

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

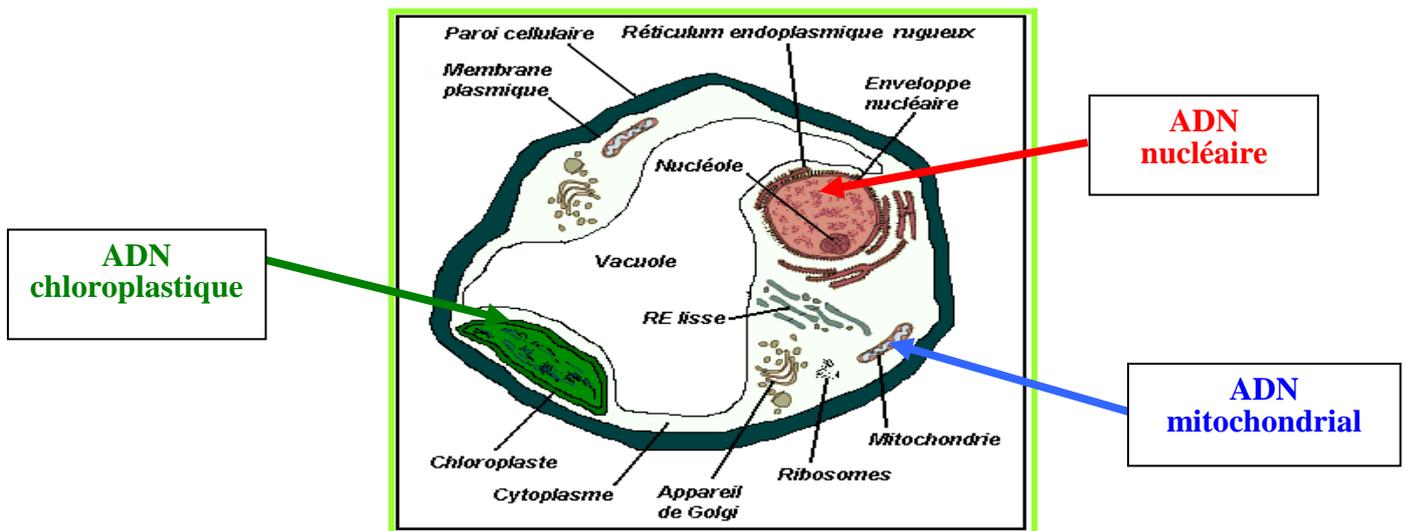
LEXIQUE

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)

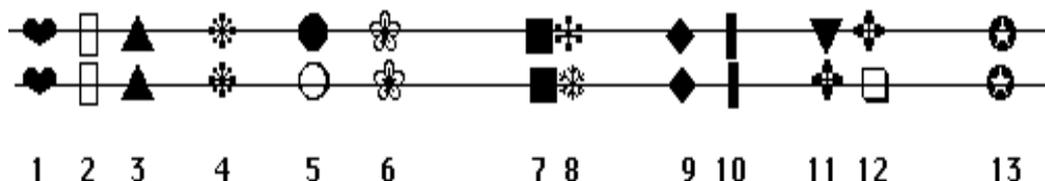
Adaptation : changement structurel et/ou fonctionnel qui améliore la capacité de survie et de reproduction d'une population ou d'un organisme. L'adaptation peut se faire par changement phénotypique en réponse aux conditions environnementales au niveau individuel, ou par changement évolutif de la composition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

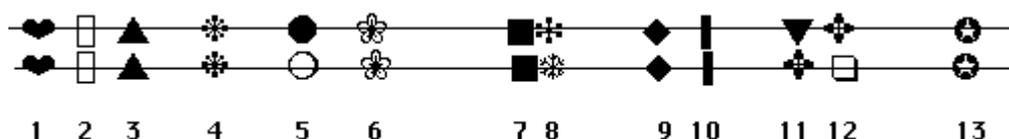
Génotype : ensemble des caractères héréditaires (exprimés ou latents non définis) propres à un individu. Son expression dans un environnement donné conduit au phénotype.

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>)

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 PEUPEMENT 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

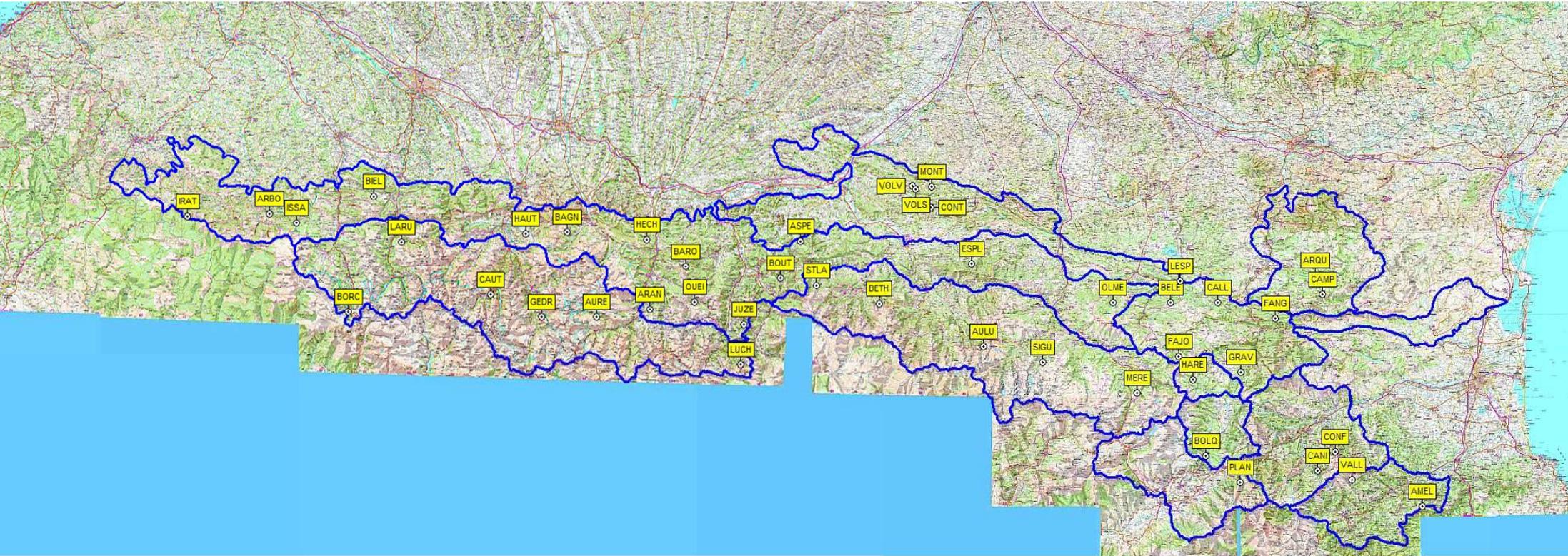
Nom	Région	Dép.	Région IFN nationale (dép.)	Zone étude « Pin » p. 84	Localisation Commune et nom forêt	Foncier	Particularités	x Longitude (°déc)	y Latitude (°déc.)	Alt. (m)
	Pyrénées									
ARBO	Aquitaine	64	Front pyrénéen	B11	Sainte Engrâce : FC de Sainte Engrâce (bois d'Arbouty)	C		-0,81404	43,01377	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

20 km

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	

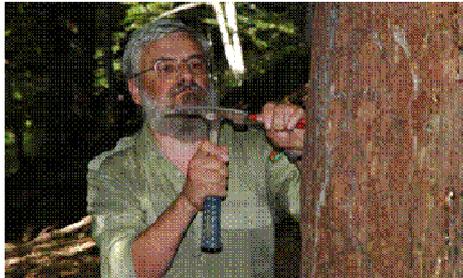
ANNEXE 7 - CLASSEMENT DES RELEVÉS AU NIVEAU PHYTOSOCIOLOGIQUE ET DANS L'ÉCOGRAMME

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

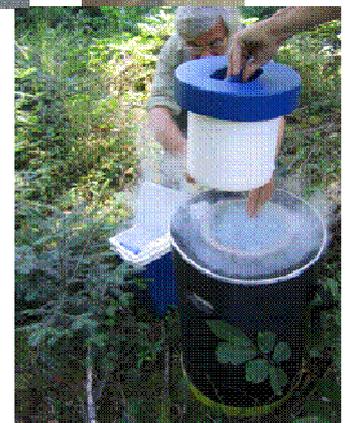
Niveau trophique : PP = très pauvre ; P = pauvre ; ap = assez pauvre ; r = assez riche ; R = riche

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

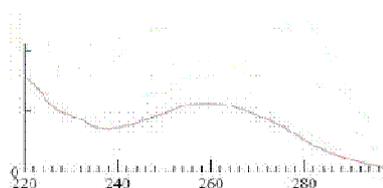
Mise en plaque « elisa » des échantillons (96 ind identifiés)



Broyage



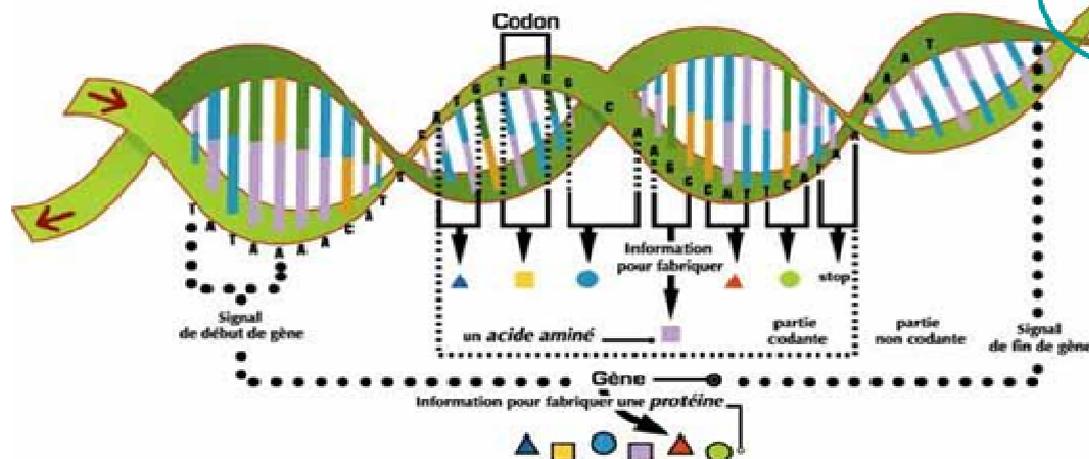
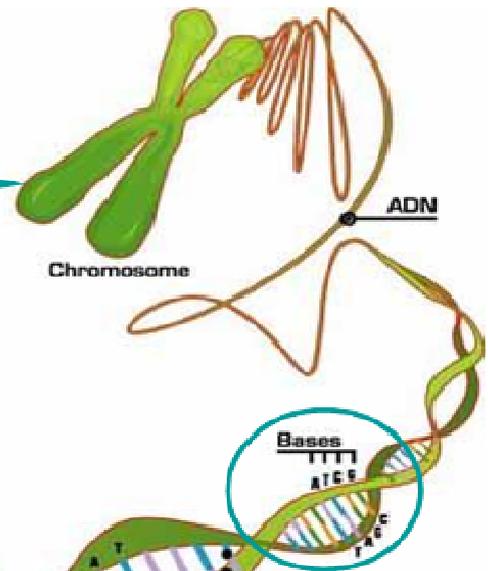
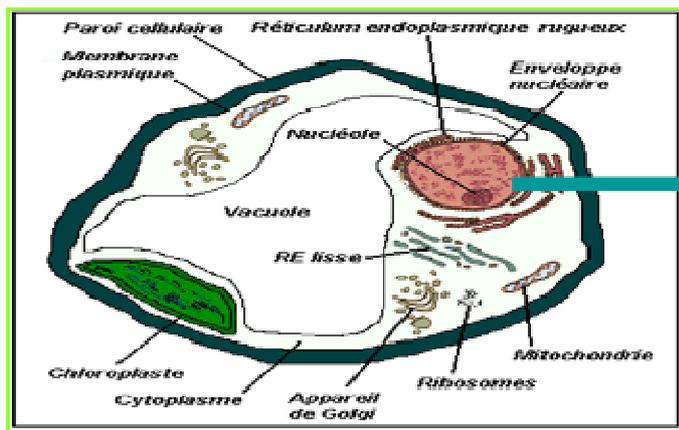
Extraction de l'ADN par une série de produits chimiques



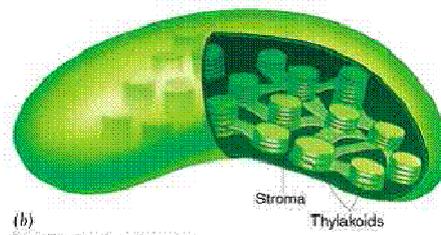
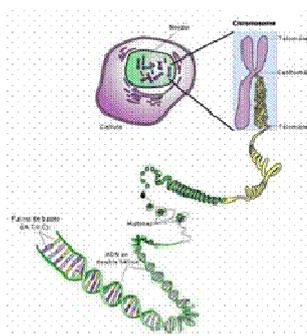
Dosage de la quantité et qualité de l'ADN



Stockage au froid avant utilisation



2 types de marqueurs moléculaires



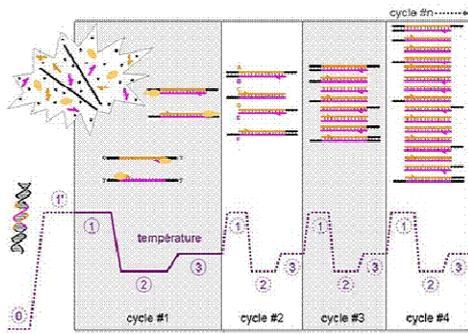
NUCLEAIRE

- Estimer le niveau de diversité génétique neutre
- Caractériser les différences entre peuplements/ régions/massifs
- Suivre le régime de reproduction au sein des peuplements

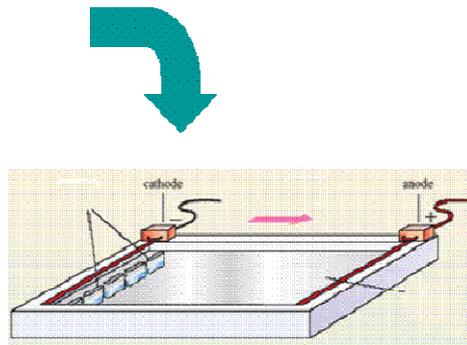
CHLOROPLASTE

- Identifier des hybridations avec d'autres sapins
- Caractériser les différences entre peuplements/régions/massifs

Amplification de L'ADN

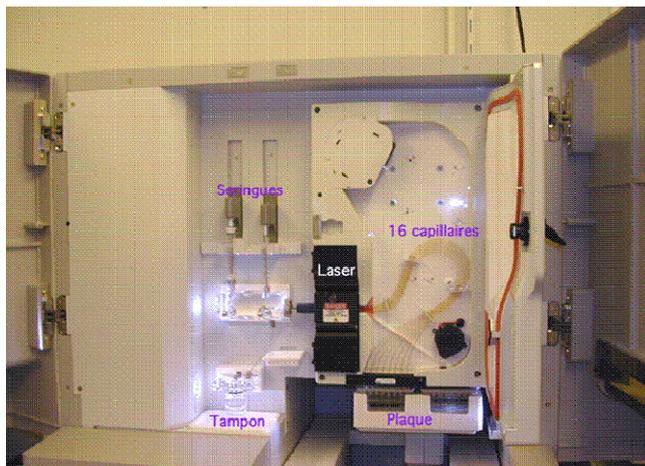


A partir d'un brin
d'ADNt multiplication
2³²

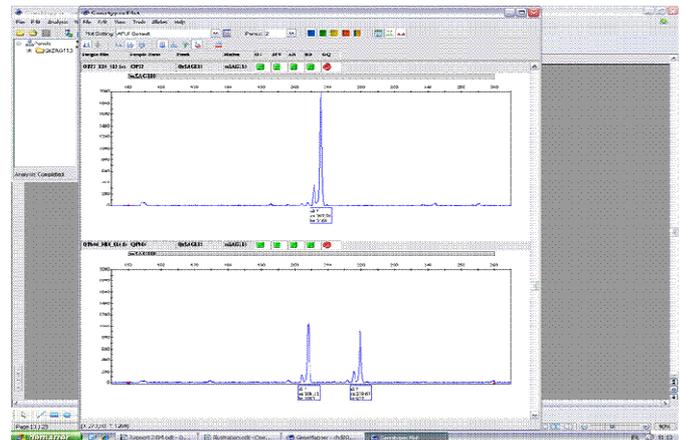


Vérification de
l'amplification

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

