de gestion**. Même si les orientations de l'aménagement en termes de traitement et d'exploitabilité sont rarement remises en cause en présence d'unités conservatoires, certaines précautions doivent être prises au moment du renouvellement du peuplement.

La première, qui tombe sous le sens, est que **l'essence** objectif de l'unité conservatoire reste celle qui doit y être conservée de manière optimale.

La phase de **renouvellement** d'un peuplement forestier constitue une étape clé de la transmission du patrimoine génétique d'une génération à l'autre. La quantité et la qualité des graines produites par les semenciers d'une parcelle dépendent de facteurs externes et des caractéristiques du peuplement reproducteur. On peut citer comme facteurs externes, les conditions pédo-climatiques et leurs variations dans le temps et l'espace. On peut aussi englober dans ces facteurs externes, car ils sont difficiles à maîtriser, les flux de gènes issus des peuplements voisins. L'impact de ces

Figure 5 – Réseau de conservation *in situ* des ressources génétiques du sapin pectiné (*Abies alba*)



flux va être différent selon la diversité génétique du pool de migrants, son niveau d'adaptation aux conditions locales, mais aussi de la taille des populations locales. Il va, soit permettre un renforcement de la population, augmenter sa diversité génétique et réduire le niveau de consanguinité, soit au contraire diluer la population d'origine dans une population plus vaste essentiellement composée d'hybrides entre génotypes locaux et introduits. Dans le premier cas, on assiste à un renforcement des populations et préservation de la ressource génétique et dans le second, à une dilution de la ressource locale et cela est d'autant plus vrai que la population autochtone est de petite taille. Dans le cas des unités conservatoires, il faudra veiller à ce que le **noyau de l'unité conservatoire soit autant que possible régénéré avant la zone tampon** (20 à 40 ans) pour que celle-ci continue à jouer son rôle de filtre contre les pollens allochtones. Cela a pour but d'éviter les phénomènes d'hybridation et d'introgession. Ces phénomènes naturels ne sont toutefois pas néfastes et peuvent même être recherchés pour améliorer la qualité d'un peuplement. Dans le cas présent, ce qui est recherché, c'est le maintien d'une ressource génétique particulière et donc il conviendra de la préserver des migrations de pollen extérieures à l'unité conservatoire. La présence de la zone tampon joue le rôle d'un écran physique limitant les distances de dispersion de pollen extérieur à l'unité conservatoire, mais aussi offrant au pollen allochtone des possibilités de croisements qui ne sont pas souhaités dans le noyau central. Si la régénération du noyau central ne peut être effectuée en premier, alors il faudra se référer aux clauses particulières de la charte de gestion des unités conservatoires. Il faut veiller lors de la régénération de la zone tampon qu'il n'y ait **aucune introduction** naturelle ou volontaire de **matériel allochtone** qui puisse ensuite se croiser avec les individus de la zone centrale. Cependant, si la régénération n'est pas suffisamment abondante, une complémentation peut être réalisée en ayant recours à des plants issus de récoltes conservatoires faites sur le noyau central ou sur le peuplement si l'on veut garder à l'identique le peuplement.

L'unité conservatoire n'est pas un sanctuaire sans aucune intervention sylvicole ! Les instructions du guide de sylviculture doivent y être suivies que se soit pour les actions de détournage ou de martelage. La seule différence notable est que tous les « loups » ne seront pas systématiquement retirés afin de maintenir une diversité phénotypique dans le peuplement.

Les réseaux de conservation des ressources génétiques ont été mis en place dans les années 80 dans le souci de conserver des ressources génétiques, en particulier d'introgession avec du matériel non autochtone. Ces ressources sont maintenant menacées pour une grande partie d'entre-elles par les changements environnementaux. Le suivi méthodique de ces réseaux, et en particulier des unités conservatoires qui se trouvent en limites d'aire, va se révéler d'une grande importance pour mieux appréhender les limites d'adaptions et d'utilisation de ces provenances dans le climat de demain. Peu de choses sont connues quant à la plasticité de nos espèces autochtones, des essais sont nécessaires afin de connaître la variabilité des populations et leur capacité d'adaptation aux changements climatiques.

8.3.2 - LE RENOUVELLEMENT DES SAPINIÈRES

Lors du renouvellement par régénération naturelle des peuplements, en particulier d'unité conservatoire, une attention particulière doit être portée sur le nombre de reproducteur. La quantité et la qualité de la régénération sont influencées à la fois par les **capacités florifères et fructifères** propres à chaque arbre adulte, mais aussi par leur **répartition** spatiale et leur **nombre**.

Il est évidemment impossible de gérer les conditions climatiques qui vont influencer sur la floraison et la fructification des semenciers, ni dans une moindre mesure, sur le potentiel florifère et fructifère des semenciers, même si les interventions sylvicoles, en favorisant l'éclaircissement des houppiers, peuvent stimuler ces fonctions. Par contre, le sylviculteur va agir sur la répartition spatiale et le nombre d'individus fructifères lors des interventions. Ces décisions vont impacter le régime de reproduction et les caractéristiques génétiques de la régénération.

Influence de la densité des reproducteurs

Il a été récemment mis en évidence pour certaines espèces comme le pin sylvestre (Aspe, 2009) ou le hêtre (Wang, 2003) une **augmentation du taux de graines auto-fécondées** au fur et à mesure que la **densité d'arbres diminuait**. De plus, des analyses de flux de pollen (Robledo-Arnuncio et Gil, 2005) montrent qu'un **très faible nombre de pollinisateurs très peu distants représente la plus grande part du pollen fécondant un arbre**, contrairement à des populations

plus denses. Mais à cela, s'ajoute des **contributions mineures d'un grand nombre de pères** pouvant se trouver éloignés voire très éloignés (Pichot *et al.*, 2006). Une autre conséquence de la faible densité de reproducteurs est **l'augmentation significative du taux de graines vides par cône**. En outre, chez le pin sylvestre, le nombre d'écailles fertiles par cône diminue significativement avec la densité de tiges (Aspe, 2009).

Influence de la répartition des reproducteurs

Leur répartition spatiale est aussi très importante, une répartition homogène des semenciers favorise une bonne circulation du pollen et donc multiplie les possibilités de croisements entre arbres différents. Elle assure également une dispersion continue des semences. En futaie mélangée, la présence d'îlots mono spécifiques isolés les uns des autres peut favoriser les croisements entre arbres proches au sein d'un même bouquet, limiter la dispersion des graines et empêcher une couverture globale du peuplement par la pluie de graines.

C'est pour toutes ces raisons que le gestionnaire doit veiller à ce que la **répartition des semenciers** soit le plus **homogène** possible dans la zone à régénérer et d'une **densité suffisante (60 individus/ha)**.

Influence de la durée de régénération

La régénération doit être **conduite sur plusieurs années** afin de maximiser le nombre de croisements effectifs entre les semenciers. Cet étalement dans le temps permet ainsi d'augmenter la diversité génétique chez les semis, à condition que ces fructifications partielles bénéficient de conditions de germination favorables (gestion du sous-étage, travail du sol...). Des études récentes sur douglas (Valadon, comm. pers.) ont montré qu'au-delà de 5 ans de contribution annuelle, la diversité apportée à la régénération devenait insignifiante.

Caractéristiques d'une régénération acquise

Une régénération peut être considérée comme acquise en **futaie régulière** lorsque les semis estimés viables sont répartis régulièrement, soit avec une **proportion de vide inférieure à 20%**. La densité minimale de cette régénération doit selon les espèces ne pas être inférieure à **2500 à 1500 semis/ha**. Les conditions requises en **futaies irrégulières** sont un peu inférieures puisque l'on considérera comme suffisant une densité de semis minimum de **1500 semis/ha** et au moins **15% de la surface** occupée par des semis.

La densité de semis est très importante car c'est elle qui va conditionner l'intensité et l'efficacité de la sélection naturelle. Cette sélection va s'exercer surtout dans les phases juvéniles (avant intervention du forestier) et se traduire par une purge génétique précoce permettant d'éliminer la majorité des semis autofécondés et des individus les plus consanguins, assurant ainsi le maintien d'une forte diversité génétique au sein de la régénération. L'efficacité de cette purge est d'autant plus marquée et précoce que la compétition entre semis sera vive. Elle s'exprime pour des valeurs de densité/ha supérieures à celles retenues pour des plantations. La compétition pour la lumière, mais aussi les ressources nutritives et l'eau, représente donc une pression de sélection significative au sein des taches de régénération, de force variable suivant la densité locale de semis. C'est pourquoi les seuils de densité/ha de semis mentionnés dans les guides de sylviculture doivent être considérés comme des minima stricts et non comme des seuils acceptables.

Une fois la régénération acquise, la **coupe définitive** pourra intervenir après un délai minimum de **5 ans**. Une régénération acquise en une seule fois ne permet pas de représenter correctement toutes les contributions parentales, c'est pourquoi nous préconisons 5 ans pour qu'il y ait d'autres événements de reproduction qui puissent enrichir en terme génétique la régénération. Mais des travaux sur le douglas montrent qu'au delà de 5 ans on n'augmente plus la diversité.

Afin de conserver des ressources bien adaptées aux conditions pédo-climatiques actuelles, il est conseillé de les renouveler par régénération naturelle et de compléter si besoin par plantation avec du matériel récolté localement.

S'il l'on souhaite adapter les populations à des conditions futures, la régénération naturelle, avec un temps de rotation plus court favorisant la recombinaison des gènes, est aussi préconisée. La migration assistée et l'hybridation avec des matériels non autochtones permettant leur renforcement est aussi une possibilité permettant d'accélérer l'adaptation des espèces aux nouvelles conditions environnementales. Toutefois, si sur le plan théorique l'hybridation assistée paraît être une des solutions, il serait nécessaire d'en quantifier les impacts positifs ou négatifs.

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographiques citées

Alger E. : 2010 - *Sapinières des Pyrénées*. - ONF, août 2010, 146 p. (Guide des sylvicultures)

Bastien Y., Gauberville C. (coord.): 2011 - *Vocabulaire forestier. Écologie, gestion et conservation des espaces boisés*. - IDF/CNPF, AgroParisTech, ONF, 608 p.

Aspe P. : 2009 - *Flux de gènes en phase de régénération naturelle chez le pin sylvestre, Pinus sylvestris L. : impact de la structure des peuplements reproducteurs à différentes échelles spatiales et conséquences en gestion forestière*. - Thèse de l'université d'Orléans. 191 p.

Becker M., Levy G. : 1983 - Le dépérissement du chêne, les causes écologiques. Exemple de la forêt de Tronçais et premières conclusions. - *Revue forestière française*, vol. XXXV, n°5, p. 341-356

Cailleret M. : 2011 - *Causes fonctionnelles du dépérissement et de la mortalité du sapin pectiné en Provence*. - Thèse, Université Paul-Cézanne Aix-Marseille III, 160 p.

CRPF Aquitaine : 2005 - *Schéma Régional de Gestion Sylvicole d'Aquitaine*. - CRPF Aquitaine, 68 p.

CRPF Languedoc-Roussillon : 1998 - *ORF-ORP du Languedoc-Roussillon. Tome 1 : la forêt et ses produits, description et enjeux*. - CRPF LR, 1998, 156 p.

CRPF Languedoc-Roussillon : 2001 - *ORF-ORP du Languedoc-Roussillon. Tome 2 : forêts privées et orientations de gestion*. - CRPF LR, 2001, 87 p.

CRPF Midi-Pyrénées : 2004 - *Schéma Régional de Gestion Sylvicole pour les forêts privées de la Région Midi-Pyrénées*. - CRPF MP, 235 p.

Delatour C. : 1990 - Dépérissement des chênes et pathogènes. *Revue Forestière Française*, XLII, p. 182-185

Drénou C. : 2012 - La méthode ARCHI. *Forêt entreprise* n°203, p. 29-31

Drénou C., Bouvier M., Lemaire J. : 2011 - La méthode de diagnostic ARCHI. Application aux chênes pédonculés dépérissants. *Forêt entreprise* n°200, p. 4-15

Drénou C., Bouvier M., Lemaire J. : 2012 - Rôles des gourmands dans la résilience des chênes pédonculés dépérissants. *Forêt Wallonne* n°116, p. 42-55

Dupias G. : 1985 - *Végétation des Pyrénées : Notice détaillée de la partie pyrénéenne des feuilles 69 Bayonne - 70 Tarbes - 71 Toulouse - 72 Carcassonne - 76 Luz - 77 Foix - 78 Perpignan*. - Toulouse : Service de la Carte de la Végétation de la France, 1985, 209 p.

Fady B., Forest I., Hochu I., Ribiollet A., de Beaulieu J.L., Pastuzska P. : 1999 - Genetic differentiation in *Abies alba* populations from south-eastern France. *Forest Genetics*, 6(3), p. 129-138

FNCOFOR, ONF : 2007 - *Fiches techniques des travaux forestiers*

Gamisans J. : 1999 - *La végétation de la Corse*. - Aix-en-P. : Edisud, 1999, 391 p.

Giraud F. : 2012 - Suivi du dépérissement du sapin pectiné (*Abies alba* Mill.) dans les Pyrénées : croisement de deux méthodes, l'architecture et la télédétection, à deux échelles spatiales différentes, ENSSA, Université de Bordeaux 1, 34 pp.

Gonin P. : 2001 - *Les types de stations forestières sur les Petites Pyrénées, le Plantaurel et la Bordure sous-pyrénéenne*. - Toulouse : CETEF Garonnais, CRPF Midi-Pyrénées, 2001, tome 1 : 349 p., tome 2 : 119 p.

Konnert, M., Bergmann, F. : 1995 - The geographical distribution of genetic variation of silver fir (*Abies alba*, *Pinaceae*) in relation to its migration history. *Plant Syst. Evol.* 196, p. 19-30

Larrieu L., Nys C., Jabiol B. : 2007 - prise en compte de la fragilité chimique des sols forestiers dans les conseils de gestion. Illustration pour une sapinière-hêtraie montagnarde sur roche acide (vallée d'Aure, Hautes-Pyrénées). *Revue forestière française*, 2007, vol. 58-6, p.531-548

Liepelt S., Cheddadi R., de Beaulieu J.L., Fady B., Gömöry D., Hussendörfer E., Konnert M., Litt T., Longauer R., Terhürne-Berson R., Ziegenhagen B. : 2009 - Postglacial range expansion and its genetic imprints in *Abies alba* (Mill.) - a synthesis from paleobotanic and genetic data. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 153, p. 139-149

Nourtier M. : 2011 - *La vulnérabilité du sapin pectiné (Abies alba Mill) à la sécheresse en milieu méditerranéen selon les propriétés du sol*. - Thèse, Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, 244 p.

ONF. Direction technique : 2004 - Diversité génétique des arbres forestiers : un enjeu de gestion ordinaire. *RenDez-Vous Techniques*, hors-série n° 1, 130 p.

ONF : 2006 - DRA-SRA Forêts Pyrénéennes, juillet 2006, Direction Territoriale Sud-Ouest, Région Midi-Pyrénées (cadre régional d'Aménagement)

ONF. Direction technique : 2012 - La CRGF : regard sur 20 ans d'action et nouveaux enjeux. *RenDez-Vous Techniques*, n° 36-37, été 2012, p. 9-56 (dossier thématique)

ONF : 2012 - Aménagement forestier de la Forêt Domaniale de Sainte-Croix Volvestre 2012-2031

Ozenda P. : 1994 - *La végétation du continent européen*. - Paris : Delachault et Niestlé, 1994, 271 p.

Pichot C., Bastien C., Courbet F., Demesure-Musch B., Dreyfus P., Fady B., Frascaria-Lacoste N., Gerber S., Fefèvre F., Morand-Prieur M.E., Oddou S., Tessier du Cros E. et Valadon A. : 2006 - *Déterminants et conséquences de la qualité génétique des graines et semis lors de la phase initiale de régénération naturelle des peuplements forestiers*. Colloque National du BRG, La Rochelle (FRA).

Plas G., Valadon A., Fady B. : 2008 - Conserver les ressources génétiques du sapin pectiné en France : pourquoi, comment ? *RenDez-Vous Techniques* n° 19, p. 55-63

Rameau J.C., Mansion D., Dumé G. : 1993 - Flore forestière française : 2 - Montagnes. - Paris : Institut pour le Développement Forestier, 1993, 2421 p.

Robledo-Arnuncio J.J. et Gil L. : 2005 - Patterns of pollen dispersal in a small population of *Pinus sylvestris* L. revealed by total-exclusion paternity analysis. *Heredity* 94, p. 13-22

Savoie J.-M. : 1995 - *Les types de stations forestières des Pyrénées centrales*. - Toulouse : ONF, 1995, 507 p.

Sergent A.S. : 2011 - *Diversité de la réponse au déficit hydrique et vulnérabilité au dépérissement du Douglas*. - Thèse, Université d'Orléans.

Wang K. : 2003 - Genetic diversity and temporal genetic structure in European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Silvae Genetica* 52, p. 100-106

Autres références bibliographiques

Bal M.-C., Métaillé J.-P. : 2005 - Propositions méthodologiques pour l'étude des feux agrosylvo-pastoraux en montagne pyrénéenne. Evolution quantitative et qualitative des résidus d'incendie à partir des analyses pédoanthracologiques. *Anthropozoologica*, 40-1, p. 81-93.

Bartoli M. : 2001 - Réflexions sur la gestion de la diversité génétique du Sapin et sur la place de l'Epicéa dans les Pyrénées. *Revue forestière française*, 2001, vol.53 (Spécial), p.141-148

Beyraut G. : 1990 - Etude de la variabilité géographique du Sapin pectiné (*Abies alba* Mill.) dans son aire naturelle française. – INRA, Université de Pau, 1990 – 38 p. (DEA)

Galop D. : 1998 - *La forêt, l'homme et le troupeau dans les Pyrénées, 6000 ans d'histoire de l'environnement entre Garonne et Méditerranée*. - GEODE, Laboratoire d'Ecologie Terrestre, FRAMESPA, 285 p.

Galop D., Mazier F., Lopez-Saez J.-A., Vanniere B. : 2004 - Palynologie et histoire des activités humaines en milieu montagnard. Bilan provisoire des recherches et nouvelles orientations méthodologiques sur le versant nord des Pyrénées. *Archéologie du midi médiéval*, 21, p. 159-170

Garrachon Merino S. : 1996 - *Variabilité génétique du Sapin pectiné (Abies alba Mill.) en région méditerranéenne française. Variabilité des caractères adaptatifs en pépinière*. – Nancy : ENGREF INRA, 1996, 161 p. (mémoire de fin d'études)

Leveque L., Demesure B., Vallance M., Lamant T. : 1999 - *L'ONF et la diversité génétique des arbres forestiers*. BT ONF, 1999, n° 38, 48 p.

Lucau-Danila A. : 1985 - *Etudes de la variabilité génétique du Sapin pectiné (Abies alba Mill.) à l'aide des marqueurs enzymatiques et terpéniques*. – Nancy : ENGREF, 1985, 17 p. (Rapport de stage)

Peakall R., Smouse P. E. : 2006 - GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes* 6, p. 288–295

Pritchard J.K., Stephens M., Donnelly P. J. : 2000 - Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155, p. 945-959

Belletti P., Ferrazzini D., Piotti A., Monteleone I., Ducci F. : 2012 - Genetic variation and divergence in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) within its natural range in Italy. *Eur J Forest Res* 01/2012, 131, DOI 10.1007/s10342-011-0584-3, p. 1127–1138

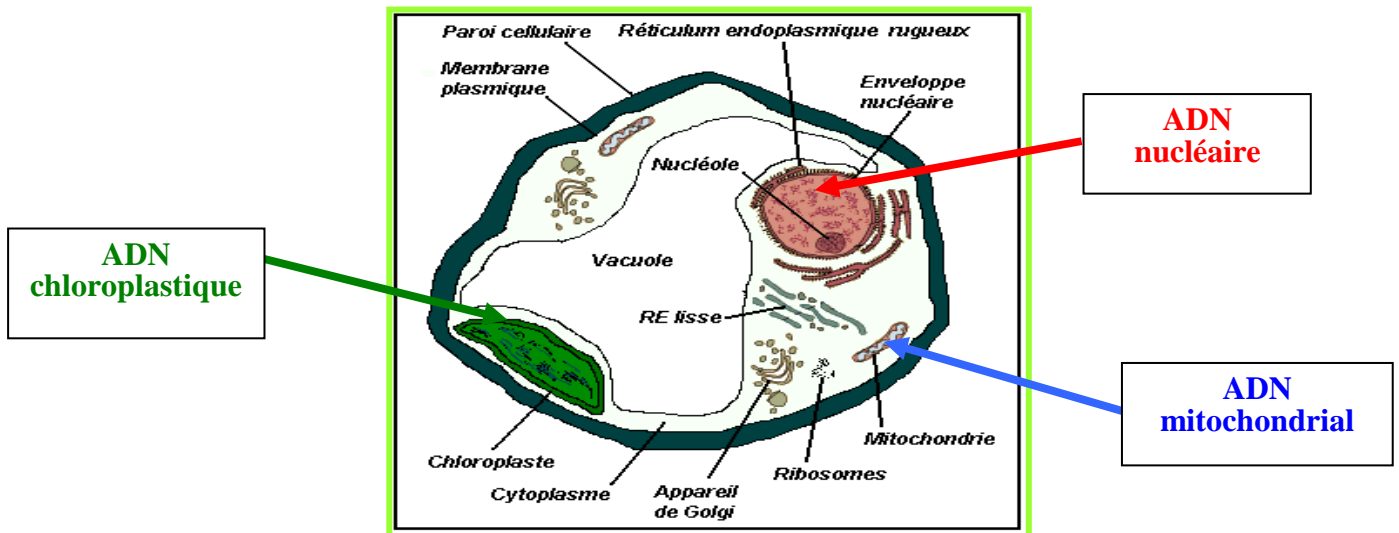
LEXIQUE

GENETIQUE

Source : Conservatoire Génétique des Arbres Forestiers (CGAF) et numéro hors-série n° 1 de la revue Rendez-vous techniques de l'ONF : « Diversité génétique des arbres forestiers : un enjeu de gestion ordinaire » (2004)

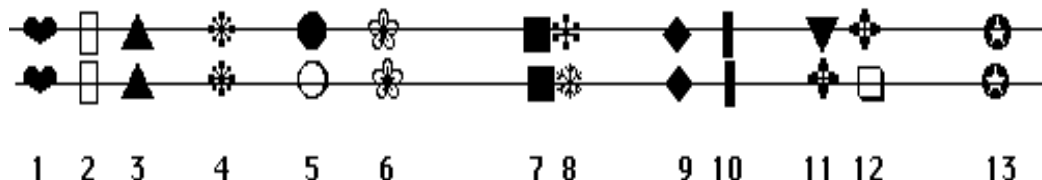
Adaptation : changement structurel et/ou fonctionnel qui améliore la capacité de survie et de reproduction d'une population ou d'un organisme. L'adaptation peut se faire par changement phénotypique en réponse aux conditions environnementales au niveau individuel, ou par changement évolutif de la composition génétique au niveau de la population.

ADN (acide désoxyribonucléique) : constituant essentiel des chromosomes et support matériel de l'hérédité. Cette macromolécule est constituée d'un enchaînement (ou séquence) précis, en double brin, de 4 molécules élémentaires, les nucléotides (notés A, T, G, C). On distingue, chez les végétaux, l'ADN nucléaire, l'ADN mitochondrial et l'ADN chloroplastique selon leur emplacement dans la cellule.



Les génomes des cellules végétales (adapté de C. Bastien, Inra)

Allèle : l'une des formes particulières (ou valeur) que peut prendre un même gène, déterminant ainsi l'un des états possibles du caractère codé par ce gène. Les allèles occupent le même emplacement (ou locus) sur chacun des 2 chromosomes d'une même paire (chromosomes homologues).



Deux allèles distincts pour les gènes 5, 8, 11 et 12 d'une paire de chromosomes homologues (extrait de <http://ead.univ-angers.fr>)

Chloroplaste : organe des cellules végétales contenant la chlorophylle et siège de la photosynthèse. Le génome chloroplastique (ADN_{cp}) est transmis par le parent femelle chez les feuillus, par le parent mâle chez les résineux.

Chromosome : apparaissant dans la cellule en cours de division, sous forme de bâtonnets qui subissent des processus complexes de dédoublement et de séparation, les chromosomes sont les supports matériels des gènes. Toutes les cellules d'un même organisme diploïde comportent 2n chromosomes ($n = 23$ chez l'homme), à l'exception des cellules sexuelles matures (les gamètes, pollen et ovules chez les plantes), qui ne renferment que n chromosomes.

Dérive génétique : dans les populations d'effectif limité, changement aléatoire dans la fréquence des allèles d'une génération à l'autre, lié à un effet d'échantillonnage. Paramètre majeur dans les populations de très faible effectif (par exemple lorsqu'un petit groupe s'isole d'une population plus grande), mais se produit dans toutes les populations d'effectif fini.

Différentiation génétique (entre populations) : proportion de la diversité génétique distribuée entre les populations par rapport à la variabilité génétique de l'ensemble des populations. Elle est généralement évaluée à l'aide d'un coefficient de différenciation qui mesure la part de la diversité inter-populations par rapport à la diversité intra-population dans la diversité totale. Ce coefficient de différenciation peut être défini au niveau de caractères quantitatifs comme de marqueurs moléculaires.

Distance génétique : degré d'homologie (donc de parenté) entre deux génomes (ou ensembles de génomes d'une population) différents.

Diversité génétique : ensemble des différents variants génétiques observés dans un ensemble d'individus. Il existe différents indices pour la caractériser : par exemple, le nombre d'allèles différents, la diversité génétique de Nei. La diversité peut être évaluée à différents niveaux : à l'intérieur d'une population, à l'intérieur d'un ensemble de populations, ou sur toute l'aire de répartition d'une espèce.

Gène : unité fonctionnelle de base de l'hérédité, transmise d'une génération à l'autre. C'est l'unité d'information génétique (segment exprimé d'ADN) pouvant déterminer l'expression d'un caractère. La fonction d'un gène correspond au phénotype (caractéristiques moléculaires, biologiques et physiologiques) auquel il conduit. Les gènes ne constituent qu'une partie du génome d'un individu.

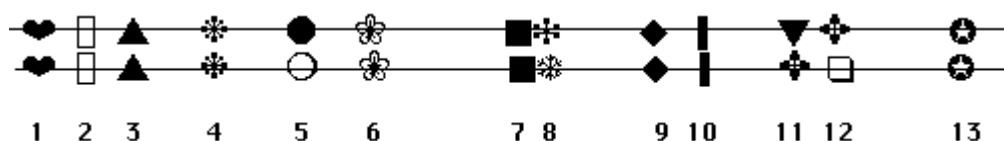
Génotype : ensemble des caractères héréditaires (exprimés ou latents non définis) propres à un individu. Son expression dans un environnement donné conduit au phénotype.

Haplotype : génotype d'un organisme haploïde. Ce terme est surtout utilisé pour l'ADN chloroplastique et l'ADN mitochondrial.

Hétérozygote : se dit d'un individu qui possède pour un gène donné deux allèles différents.

Hétérozygotie espérée H_e (ou diversité génétique de Nei) : taux d'hétérozygotie ou moyenne des fréquences des hétérozygotes observées à chacun des loci étudiés. Ce paramètre fournit une bonne estimation de la variabilité génétique de la population, à condition toutefois que les individus de cette population se reproduisent au hasard.

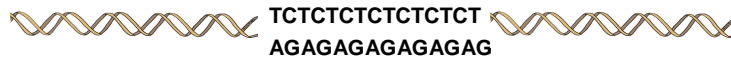
Homozygote : se dit d'un individu qui possède pour un gène donné les mêmes allèles aux mêmes loci.



Individu hétérozygote pour les loci 5, 8 et 12, homozygote pour les autres loci
(extrait de <http://ead.univ-angers.fr>)

Locus (pluriel : loci) : emplacement physique précis sur un chromosome, occupé par un gène donné.

Microsatellite : portion de la chaîne d'ADN constituée de répétitions de motifs composés de 1 à 4 nucléotides, de type : AAAAAA = (A)₅, GAGAGAGAGAGAGA = (GA)₇, (CTT)₈ ou (AGCT)_n où *n* varie de quelques unités à plusieurs dizaines. Les microsatellites sont des régions très polymorphes de l'ADN, qui constituent donc des marqueurs génétiques très puissants utilisés pour les empreintes génétiques par exemple.



Microsatellite de type (AG)₇

Migration : force évolutive correspondant au passage de gènes d'une population dans une autre par le transfert de pollen, graines, propagules ou morceaux de plantes. La migration peut se traduire par fondation d'une nouvelle population. Cette force évolutive est à l'origine de flux géniques importants entre populations, elle limite la divergence génétique entre populations et s'oppose à l'adaptation locale et à la dérive génétique.

Phénotype : caractères observables (moléculaires, biologiques ou physiologiques) d'un individu, résultant des effets conjugués du génotype et du milieu. Pour la plupart des caractères, le phénotype résulte des effets conjoints de 3 composantes : le génotype G, l'environnement E qui contribue toujours pour une part au phénotype, et l'interaction entre le génotype et l'environnement I_{GxE}. Cette interaction est très importante car elle signifie que l'expression d'un gène n'est pas indépendante du milieu dans lequel ce gène s'exprime.

Polymorphisme : variabilité d'origine génétique présente dans les populations due à la présence de plusieurs allèles en un locus donné.

Population : ensemble des individus de la même espèce qui ont la possibilité physique de s'interféconder. La population se caractérise donc par un patrimoine génétique (son pool génétique) qui est la somme des génotypes individuels pour chacun des gènes.

Ressources génétiques : ensemble du patrimoine génétique d'une espèce.

Richesse allélique : nombre d'allèles présents à un locus donné. Elargie à une population, il s'agit de la moyenne des richesses alléliques aux différents locus considérés.

Taille efficace d'une population (N_e) : dans une population réelle d'effectif N, N_e est le nombre d'individus « idéaux » (contribuant tous à la reproduction, et tous dans les mêmes proportions) qui conduirait à la même érosion de diversité génétique par dérive que la population réelle. C'est donc l'effectif qu'aurait la population de référence soumise au même rythme d'évolution. L'écart entre N et N_e résulte de divers processus : succès reproductifs inégaux, régime de reproduction dioïque, décalage phénologiques entre individus... La notion de taille efficace d'une population n'a donc "rien à voir" avec l'effectif réel de cette population, c'est un paramètre de quantification de l'évolution génétique de cette population.

SYLVICULTURE

Dégagement : Intervention sylvicole de maîtrise de la végétation concurrente et de dosage des essences dans de jeunes peuplements forestiers de hauteur inférieure à 3 mètres.

Dépressage : Intervention sylvicole de réduction significative de la densité des tiges des essences principales dans de jeunes peuplements forestiers. Elle précède la première éclaircie et porte sur des produits généralement non marchands.

Éclaircie : Coupe généralement sélective réduisant le nombre de tiges et prélevant des produits marchands. L'éclaircie est le plus souvent une coupe d'amélioration réalisée dans un peuplement forestier régulier dans le but de favoriser la stabilité, la dominance et une croissance soutenue des arbres d'avenir ; elle concourt aussi au dosage des essences.

Élagage artificiel : L'élagage artificiel correspond à des coupes de branches basses (vivantes ou mortes) d'un arbre de façon à améliorer la qualité du bois qu'il produira.

Nettoisement : Intervention relevant des travaux sylvicoles, ayant pour but de doser le mélange des essences dans de jeunes peuplements forestiers de hauteur supérieure à 3 mètres, complétée par des opérations sanitaires et d'enlèvement de tiges mal conformées.

Relevé relascopique : Méthode qui sert à estimer la surface terrière d'un peuplement forestier à l'aide d'un instrument de mesure optique appelé relascope.

Résilience : Capacité que possède un écosystème ou une partie d'un écosystème (sol, communautés végétale ou animale, peuplement forestier, arbre, etc.) à retrouver son état d'origine, par différents processus de dynamique progressive, après sa destruction totale ou partielle par un aléa naturel ou une perturbation.

Surface terrière : Pour un arbre, aire (g) de la section perpendiculaire à l'axe de son tronc à 1,30 m du sol (en m²). Appliquée à un peuplement forestier, somme (G) des sections à 1,30 m du sol de tous les arbres précomptables, exprimée en m²/ha. On entend par arbre précomptable, un arbre dont le diamètre est supérieur à une limite, généralement fixée à 17,5 cm (en particulier dans le cas des inventaires de l'ONF).

ANNEXES

ANNEXE 1 - DEFINITION DES TYPES DE PEUPELEMENT IFN COMPORTANT DU SAPIN

Types de peuplement forestier regroupés	Types de peuplement forestier départementaux IFN (libellé homogénéisé entre les départements)	Code	Libellé IFN d'origine	Dép.	Définition
FUTAIE DE SAPIN	Futaie de sapin	CU	FUTAIE DE SAPIN	31, 64	PEUPELEMENT DE STRUCTURE FUTAIE A COUVERT DE SAPIN >75% DU COUVERT BOISE ET A VOCATION DE PRODUCTION
		CU	FUTAIE DE SAPIN	65	PEUPELEMENT DE STRUCTURE FUTAIE A COUVERT DE SAPIN (OU RARES PEUPELEMENTS DE PIN SYLVESTRE PIN A CROCHETS OU EPICEA) >75% DU COUVERT BOISE
		CU	FUTAIE ADULTE DE SAPIN PECTINE	11, 66	FUTAIE FERMEE OU LE COUVERT LIBRE RELATIF DU SAPIN PECTINE EST SUPERIEUR OU EGAL A 75 %, ET DE VOLUME A L'HECTARE NON NEGLIGEABLE
	Vieille futaie de sapin	CUV	VIEILLE FUTAIE DE SAPIN	09	
	Futaie d'âge moyen de sapin	CUM	FUTAIE D'AGE MOYEN DE SAPIN	09	
	Jeune futaie de sapin	CUJ	FUTAIE JEUNE DE SAPIN PECTINE	11, 66	FUTAIE FERMEE OU LE COUVERT LIBRE RELATIF DU SAPIN PECTINE EST SUPERIEUR OU EGAL A 75 %, ET DE VOLUME A L'HECTARE NEGLIGEABLE
	Futaie de sapin (protection)	CUJ	JEUNE FUTAIE DE SAPIN	09	
	Futaie d'âge moyen de sapin	CU9	FUTAIE DE SAPIN (PROTECTION)	31	PEUPELEMENT DE STRUCTURE FUTAIE A COUVERT DE SAPIN >75% DU COUVERT BOISE ET A VOCATION DE PROTECTION
FUTAIE DE SAPIN ET FEUILLUS	Futaie mixte de sapin et hêtre	FU	FUTAIE MIXTE DE SAPIN ET HETRE	64	PEUPELEMENT DE STRUCTURE FUTAIE A COUVERT DE SAPIN >25% DU COUVERT BOISE ET A COUVERT DE HETRE >25% DU COUVERT BOISE
		FU	FUTAIE MIXTE DE SAPIN ET HETRE	65	PEUPELEMENT DE STRUCTURE FUTAIE A COUVERT DES FEUILLUS (GENERALEMENT HETRE) >25% DU COUVERT BOISE ET A COUVERT DE SAPIN >25% DU COUVERT BOISE
	Futaie mixte de sapin et hêtre (conifères maj.)	FU2	FUTAIE MIXTE DE HETRE ET SAPIN PECTINE (CONIF. MAJORITAIRES)	11, 66	FUTAIE FERMEE MIXTE OU LE COUVERT LIBRE RELATIF DU HETRE EST AU MOINS EGAL A 25 % ET LE COUVERT LIBRE RELATIF DU SAPIN PECTINE AU MOINS EGAL A 25 %, LE COUVERT LIBRE RELATIF TOTAL DES FEUILLUS ETANT INFERIEUR A CELUI DES CONIFERES
		FU2	FUTAIE MIXTE DE SAPIN ET FEUILLUS (CONIFERES MAJORITAIRES)	31	PEUPELEMENT DE STRUCTURE FUTAIE A COUVERT DES FEUILLUS >25% DU COUVERT BOISE ET A COUVERT DE SAPIN >50% DU COUVERT BOISE ET A VOCATION DE PRODUCTION
	Futaie mixte de sapin et hêtre (feuillus maj.)	FU1	FUTAIE MIXTE DE HETRE ET SAPIN PECTINE (FEUIL. MAJORITAIRES)	11, 66	FUTAIE FERMEE MIXTE OU LE COUVERT LIBRE RELATIF DU HETRE EST AU MOINS EGAL A 25 % ET LE COUVERT LIBRE RELATIF DU SAPIN PECTINE AU MOINS EGAL A 25 %, LE COUVERT LIBRE RELATIF TOTAL DES FEUILLUS ETANT SUPERIEUR A CELUI DES CONIFERES
		FU1	FUTAIE MIXTE DE SAPIN ET FEUILLUS (FEUILLUS MAJORITAIRES)	31	PEUPELEMENT DE STRUCTURE FUTAIE A COUVERT DES FEUILLUS >50% DU COUVERT BOISE ET A COUVERT DE SAPIN >25% DU COUVERT BOISE ET A VOCATION DE PRODUCTION

	Vieille futaie mixte de sapin et hêtre	FUV	VIEILLE FUTAIE MIXTE DE SAPIN ET HETRE	09	
	Futaie mixte d'âge moyen de sapin et hêtre	FUM	FUTAIE MIXTE D'AGE MOYEN DE SAPIN ET HETRE	09	
	Jeune futaie mixte de sapin et hêtre	FUJ	JEUNE FUTAIE MIXTE DE SAPIN ET HETRE	09	
	Futaie mixte de sapin et hêtre (protection)	FU9	FUTAIE MIXTE DE SAPIN ET FEUILLUS (PROTECTION)	31	PEUPELEMENT DE STRUCTURE FUTAIE A COUVERT DES FEUILLUS >25% DU COUVERT BOISE ET A COUVERT DE SAPIN >25% DU COUVERT BOISE ET A VOCATION DE PROTECTION
		FU9	FUTAIE MIXTE DE SAPIN ET HETRE (PROTECTION)	09	PEUPELEMENT DE STRUCTURE FUTAIE A COUVERT DE SAPIN >75% DU COUVERT BOISE ET A VOCATION DE PROTECTION
PLANTATION DE SAPIN (PURE OU MELANGEE)	Futaie adulte de sapin et épicéa	CW	FUTAIE ADULTE DE SAPIN PECTINE ET D'EPICEA COMMUN	11	FUTAIE FERMEE OU LE COUVERT LIBRE RELATIF DU GROUPE DU SAPIN PECTINE ET DE L'EPICEA COMMUN EST SUPERIEUR OU EGAL A 75 %, SANS QUE L'UNE DES DEUX ESSENCES N'ATTEIGNE A ELLE SEULE CETTE VALEUR, ET DE VOLUME A L'HECTARE NON NEGLIGEABLE
	Jeune futaie de sapin et épicéa	CWJ	FUTAIE JEUNE DE SAPIN PECTINE ET D'EPICEA COMMUN	11	FUTAIE FERMEE OU LE COUVERT LIBRE RELATIF DU GROUPE DU SAPIN PECTINE ET DE L'EPICEA COMMUN EST SUPERIEUR OU EGAL A 75 %, SANS QUE L'UNE DES DEUX ESSENCES N'ATTEIGNE A ELLE SEULE CETTE VALEUR, ET DE VOLUME A L'HECTARE NEGLIGEABLE
	Reboisement en plein de sapin	EU	REBOISEMENT EN PLEIN DE SAPINS	09	REBOISEMENT DE MOINS DE 40 ANS EFFECTUE EN PLEIN ET A COUVERT DE SAPIN >75% DU COUVERT BOISE
	Reboisement en bande ou sous-abri de sapin - épicéa (conifères maj.)	PU2	REBOISEMENT EN BANDES OU SOUS ABRI DE SAPIN-EPICEA (C. MAJ.)	09	REBOISEMENT DE MOINS DE 40 ANS EN SAPIN EFFECTUE EN BANDES OU PAR TACHES ET A CONIFERES GLOBALEMENT PREPONDERANTS (déf. 31)
	Reboisement en bande ou sous-abri de sapin - épicéa (feuillus maj.)	PU1	REBOISEMENT EN BANDES OU SOUS ABRI DE SAPIN-EPICEA (F. MAJ.)	09	31 : REBOISEMENT DE MOINS DE 40 ANS EN SAPIN EFFECTUE EN BANDES OU PAR TACHES ET A FEUILLUS GLOBALEMENT PREPONDERANTS (déf. 31)

ANNEXE 2 - SURFACES DES TYPES DE PEUPELEMENT IFN COMPORTANT DU SAPIN, PAR DEPARTEMENT

Surface en ha

Types de peuplement forestier départementaux IFN	code	64	65	31	09	11	66	Total
Futaie de sapin	CU	4 049	18 522	4 748		11 179	2 470	40 968
Vieille futaie de sapin	CUV				1 119			1 119
Futaie d'âge moyen de sapin	CUM				8 515			8 515
Jeune futaie de sapin	CUJ				31	225	15	271
Futaie de sapin (protection)	CU9			208	19			227
Futaie mixte de sapin et hêtre	FU	14 436	6 714					21 150
Futaie mixte de sapin et hêtre (conifères maj.)	FU2			3 310		4 943	190	8 443
Futaie mixte de sapin et hêtre (feuillus maj.)	FU1			1 450		1 017	713	3 180
Vieille futaie mixte de sapin et hêtre	FUV				98			98
Futaie mixte d'âge moyen de sapin et hêtre	FUM				6 362			6 362
Jeune futaie mixte de sapin et hêtre	FUJ				23			23
Futaie mixte de sapin et hêtre (protection)	FU9			50	228			278
Futaie adulte de sapin et épicéa	CW					40		40
Jeune futaie de sapin et épicéa	CWJ					24		24
Reboisement en plein de sapin	EU				426			426
Reboisement en bande ou sous-abri de sapin - épicéa (conifères maj.)	PU2				503			503
Reboisement en bande ou sous-abri de sapin - épicéa (feuillus maj.)	PU1				488			488
TOTAL		18 484	25 236	9 766	17 811	17 429	3 387	92 114

Types de peuplement forestier regroupés	code (1)	64	65	31	09	11	66	Total
FUTAIE DE SAPIN	S	4 049	18 522	4 956	9 684	11 404	2 485	51 100
FUTAIE DE SAPIN ET FEUILLUS	HS	14 436	6 714	4 810	6 710	5 961	903	39 533
PLANTATION DE SAPIN (PURE OU MELANGEE)	P				1 417	64		1 481
TOTAL		18 484	25 236	9 766	17 811	17 429	3 387	92 114

1 - regroupement des types de peuplements IFN :
 S = CU CUV CUM CUJ CU9 ;
 HS = FU FU2 FU1 FUV FUM FUJ FU9 ;
 P = CW CWJ EU PU2 PU1

ANNEXE 3 - SURFACES DES TYPES DE PEUPEMENT IFN COMPORTANT DU SAPIN, PAR TYPE DE PROPRIETAIRE

Surface en ha

Types de peuplement forestier départementaux IFN	code	COMMUNAL	DOMANIAL	PRIVE	Total
Futaie de sapin	CU	24 567	9 572	6 829	40 968
Vieille futaie de sapin	CUV	218	890	11	1 119
Futaie d'âge moyen de sapin	CUM	2 116	3 544	2 856	8 515
Jeune futaie de sapin	CUJ	81	102	87	271
Futaie de sapin (protection)	CU9	191		37	227
Futaie mixte de sapin et hêtre	FU	17 653	1 138	2 359	21 150
Futaie mixte de sapin et hêtre (conifères maj.)	FU2	3 492	2 681	2 271	8 443
Futaie mixte de sapin et hêtre (feuillus maj.)	FU1	1 470	1 296	414	3 180
Vieille futaie mixte de sapin et hêtre	FUV		98		98
Futaie mixte d'âge moyen de sapin et hêtre	FUM	2 471	1 553	2 338	6 362
Jeune futaie mixte de sapin et hêtre	FUJ			23	23
Futaie mixte de sapin et hêtre (protection)	FU9	158		120	278
Futaie adulte de sapin et épicéa	CW	2	22	15	40
Jeune futaie de sapin et épicéa	CWJ		24		24
Reboisement en plein de sapin	EU	265	17	144	426
Reboisement en bande ou sous-abri de sapin - épicéa (conifères maj.)	PU2	417	68	18	503
Reboisement en bande ou sous-abri de sapin - épicéa (feuillus maj.)	PU1	393	33	63	488
TOTAL		53 492	21 036	17 585	92 114

Types de peuplement forestier regroupés	Code (1)	COMMUNAL	DOMANIAL	PRIVE	Total
FUTAIE DE SAPIN	S	27 172	14 108	9 820	51 100
FUTAIE DE SAPIN ET FEUILLUS	HS	25 243	6 765	7 525	39 533
PLANTATION DE SAPIN (PURE OU MELANGEE)	P	1 077	164	240	1 481
TOTAL		53 492	21 036	17 585	92 114

Région		COMMUNAL	DOMANIAL	PRIVE	Total
Languedoc-Rousillon (11 et 66)		9 638	4 228	6 950	20 816
Midi-Pyrénées (09, 31, 65)		11 398	31 766	9 649	52 813
Aquitaine (64)		0	17 498	986	18 484
TOTAL		21 036	53 492	17 585	92 114

1 - regroupement des types de peuplements IFN : S = CU CUV CUM CUJ CU9 ; HS = FU FU2 FU1 FUV FUM FUJ FU9 ;
P = CW CWJ EU PU2 PU1

ANNEXE 4 - LISTE DES PLACETTES

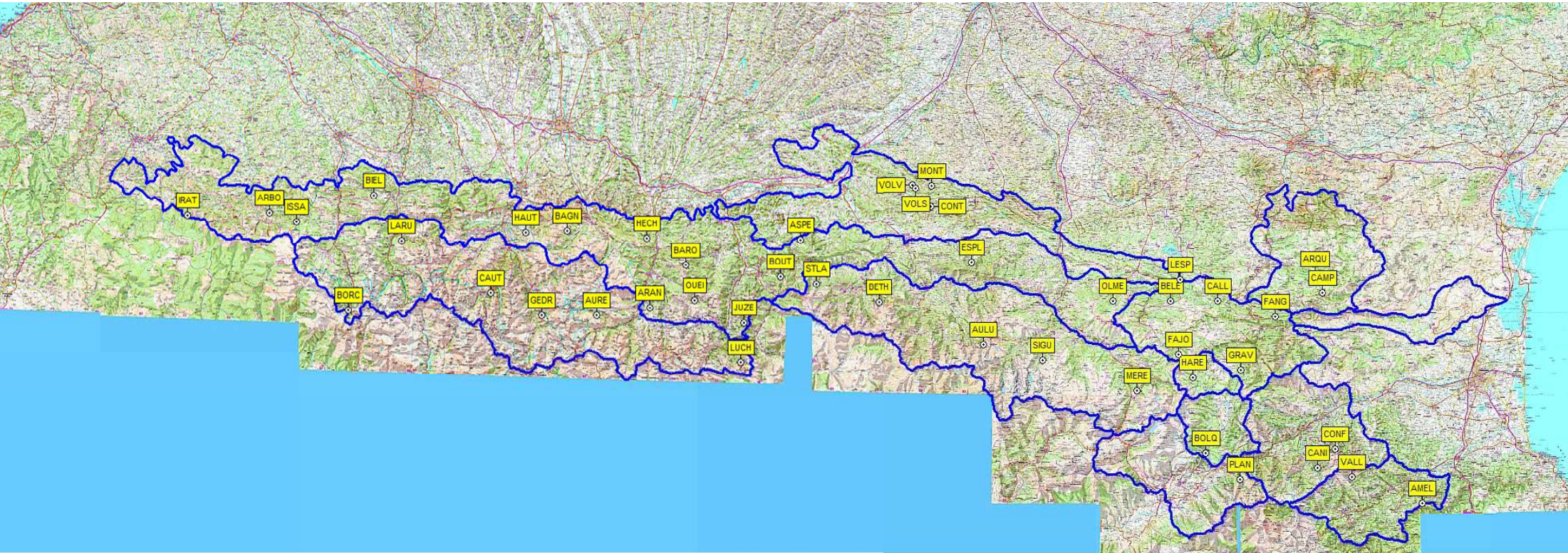
Nom	Région	Dép.	Région IFN nationale (dép.)	Zone étude « Pin » p. 84	Localisation Commune et nom forêt	Foncier	Particularités	x Longitude (°déc)	y Latitude (°déc.)	Alt. (m)
	Pyrénées									
ARBO	Aquitaine	64	Front pyrénéen	B11	Sainte Engrâce : FC de Sainte Engrâce (bois d'Arbouty)	C		-0,81404	43,01377	1178
IRAT	Aquitaine	64	Front pyrénéen	B11	Larrau : FC d'Iraty	C		-1,06778	43,00032	1072
BIEL	Aquitaine	64	Front pyrénéen	B5	Bielle : FC Bielle et Bilhères	C		-0,49570	43,06169	980
ISSA	Aquitaine	64	Front pyrénéen	B6	Osse en Aspe : FS d'Issaux	S	peuplement sélectionné AAL601-015	-0,73105	42,99752	1394
LARU	Aquitaine	64	Haute chaîne pyrénéenne	B5	Eaux-Bonnes : Forêt syndicale d'Assouste	P		-0,40690	42,96355	1341
BORC	Aquitaine	64	Haute chaîne pyrénéenne	B6	Borce : FC de Borce (lac d'Anglus)	C	Zone cœur du Parc National des Pyrénées	-0,56232	42,80815	1362
BARO	Midi-Pyrénées	65	Front pyrénéen	hz	Ferrère : FD de Barousse	D	peuplement sélectionné AAL601-007	0,46835	42,92875	1283
HECH	Midi-Pyrénées	65	Front pyrénéen	hz	Hèches : GF d'Hèches (Baronnies)	P		0,34572	42,98587	1116
BAGN	Midi-Pyrénées	65	Front pyrénéen	B1	Bagnères de Bigorre : FC de Bagnères de Bigorre	C	peuplement sélectionné AAL601-014	0,10055	42,99752	1369
HAUT	Midi-Pyrénées	65	Front pyrénéen	B2	Vier-Bordes : FS (Hautacam)	S		-0,02528	42,99173	1416
ARAN	Midi-Pyrénées	65	Front pyrénéen	B3	Camparan : FC de Camparan	C	peuplement sélectionné AAL601-008	0,36288	42,83447	1333
CAUT	Midi-Pyrénées	65	Haute chaîne pyrénéenne	B2	Cauterets : Forêt de la Commission syndicale de la Vallée de Saint-Savin	S	Zone cœur du Parc National des Pyrénées	-0,12768	42,85525	1456
GEDR	Midi-Pyrénées	65	Haute chaîne pyrénéenne	B2	Gèdre : FC de Gèdre (Sapinière de Barrada)	C	Site d'étude « Vieilles Forêts Pyrénéennes »	0,03182	42,81127	1521
AURE	Midi-Pyrénées	65	Haute chaîne pyrénéenne	B3	Aragnouet : FC d'Aragnouet (sapinière de Couplan)	C		0,19853	42,81510	1578
ASPE	Midi-Pyrénées	31	Front pyrénéen	B4	Aspet : FC d'Aspet	C		0,81955	42,99085	872
BOUT	Midi-Pyrénées	31	Front pyrénéen	B4	Boutx : FC de Boutx	C	Placette Silvapyr dépérissement 31C1N	0,76042	42,90823	1449
JUZE	Midi-Pyrénées	31	Front pyrénéen	B4	Juzet de Luchon : FD de la Cigalère (FD de Juzet de Luchon et FD d'Artigue)	D	peuplement sélectionné AAL601-002	0,65145	42,80658	1385
OUEI	Midi-Pyrénées	31	Front pyrénéen	B4	Bourg d'Oueil : FD de Bourg d'Oueil	D		0,49810	42,85260	1649
LUCH	Midi-Pyrénées	31	Haute chaîne pyrénéenne	B4	Bagnères de Luchon : FC de Bagnères de L.	C		0,64454	42,71897	1459
MONT	Midi-Pyrénées	31	Petites Pyrénées et Plantaurel (Pré et petites Pyrénées)	hz	Montbrun bocage : Forêt de M. Lannes	P		1,22085	43,11188	456
CONT	Midi-Pyrénées	09	Petites Pyrénées et Plantaurel	hz	Contraazy : Forêt de M. Naudin	P		1,21825	43,06676	462
VOLS	Midi-Pyrénées	09	Petites Pyrénées et Plantaurel	hz	Ste Croix Volvestre : FD Ste Croix Volvestre	D	forêt ancienne	1,17229	43,10648	398

VOLV	Midi-Pyrénées	09	Petites Pyrénées et Plantaurel	hz	Ste Croix Volvestre : FD Ste Croix Volvestre	D	forêt récente	1,16199	43,11285	348
LESP	Midi-Pyrénées	09	Petites Pyrénées et Plantaurel	hz	Lesparrou : GF de Vilhac	P		1,98515	42,91322	547
ESPL	Midi-Pyrénées	09	Front pyrénéen	hz	Esplas de Sérou : FD de Belissens	D	Placette Silvapyr déperissement 09C1R	1,34609	42,94636	953
OLME	Midi-Pyrénées	09	Front pyrénéen	B9	Montferrier : FC de Montferrier	C		1,77903	42,86439	1457
HARE	Midi-Pyrénées	09	Quérigut	B8	Mijanès : FD des Hares	D	Unité Conservatoire AA11	2,02433	42,69902	1587
BELE	Midi-Pyrénées	09	Pays de Sault (Bordure ariégeoise du Pays de Sault)	hz	Bélesta : GF de Cabrefol	P	Peuplement sélectionné AAL361-004	1,95635	42,86657	915
AULU	Midi-Pyrénées	09	Haute chaîne pyrénéenne (Hte chaîne du Couserans)	B7	Aulus les Bains : FC d'Aulus les Bains	C		1,38686	42,76699	1358
BETH	Midi-Pyrénées	09	Haute chaîne pyrénéenne (Hte chaîne du Couserans)	B7	Bethmale : FD de Bethmale	D		1,06493	42,85663	1621
MERE	Midi-Pyrénées	09	Haute chaîne pyrénéenne (haute Ariège et Vicdessos)	B9	Mérens : FD de la Haute-Ariège	D		1,85508	42,66987	1679
STLA	Midi-Pyrénées	09	Haute chaîne pyrénéenne (Hte chaîne du Couserans)	B7	St Lary : FD de St Lary	D	Unité Conservatoire AA12	0,87128	42,89503	1417
SIGU	Midi-Pyrénées	09	Haute chaîne pyrénéenne (haute Ariège et Vicdessos)	B9	Siguer : FD du Val de Siguer	D		1,56670	42,73347	1361
CALL	Languedoc-R	11	Pays de Sault	B8	Coudons : FD Callong-Mirailles	D	RENECOFOR : SP 11/95 (réseau A3) et peuplement sélectionné AAL361-001	2,10072	42,86605	972
FAJO	Languedoc-R	11	Pays de Sault	B8	La Fajolle : FD de La Fajolle	D	peuplement sélectionné AAL361-006	1,98117	42,74836	1443
FANG	Languedoc-R	11	Pays de Sault	hz	Lapradelle : FD des Fanges	D	Unité Conservatoire AA07	2,27499	42,83299	896
GRAV	Languedoc-R	11	Pays de Sault	B8	Le Bousquet : FD de Montnaie-Gravas	D		2,17060	42,71505	1592
ARQU	Languedoc-R	11	Corbières occidentales	hz	Arques : FD du Riaseses et FC d'Arques	D et C	Unité Conservatoire AA06	2,39865	42,92594	724
CAMP	Languedoc-R	11	Corbières occidentales	hz	Camps sur l'Agly : FD de l'Eau salée	D		2,42065	42,88526	791
BOLQ	Languedoc-R	66	Capcir	B10	Bolquère : FC de Bolquère	C	peuplement sélectionné AAL361-007	2,06358	42,53335	1715
PLAN	Languedoc-R	66	Cerdagne	B10	Planès : FC de Planès	C		2,16882	42,47612	1774
CANI	Languedoc-R	66	Conflent	B10	Casteil : FD du Canigou	D	Unité Conservatoire AA08	2,40572	42,50100	1660
CONF	Languedoc-R	66	Conflent	B10	Taurinya : FD du Canigou	D		2,45905	42,54383	1800
AMEL	Languedoc-R	66	Vallespir	hz	Amélie les Bains FP de la Chaîne thermale du soleil	P	sapinière la plus orientale	2,72157	42,42373	1308
VALL	Languedoc-R	66	Vallespir	hz	Corsavy : FD du Haut Vallespir (sapinière du Riuferrier)	D		2,50807	42,48242	1475

-	Hors Pyrénées									
PUNT	Corse	2A	Renoso-Incudine	hz	Ciamannacce : FT Punteniellu	T	Unité Conservatoire AA04	9,11203	41,98568	1520
SAPE	Languedoc-R	48	Grands Causses	hz	Lanuéjols : Forêt du Sapet	P	zone de cœur du PN des Cévennes (Lanuejols)	3,60108	44,47026	1152
DAME	Languedoc-R	48	Grands Causses	hz	Pourcharesses : Forêt du Pré de la Dame	P	zone de cœur du PN des Cévennes (Pourcharesses)	3,89899	44,39458	1344
COUG	Languedoc-R	48	Grands Causses	hz	Altier : FD du Mont Lozère	D	zone de cœur du PN des Cévennes (Altier)	3,86998	44,42584	1367
NOIR	Languedoc-R	48	Grands Causses	hz	Altier : Forêt du Bois Noir	P	zone de cœur du PN des Cévennes (Altier)	3,84145	44,44067	1202
VENT	PACA	84	Ventoux	hz	Beaumont-du-Ventoux : FC de Beaumont-du-Ventoux	C		5,24660	44,18000	1375
LURE	PACA	04	Montagne de Lure	hz	Valbelle : FD de Lure	D		5,82410	44,12120	1475

Légende : hz = hors zone
 FD : forêt domaniale, FC : forêt communale, FS : forêt syndicale, GF : groupement forestier
 Foncier : P = privé, C = communal, D = domanial ; S : forêt syndicale

ANNEXE 5 - LOCALISATION DES PLACETTES DANS LES PYRENEES



Légende : fond de carte IGN au 1 : 250 000 avec limite des régions IFN

ANNEXE 6 - PROTOCOLE DE RELEVÉ

Localisation du peuplement échantillon : zone homogène au niveau du type de peuplement, si possible du type de station, sur une surface d'au moins 1,5 à 3 ha pour avoir 30 sapins adultes échantillons espacés d'au moins 20 m, de préférence au cœur de la parcelle.

Numérotation des peuplements et des échantillons :

Code essence : AA
Code peuplement : en 4 caractères (format texte)
Code échantillon : à partir de 01 (format texte)

Choix des arbres échantillons

Nombre de sapins échantillonnés par peuplement = **30 arbres** pour avoir une marge de sécurité, mais seulement 24 arbres seront analysés (extraction de l'ADN par plaque de 96 soit $2 \times 96 = 192 = 8 \times 24$).

Distance entre les arbres échantillonnés pour éviter l'apparentement (les semis autour d'un arbre sont des demi-frères ou des plein-frères) et avoir une meilleure représentativité de la diversité génétique de la population : **20 à 30 m** (soit 400 à 900 m² / arbre), en ne prenant **qu'un seul arbre par bouquet** car il est souvent composé de demi-frères ou des plein-frères. Répartition spatiale homogène sur tout le peuplement (30 carreaux et 1 arbre échantillonné / carreau) pour avoir une bonne représentation de la population.

Arbres **adultes et dominants**, de la **même classe d'âge**, choisis sans prendre en compte le phénotype.

Prélèvement et conservation des échantillons

Partie prélevée en fonction des possibilités de récolte :

- cambium (extraction d'ADN plus longue qu'avec les aiguilles, nécessitant de conserver les échantillons à -80°C après récolte) : 3 échantillons/arbre ; enlever l'écorce à la hachette sans entamer le cambium, puis récolter une carotte à l'emporte-pièce composée d'écorce + cambium + aubier ; à récolter plutôt au printemps car plus de cellules.

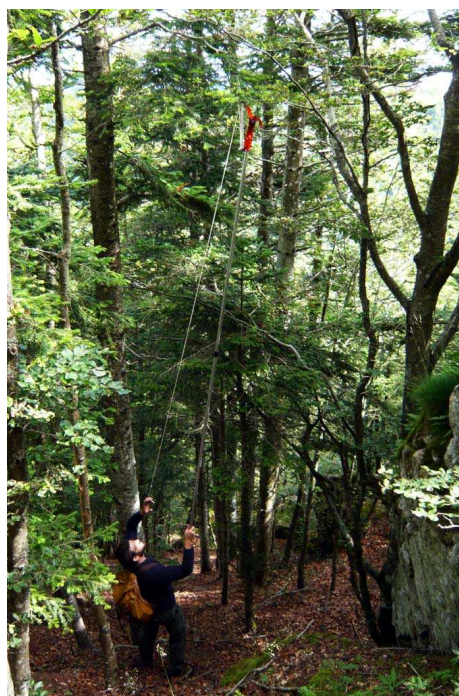


© P. Gomin

Prélèvement sur un sapin de 3 échantillons de cambium stockés dans une feuille d'aluminium

- aiguilles : 30 aiguilles mini, de préférence aiguilles de l'année car l'extraction d'ADN est plus facile, sur branches saines, si possible basses pour faciliter leur récolte, mais en évitant les branches d'ombre ; prélèvement à n'importe quelle période de l'année ;

Stockage dans papillote aluminium avec identification de l'échantillon (intérieur et extérieur du papier alu) ; tous les échantillons d'un même peuplement sont ensuite regroupés dans un sac congélation zippé et qui porte également le code échantillon du site.



© P. Gomin

Prélèvement d'un rameau de sapin

Conservation au froid : glacière en forêt, puis Dewar dans la voiture, puis congélateur à -80°C . Le Dewar rempli d'azote liquide a une température d'environ -180°C ; il permet de conserver les échantillons pendant environ 1 semaine, en fonction de la température extérieure et de nombre de fois que le Dewar a été ouvert pendant les récoltes. Possibilité de conserver provisoirement à -20°C des rameaux entiers, dont les extrémités sont maintenues dans un papier type sopalin humide, avant de prélever les aiguilles placées au congélateur à -80°C . Envoi des échantillons au CGAF en conservant les échantillons au froid, soit dans le Dewar, soit en utilisant un service de livraison congelée sous carboglace, type CryoExpress.



© P. Gomin

Conservation des échantillons dans un Dewar rempli d'azote liquide à -180°C

Données (données terrain soulignées)

Numéro peuplement, **date** et **auteur** de la description.

Localisation du peuplement : réf administrative (dép., commune, nom de la forêt, lieu-dit ou n° parcelle, propriétaire, personne contact), GPS du point de description de la station, photo, croquis et localisation de la limite du peuplement échantillonné.

Numéro de l'Unité conservatoire ou du peuplement sélectionné si appartenance à l'une de ces catégories.

Continuité de l'état boisé : présence sur la carte de Cassini ou la carte d'Etat major sous www.geoportail.fr (non = le peuplement fait partie d'une forêt récente ; incertain = le peuplement jouxte ou ne fait pas nettement partie d'une forêt ancienne ; oui = le peuplement fait nettement partie d'une forêt ancienne)

Données stationnelles décrite au centre du peuplement, dans la partie la plus représentative, avec indication des éventuelles variations sur la zone échantillonnée :

Données climatiques : température et précipitations moyennes annuelles

Topographie : altitude, pente (en %), expo (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO, nulle si pente < 10 %), relief (crête ou sommet de croupe, bas de versant, mi-versant, haut de versant, replat, plateau ou terrasse, dépression, vallon encaissé, plaine alluviale, autres à préciser), masque (pente opposée en %), régime hydrique (départ d'eau, apports et départs équilibrés, apports faibles à moyens, apports importants, source ou nappe permanente).

Données pédologiques, afin de pouvoir déterminer le niveau trophique et hydrique et les principales contraintes : substrat (vérification terrain) ; forme d'humus ; pH en A ; sondage à la pioche + tarière avec indication par horizon : épaisseur, couleur, texture (triangle de Jamagne), % et nature (calcaire ?) des éléments grossiers, classe hydromorphie (tab. 1 ci-après), présence de calcaire (réaction à HCl noté de +++ à abs), observations complémentaires.

Relevé de végétation exhaustif (sauf mousses) sur 400 m² (placette circulaire de 11,3 m de rayon), notation en abondance-dominance (de + à 5) :

- détermination du niveau hydrique et trophique (écogramme)
- classement du peuplement au niveau phytosociologique et habitat

Données dendrométriques sur le peuplement : structure (noter la présence des strates > 25 % parmi : régénération jusqu'à 1m, 3 étages d'égales épaisseur nommés A1 en haut, A2 et A3), % de couvert, Ho et Do estimés visuellement (mesure éventuelle de 1 ou 2 arbres), composition des essences en % du nombre de tiges (hors semis), état sanitaire (note de dépérissement et de gui pour le sapin, selon le tableau 2 ci-après, avec indicateur de la classe la plus représentée et des classes extrêmes), complément de description.

Donnée sur les arbres échantillonnés : type de prélèvement (aiguille ou cambium).

Observations complémentaires : historique, environnement, état des fructifications...



Description de sol sur fosse

© P. Gonnin

Matériel

- fiches de relevés, protocole, cartes géologiques, Flore Forestière Française,
- télémètre ou vertex, GPS,
- tarière pédologique, pioche, pHmètre, HCl, couteau,
- échenilloir + sécateur, emporte-pièce + hachette + marteau, papier aluminium + sac congélation zippé + marqueur, petite glacière terrain, Dewar + gant (pour manipuler les échantillons congelés),
- mètre ruban, appareil photo.

Tableau 1 : classes d'hydromorphie (d'après Grandjean & Jabiol, 1990, modifié)

Décoloration de la matrice nulle ou seulement en taches plus ou moins importantes

- aucune tache de décoloration		0	} engorgement absent
* sans tache ocre ou rouille (horizon non hydromorphe)		1	
* petites taches ocre ou rouille à faible recouvrement (souvent autour des racines)			
- décoloration diffuse (par exemple 10 YR 6/3 ou 6/2 ou 7/2) en taches floues dans une matrice de couleur générale foncée		2	} engorgement temporaire
* moins de 10 % de taches de décoloration (taches ocre ou rouille < 2 %)		3	
* 10 à 75 % de taches de décoloration (horizon tricolore à contraste faible)		4	
* plus de 75 % de taches de décoloration (taches ocre ou rouille > 15 %)			
<u>Il ne reste plus de matrice non décolorée</u> (la couleur du fond est gris clair et les seules taches colorées sont des taches ocre ou rouille)			} horizon rédoxique g
- taches ocre ou rouille d'intensité variable, généralement contrastées et à limites nettes (svt horizon argileux)		5	
* 35 à 65 % d'ocre ou rouille et 65 à 35 % de gris		6	
* % de taches ocre ou rouille très inférieur au % de gris, compris entre 2 et 35 %		7	
- taches ocre ou rouille < 2 % ; horizon entièrement décoloré (souvent horizon limoneux ou sableux)			
<u>Horizon entièrement gris-bleuté ou gris-verdâtre de réduction</u> (présence d'eau presque toute l'année)		10	} engorgement permanent horizon réductique G
* quelques taches de réoxydation		10t	
* aucune tache de réoxydation		10r	

Les horizons ne sont nommés rédoxiques qu'à partir de la classe 3 (phénomène mineur dans les classes 1 et 2). Il est essentiel d'indiquer si l'excès d'eau est actuel ou passé (fossile).

Tableau 2 : Evaluation de l'état sanitaire du sapin pectiné

(d'après protocole SYLVAPYR d'étude du dépérissement du sapin dans les Pyrénées, 1995)

Classe	Dépérissement	Gui
0	Arbre sain Aiguilles de couleur normale (vert sombre) de taille normale Toutes les années d'aiguilles sont présentes Houppier fonctionnel opaque	Gui rare, difficile à observer Gui < 5 % de la masse verte
1	Arbre quasiment sain Aiguilles de couleur et de taille normale Léger manque d'aiguille ancienne Légère transparence au centre (partie interne) du houppier fonctionnel	Gui faiblement présent Gui = 5 à 25 % de la masse verte
2	Arbre peu affaibli Aiguilles de couleur normale en majorité Transparence nette du Houppier Fonctionnel : - Manque des anciennes années d'aiguille (Branches dénudées à l'intérieur) - Pertes foliaires < 50 % du total - Pas ou peu de branches sèches	Gui moyennement présent Gui = 26 à 60 % de la masse verte
3	Arbre très affaibli Aiguilles de couleur normale en majorité Transparence forte du Houppier Fonctionnel : - manque des anciennes années d'aiguille (Branches dénudées à l'intérieur) - Pertes foliaires > 50 % du total - Présence de quelques branches sèches	Gui fortement présent Gui = 60 à 80 % de la masse verte
4	Arbre dépérissant Présence d'aiguilles altérées (décolorées et/ou nanifiées et/ou desséchées) ou de ramifications fines sans aiguilles. Branches sèches en nombre important et facilement visibles dans le houppier fonctionnel	Gui très fortement présent Gui > à 80 % de la masse verte Gui remettant en cause la survie de l'arbre
5	Arbre moribond ou mort Survie compromise à brève échéance Plus de 75 % du houppier fonctionnel sec de façon contiguë	

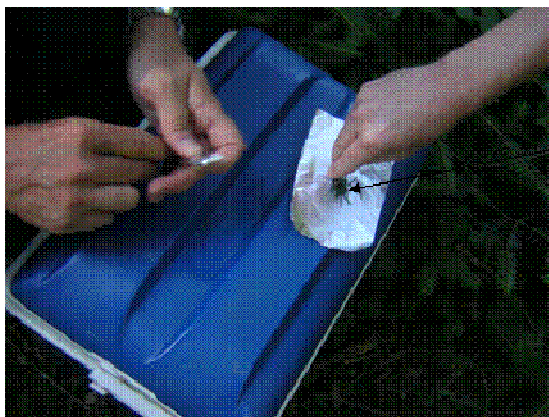
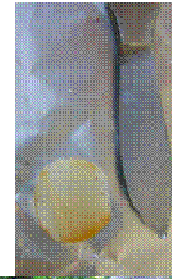
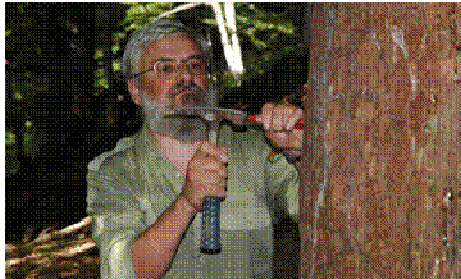
ANNEXE 7 - CLASSEMENT DES RELEVÉS AU NIVEAU PHYTOSOCIOLOGIQUE ET DANS L'ÉCOGRAMME

Massif	Nom	Etage de végétation	Association végétale	Niveau hydrique	Niveau trophique
Pyrénées	ASPE	collinéen	Blechno - Quercetum	m	ap
	VOLV	collinéen	Blechno - Quercetum	f	r
	CONT	collinéen	Androsaemo - Fagetum	f	ap
	VOLS	collinéen	Androsaemo - Fagetum	f	r
	LESP	collinéen	Androsaemo - Fagetum	f	R
	MONT	collinéen	Androsaemo - Fagetum	f	r
	ARQU	limite collinéen et montagnard	Scillo - Fagenion non déterminé	m	r
	CAMP	limite collinéen et montagnard	Scillo-Fagetum buxetosum	m	R
	FANG	montagnard	Scillo-Fagetum buxetosum	m	R
	CALL	montagnard	Scillo - Fagetum lathyretosum	f	R
	BORC	montagnard	Scillo - Fagetum saxifragetosum	f	ap
	LARU	montagnard	Scillo - Fagenion basal	f	R
	BELE	montagnard	Scillo - Fagetum typicum	f	R
	BARO	montagnard	Scillo - Fagetum typicum	f	ap
	BIEL	montagnard	Scillo - Fagetum typicum	f	r
	ARAN	montagnard	Scillo - Fagetum typicum	f	r
	CAUT	montagnard	Scillo - Fagetum typicum	x	r
	GEDR	montagnard	Scillo - Fagetum typicum	m	ap
	JUZE	montagnard	Scillo - Fagetum typicum	f	ap
	HARE	montagnard	Scillo - Fagetum typicum	f	r
	LUCH	montagnard	Scillo - fagetum abietetosum	f	ap
	OUEI	montagnard	Scillo - fagetum abietetosum	m	ap
	AURE	montagnard	Scillo - fagetum abietetosum	f	ap
	STLA	montagnard	Scillo - fagetum abietetosum	f	ap
	BAGN	montagnard	Silene rupestris - Fagetum	f	ap
	ARBO	montagnard	"Luzulo - Fagetum pyenaicum"	m	ap
	HECH	montagnard	"Luzulo - Fagetum pyenaicum"	m	PP
	ISSA	montagnard	"Luzulo - Fagetum pyenaicum"	x	PP
	IRAT	montagnard	"Luzulo - Fagetum pyenaicum"	m	r
	ESPL	montagnard	"Luzulo - Fagetum pyenaicum"	x	P
	AULU	montagnard	"Luzulo - Fagetum pyenaicum"	m	PP
	BOUT	montagnard	"Luzulo - Fagetum pyenaicum"	x	PP
	HAUT	montagnard	"Luzulo - Fagetum pyenaicum"	m	P
AMEL	montagnard	Luzulo - Fagion basal	m	ap	
FAJO	montagnard	Luzulo niveae - Fagetum	x	P	
VALL	montagnard	Luzulo niveae - Fagetum	x	P	
SIGU	montagnard	Luzulo niveae - Fagetum	m	PP	
GRAV	montagnard	Luzulo niveae - Fagetum	x	PP	
BOLQ	montagnard	Luzulo niveae - Fagetum	m	ap	
CANI	montagnard	Luzulo niveae - Fagetum	m	r	
OLME	montagnard	Luzulo niveae - Fagetum	m	P	
BETH	montagnard	Luzulo niveae - Fagetum	m	ap	
MERE	montagnard	Luzulo niveae - Fagetum	m	ap	
PLAN	subalpin	Luzulo niveae - Fagetum	x	P	
CONF	montagnard	Luzulo niveae - Fagetum	m	ap	
Alpes du sud	LURE	montagnard	non classé		
	VENT	montagnard	Cephalanthero -Fagion		
Corse	PUNT	montagnard	Luzulo - Fagion basal	m	ap
Massif central	DAME	montagnard	Luzulo - Fagion basal	x	P
	COUG	montagnard	Luzulo - Fagion basal	m	P
	NOIR	montagnard	Luzulo niveae - Fagetum	x	P
	SAPE	montagnard	Luzulo niveae - Fagetum	x	P

Niveau hydrique : x = mésophile assez sec ; m = mésophile ; f = frais ; h = assez humide

Niveau trophique : PP = très pauvre ; P = pauvre ; ap = assez pauvre ; r = assez riche ; R = riche

Récolte des échantillons



3 rondelles de cambium ou des aiguilles

- Emballage individuel de chaque arbre
- Étiquetage de l'échantillon
- Mise au froid pour supprimer la dégradation de l'ADN



Extraction de l'ADN

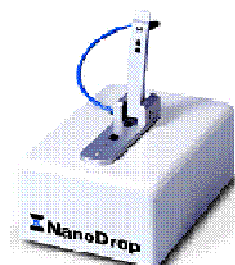
Mise en plaque « elisa » des échantillons (96 ind identifiés)



Broyage



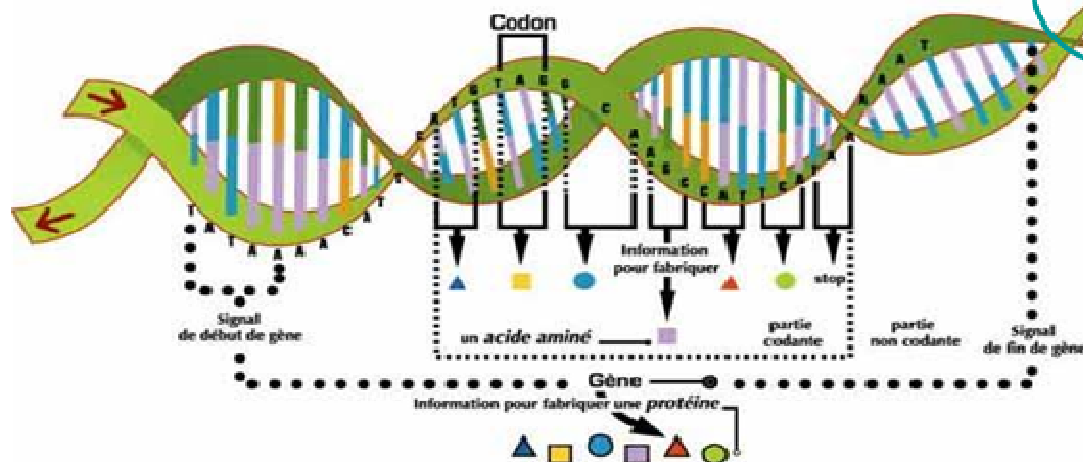
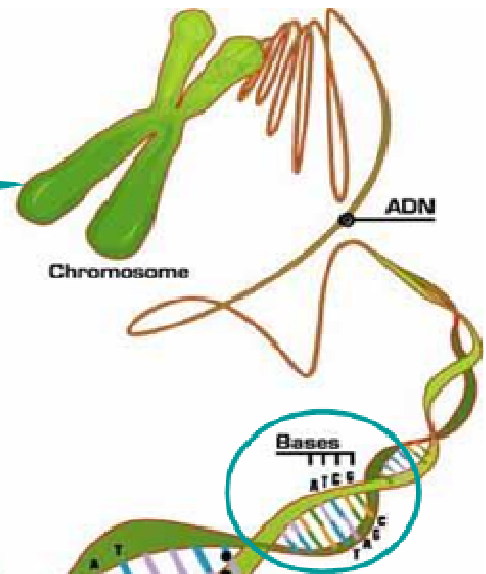
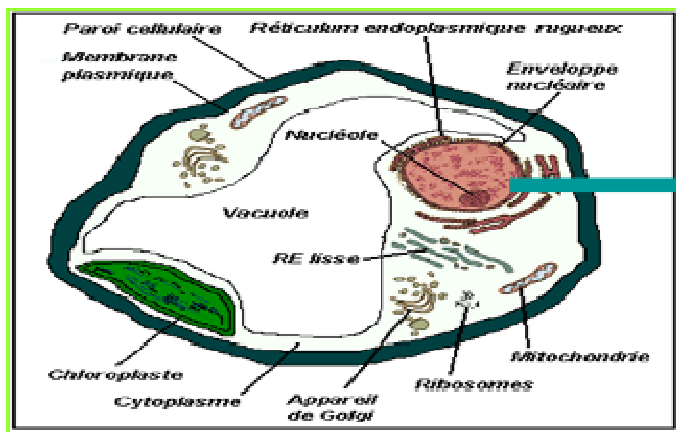
Extraction de l'ADN par une série de produits chimiques



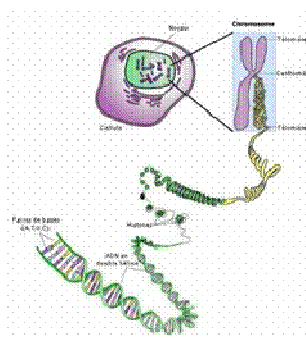
Dosage de la quantité et qualité de l'ADN



Stockage au froid avant utilisation

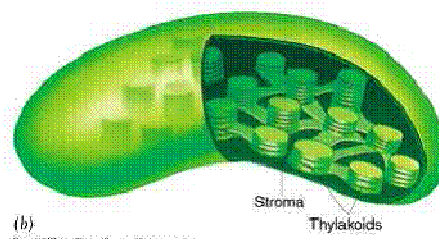


2 types de marqueurs moléculaires



NUCLEAIRE

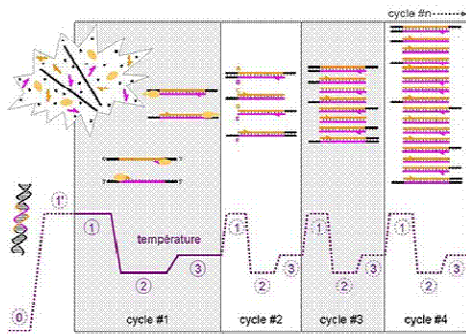
- Estimer le niveau de diversité génétique neutre
- Caractériser les différences entre peuplements/ régions/massifs
- Suivre le régime de reproduction au sein des peuplements



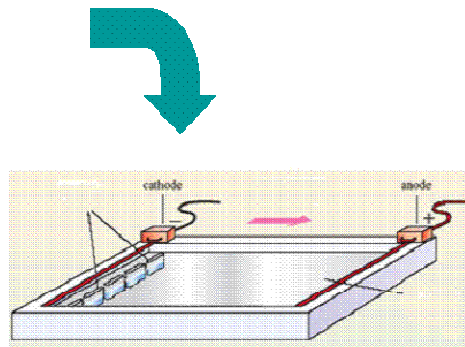
CHLOROPLASTE

- Identifier des hybridations avec d'autres sapins
- Caractériser les différences entre peuplements/régions/massifs

Amplification de L'ADN

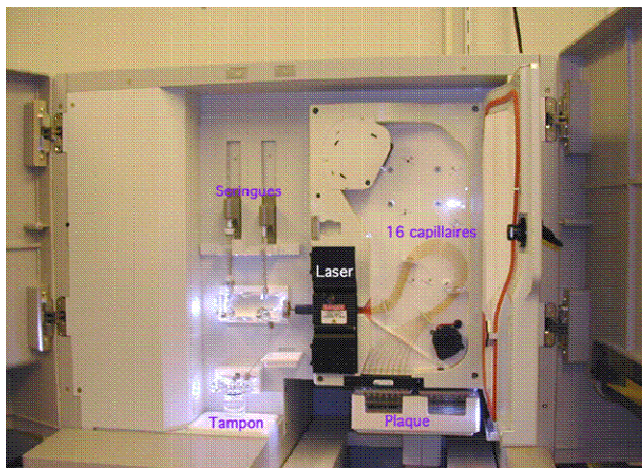


A partir d'un brin
d'ADNt multiplication
2³²

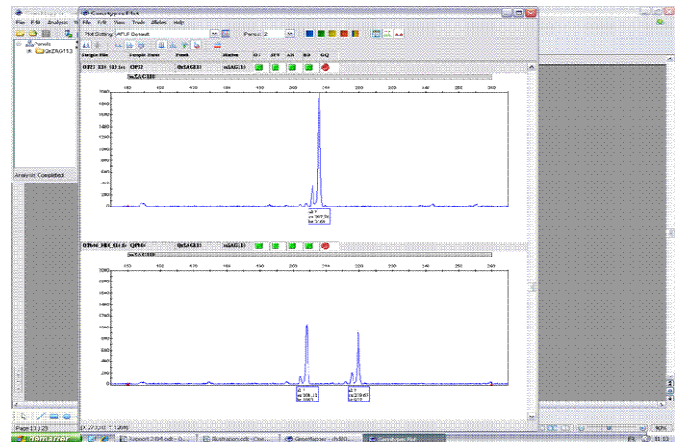


Vérification de
l'amplification

Mesure de la taille du marqueur



Résultats



Analyse des résultats

- Taux de polymorphisme des marqueurs
- Taux d'hétérozotes
- Indice de diversité au sein de chaque population
- Indice de différenciation des populations

ANNEXE 9 - RESULTATS DES ANALYSES GENETIQUES

Tableau 1 - Diversité génétique intra-population des 45 sapinières pyrénéennes, estimée à partir du génotypage de 10 nSSRs.

Na : nombre d'allèles, Ne : nombre efficace d'allèles, I : indice d'information (équivalent à l'indice de Shannon-Weaver), P : nombre d'allèles ne se rencontrant que dans la population (allèles privés), CA50 : nombre d'allèles localement communs (fréquence supérieure à 5%) présents dans moins de 50% des populations, He : hétérozygotie estimée sous modèle de reproduction au hasard.

Massif	Population	Na	Ne	I	P	CA50	He
Pyrénées	AMEL	7,800	3,438	1,455	0,100	3,300	0,665
	ARAN	5,000	2,524	1,081	0,000	1,100	0,559
	ARBO	5,300	2,519	1,041	0,000	1,500	0,517
	ARQU	6,700	3,019	1,311	0,200	2,400	0,630
	ASPE	9,200	5,506	1,804	0,000	3,700	0,770
	AULU	6,200	2,719	1,213	0,000	2,400	0,603
	AURE	5,700	2,773	1,119	0,000	2,200	0,562
	BAGN	5,700	2,685	1,111	0,100	1,800	0,550
	BARO	6,500	2,820	1,215	0,200	2,300	0,596
	BELE	7,400	2,711	1,278	0,200	2,600	0,612
	BETH	7,600	3,388	1,411	0,000	3,100	0,658
	BIEL	6,000	2,776	1,184	0,000	2,000	0,588
	BOLQ	6,400	2,709	1,223	0,200	2,100	0,610
	BORC	4,400	2,162	0,904	0,000	1,300	0,472
	BOUT	6,500	2,706	1,217	0,000	2,200	0,596
	CALL	7,700	2,978	1,324	0,200	2,800	0,632
	CAMP	8,500	3,470	1,438	0,100	3,600	0,650
	CANI	7,700	3,395	1,449	0,100	2,800	0,675
	CAUT	5,100	2,593	1,086	0,000	1,300	0,567
	CONF	8,500	3,202	1,439	0,000	3,000	0,658
	CONT	6,300	2,637	1,166	0,100	2,700	0,574
	ESPL	7,700	2,913	1,347	0,100	3,100	0,639
	FAJO	7,400	2,976	1,326	0,000	3,000	0,633
	FANG	7,500	2,946	1,348	0,300	2,600	0,638
	GERD	5,300	2,584	1,081	0,000	1,800	0,552
	GRAV	7,400	3,611	1,451	0,100	3,000	0,681
	HARE	7,800	3,068	1,383	0,100	3,100	0,646
	HAUT	6,000	2,681	1,154	0,000	1,900	0,573
	HECH	6,600	2,893	1,260	0,000	2,300	0,609
	IRAT	4,500	2,568	1,006	0,000	1,400	0,536
	ISSA	5,200	2,501	1,036	0,000	1,700	0,523
	JUZE	5,400	2,741	1,168	0,000	1,800	0,600
	LARU	5,100	2,597	1,112	0,000	1,600	0,567
	LESP	6,100	3,198	1,248	0,000	2,100	0,610
	LUCH	6,500	2,823	1,237	0,100	2,300	0,613
	MERE	7,500	2,967	1,320	0,100	3,100	0,621
	MONT	6,900	2,476	1,158	0,000	3,000	0,565
	OLME	7,500	2,960	1,334	0,000	3,300	0,635
	OUEI	5,100	2,730	1,100	0,100	1,400	0,560
	PLAN	6,200	2,736	1,219	0,000	2,200	0,601
	SIGU	6,900	2,723	1,254	0,000	2,900	0,611
	STLA	7,100	2,923	1,286	0,000	2,400	0,617
	VAL	7,700	3,264	1,396	0,000	3,200	0,649
	VOLS	7,100	2,675	1,231	0,100	3,000	0,584
	VOLV	7,200	2,855	1,308	0,000	2,500	0,625

Tableau 2 - Diversité génétique intra-population des sapinières pyrénéennes, estimée à partir du génotypage de 6 cpSSRs.

N : nombre d'individus, Na : nombre d'allèles, Ne : nombre efficace d'allèles, He : hétérozygotie estimée sous modèle de reproduction au hasard.

Massif	Population	N	Na	Ne	He
Pyrénées	AMEL	29,667	4,333	2,657	0,480
	ARAN	28,333	3,500	1,604	0,332
	ARBO	29,500	4,167	2,226	0,461
	ARQU	29,167	3,667	2,150	0,464
	ASPE	30,000	4,500	2,649	0,494
	AULU	30,000	3,667	2,340	0,470
	AURE	29,833	3,500	1,320	0,218
	BAGN	28,167	3,167	1,571	0,323
	BARO	29,833	3,500	1,776	0,369
	BELE	29,500	3,333	2,042	0,434
	BETH	29,667	3,167	1,808	0,404
	BIEL	28,833	3,500	1,568	0,311
	BOLQ	29,167	3,667	2,304	0,451
	BORC	29,833	2,333	1,263	0,184
	BOUT	29,833	3,333	1,520	0,310
	CALL	29,833	3,500	1,872	0,400
	CAMP	28,667	3,167	1,890	0,391
	CANI	26,000	3,833	2,334	0,486
	CAUT	29,500	3,000	1,852	0,410
	CONF	30,000	3,167	1,642	0,329
	CONT	29,167	3,167	1,817	0,379
	ESPL	30,000	3,167	1,638	0,334
	FAJO	29,833	4,167	2,120	0,445
	FANG	28,000	4,000	2,445	0,485
	GERD	29,833	3,333	1,582	0,310
	GRAV	29,667	3,667	2,260	0,467
	HARE	28,333	4,167	2,187	0,473
	HAUT	28,833	3,167	1,503	0,293
	HECH	29,833	3,833	1,776	0,362
	IRAT	29,833	3,667	1,963	0,395
	ISSA	28,667	3,500	1,796	0,376
	JUZE	30,000	4,000	1,615	0,345
	LARU	30,000	3,500	1,473	0,278
	LESP	29,667	4,167	2,455	0,499
LUCH	29,667	3,667	1,875	0,417	
MERE	29,333	3,000	1,596	0,334	
MONT	29,500	4,167	2,145	0,432	
OLME	29,667	3,667	2,310	0,467	
OUEI	29,500	3,333	1,702	0,351	
PLAN	29,333	3,500	2,649	0,502	
SIGU	30,000	3,167	1,663	0,343	
STLA	29,000	2,833	1,711	0,365	
VALL	45,000	4,500	2,827	0,530	
VOLS	29,833	3,833	1,929	0,421	
VOLV	29,833	3,833	1,614	0,350	
Massif central	COUG	29,667	3,833	2,724	0,498
	DAME	29,833	4,000	2,232	0,449
	NOIR	29,833	4,167	2,800	0,509
	SAPE	30,000	4,167	2,485	0,447
Corse	PUNT	30,000	4,000	2,265	0,436
Alpes du sud	LURE	27,500	4,000	2,601	0,470
	VETB	11,000	3,500	2,894	0,534
	VETH	19,000	3,333	2,401	0,427

Tableau 3 - Liste des fréquences des haplotypes

N° hplotype	nombre	Haplotype	fréquence
1	2	12810413294150	0,14
2	1	12810413394148	0,07
3	3	12810413394152	0,21
4	4	12810513194150	0,27
5	3	12810513293150	0,21
6	2	12810513294145	0,14
7	1	12810513294146	0,07
8	8	12810513294147	0,55
9	2	12810513294148	0,14
10	17	12810513294149	1,16
11	697	12810513294150	47,71
12	20	12810513294151	1,37
13	1	12810513294152	0,07
14	3	12810513394147	0,21
15	1	12810513394149	0,07
16	41	12810513394150	2,81
17	4	12810513494150	0,27
18	1	12810513596147	0,07
19	12	12810513694149	0,82
20	6	12810513794147	0,41
21	12	12810513794148	0,82
22	5	12810513794149	0,34
23	6	12810513794150	0,41
24	1	12810513794151	0,07
25	2	12810513894148	0,14
26	1	12810513894149	0,07
27	14	12810513894150	0,96
28	2	12810513894151	0,14
29	2	12810513896146	0,14
30	1	12810513996146	0,07
31	1	12810514095145	0,07
32	1	12810514395145	0,07
33	2	12810613294150	0,14
34	1	12810613494149	0,07
35	3	12810613496147	0,21
36	1	12810613595147	0,07
37	1	12810613596145	0,07
38	2	12810613596146	0,14
39	39	12810613596147	2,67
40	2	12810613694146	0,14
41	12	12810613694150	0,82
42	1	12810713295146	0,07
43	8	12810713296146	0,55
44	2	12810713296147	0,14
45	1	12810713296148	0,07
46	11	12810713296149	0,75
47	1	14610413796148	0,07
48	2	14610413896146	0,14
49	1	14610513195146	0,07
50	1	14610513294150	0,07
51	1	14610513296145	0,07
52	1	14610513394150	0,07

53	2	14610513396147	0,14
54	2	14610513495147	0,14
55	4	14610513496147	0,27
56	8	14610513796146	0,55
57	6	14610513895146	0,41
58	1	14610513895150	0,07
59	89	14610513896146	6,09
60	1	14610513896147	0,07
61	3	14610513896149	0,21
62	15	14610513896150	1,03
63	2	14610513995145	0,14
64	2	14610513995146	0,14
65	2	14610513996145	0,14
66	27	14610513996146	1,85
67	57	14610514095145	3,90
68	4	14610514095146	0,27
69	1	14610514096146	0,07
70	3	14610514195145	0,21
71	7	14610514196146	0,48
72	1	14610514196147	0,07
73	5	14610514295145	0,34
74	3	14610514296145	0,21
75	2	14610514394145	0,14
76	31	14610514395145	2,12
77	2	14610514395146	0,14
78	62	14610514396145	4,24
79	3	14610514396146	0,21
80	1	14610514396150	0,07
81	8	14610514495145	0,55
82	18	14610514496145	1,23
83	2	14610514596145	0,14
84	1	14610613195149	0,07
85	6	14610613196149	0,41
86	4	14610613795146	0,27
87	1	14610614395145	0,07
88	1	14610614396145	0,07
89	1	14610713296147	0,07
90	1	14610813295145	0,07
91	10	14610813296145	0,68
92	1	14610813296146	0,07
93	22	14610913196145	1,51
94	1	14610913296147	0,07
95	1	1469914395145	0,07
96	1	16410513896146	0,07
97	4	16410514395145	0,27
98	2	16410613195149	0,14
99	57	16410613196149	3,90
100	1	16410613196150	0,07
101	1	16410613896149	0,07
102	1	16410614295146	0,07

Tableau 4 - Liste des haplotypes privés

Population	N° haplotype	Fréquence
AMEL	30	0,036
AMEL	50	0,036
ARBO	87	0,036
BELE	15	0,036
BELE	37	0,036
BETH	18	0,036
BOLQ	32	0,038
BOLQ	36	0,038
BOLQ	54	0,077
BOLQ	80	0,038
CALL	60	0,034
CALL	92	0,034
CANI	72	0,038
CONT	7	0,037
CONT	98	0,074
ESPL	29	0,067
FAJO	13	0,034
FANG	48	0,080
HARE	42	0,045
HARE	52	0,045
HARE	58	0,045
HARE	84	0,045
HARE	95	0,045
HARE	101	0,045
HAUT	31	0,040
HECH	2	0,034
IRAT	49	0,034
JUZE	45	0,033
LUCH	102	0,036
OLME	96	0,036
PUNT	94	0,033
STLA	75	0,083
STLA	90	0,042
VALL	24	0,022
VALL	89	0,022
BORC	25	0,069
CONF	69	0,033
COUG	26	0,036
GRAV	51	0,036
LESP	100	0,036
LURE	34	0,037
LURE	47	0,037
NOIR	64	0,069
NOIR	88	0,034
SAPE	17	0,133



© P. Gomin

Sapinière dans le Pays de Sault (Le Bousquet, 11)

Etude réalisée par le Parc naturel régional des Pyrénées Ariégeoises, l'Institut pour le Développement Forestier, l'INRA d'Avignon (UR629, Ecologie des Forêts Méditerranéennes), le Conservatoire génétique des arbres forestiers, GEODE, le Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, les Centres Régionaux de la Propriété Forestière de Midi-Pyrénées, d'Aquitaine et du Languedoc-Roussillon, l'Office National des Forêts, avec la participation financière du Parc national des Cévennes



- INSTITUT POUR LE
DEVELOPPEMENT FORESTIER
- CRPF MIDI-PYRENEES
- CRPF LANGUEDOC-ROUSSILLON
- CRPF AQUITAINE

