

# 3 - CARTOGRAPHIE DES SAPINIÈRES PYRÉNÉENNES

**Auteurs :** Pierre GONIN, IDF, [pierre.gonin@cnpf.fr](mailto:pierre.gonin@cnpf.fr)  
 Antoine DELARUE, CRPF de Midi-Pyrénées, [antoine.delarue@crpf.fr](mailto: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

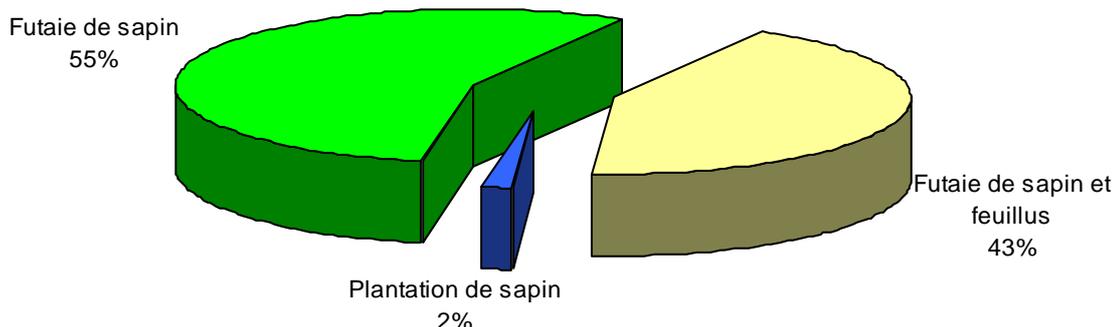
Les types de peuplement délimités par l'IFN ont été rassemblés sous SIG (MapInfo) par le CRPF Midi-Pyrénées pour les 5 départements pyrénéens : Pyrénées-Atlantiques, Hautes-Pyrénées, Haute-Garonne, Ariège, Aude et Pyrénées-Orientales.

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	<b>51 100</b>
FUTAIE DE SAPIN ET FEUILLUS	14 436	6 714	4 810	6 710	5 961	903	<b>39 533</b>
PLANTATION DE SAPIN (PURE OU MELANGÉE)				1 417	64		<b>1 481</b>
<b>TOTAL</b>	<b>18 484</b>	<b>25 236</b>	<b>9 766</b>	<b>17 811</b>	<b>17 429</b>	<b>3 387</b>	<b>92 114</b>

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			<b>260</b>
Razès et Piège					161		<b>161</b>
Front pyrénéen	8 787	16 029	5 970	3 730			<b>34 515</b>
Haute chaîne pyrénéenne	9 698	9 208	3 780	7 778			<b>30 464</b>
Quérigut				2 424			<b>2 424</b>
Pays de Sault				3 635	17 027	469	<b>21 132</b>
Corbières occidentales					240		<b>240</b>
Corbières méridionales						8	<b>8</b>
Capcir						249	<b>249</b>
Cerdagne						72	<b>72</b>
Conflent						2 561	<b>2 561</b>
Vallespir						28	<b>28</b>
<b>Total</b>	<b>18 484</b>	<b>25 236</b>	<b>9 766</b>	<b>17 811</b>	<b>17 429</b>	<b>3 387</b>	<b>92 114</b>

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**

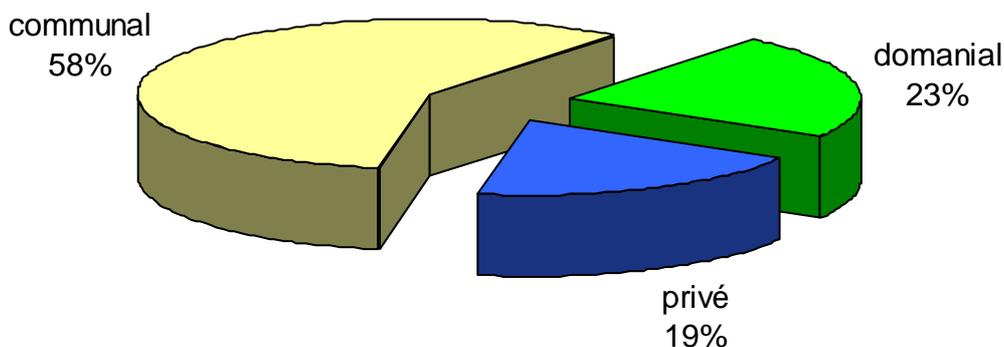
Régions forestières IFN (appellation nationale)	Régions forestières IFN départementales	Dép.	Surface (ha)
PETITES PYRENEES ET PLANTAUREL	PRE- ET PETITES PYRENEES	31	17
	PETITES PYRENEES ET PLANTAUREL	09	243
RAZES ET PIEGE	RAZES ET PIEGE	11	161
FRONT PYRENEEN	FRONT PYRENEEN	64	8 787
		65	16 029
		31	5 970
		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
<b>Total</b>			<b>92 114</b>

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).

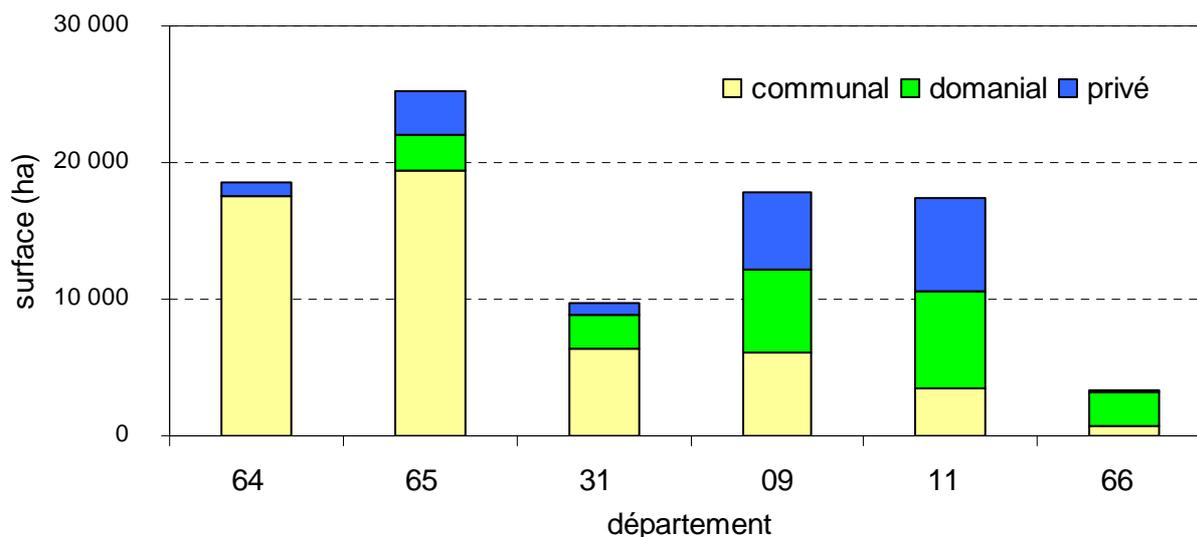
**Tableau 4 - Surfaces des peuplements de sapin par type de propriété (en ha)**

	COMMUNAL	DOMANIAL	PRIVE	Total
<b>Types de peuplement forestier regroupés</b>				
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
<b>TOTAL</b>	<b>53 492</b>	<b>21 036</b>	<b>17 585</b>	<b>92 114</b>
<b>Région</b>				
Languedoc-Rousillon (11 et 66)	4 228	9 638	6 950	<b>20 816</b>
Midi-Pyrénées (09, 31, 65)	31 766	11 398	9 649	<b>52 813</b>
Aquitaine (64)	17 498	0	986	<b>18 484</b>
<b>TOTAL</b>	<b>53 492</b>	<b>21 036</b>	<b>17 585</b>	<b>92 114</b>

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

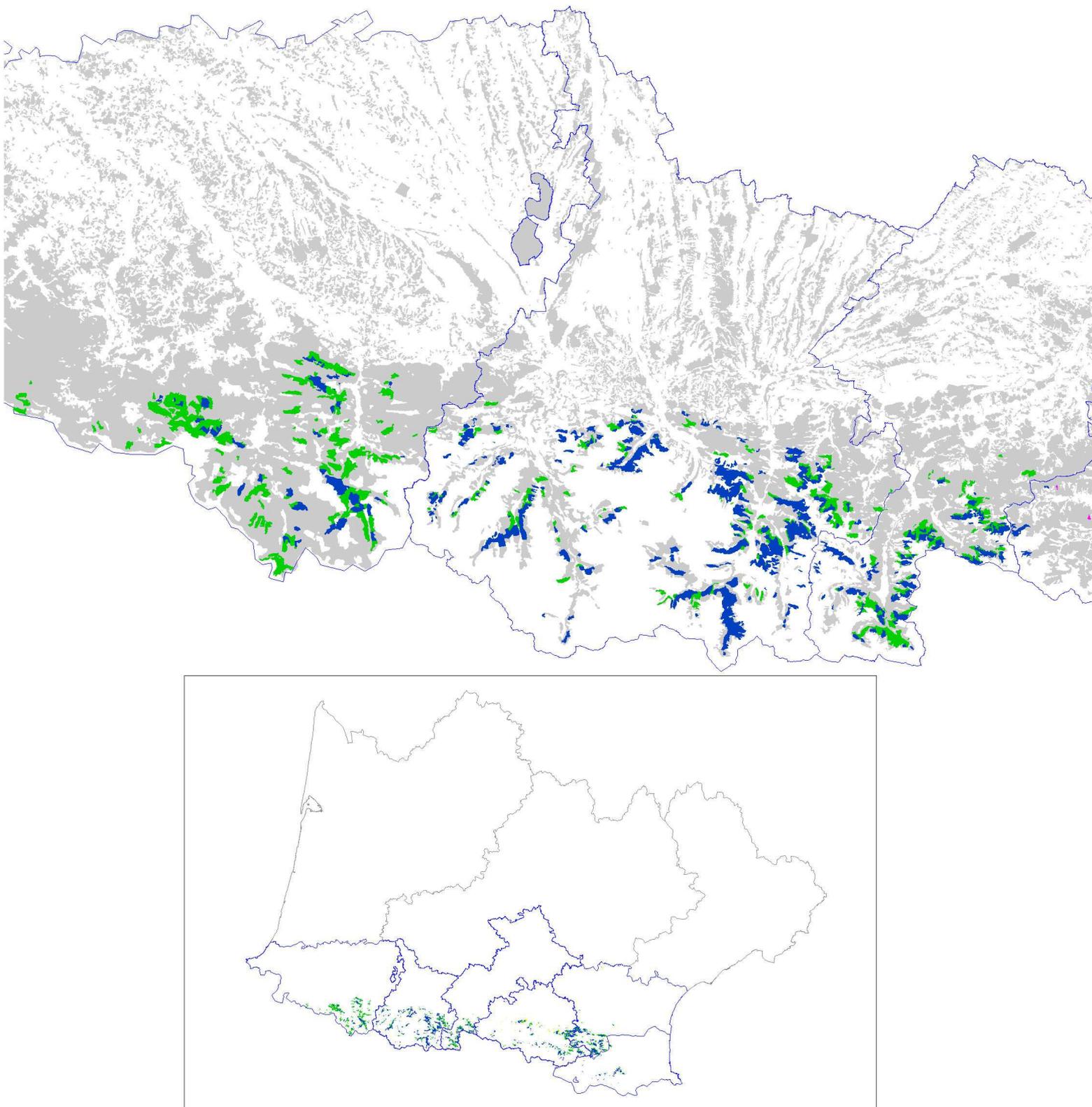


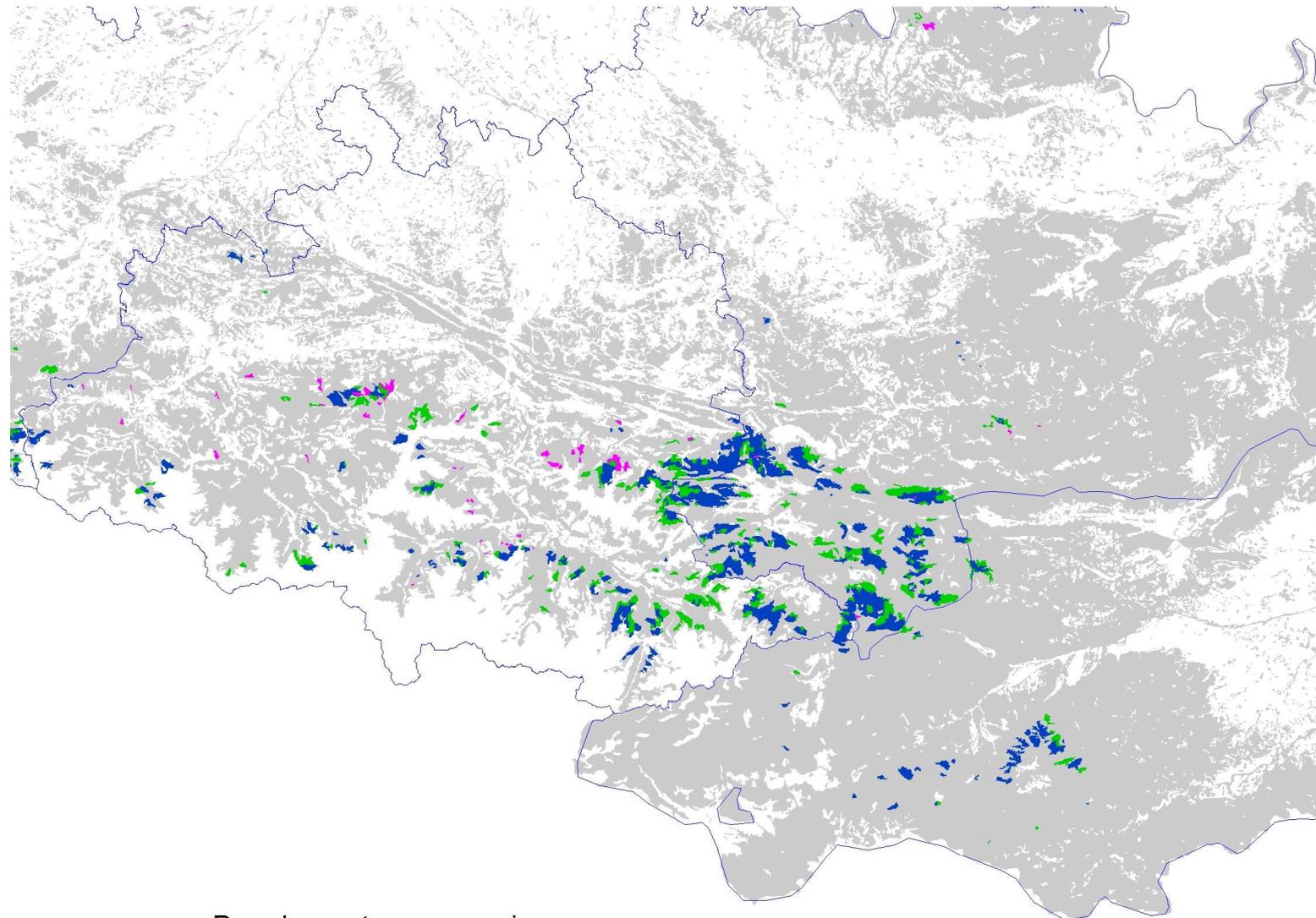
**Figure 3 – Répartition des peuplements de sapin par type de propriétaire et par département**



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)**

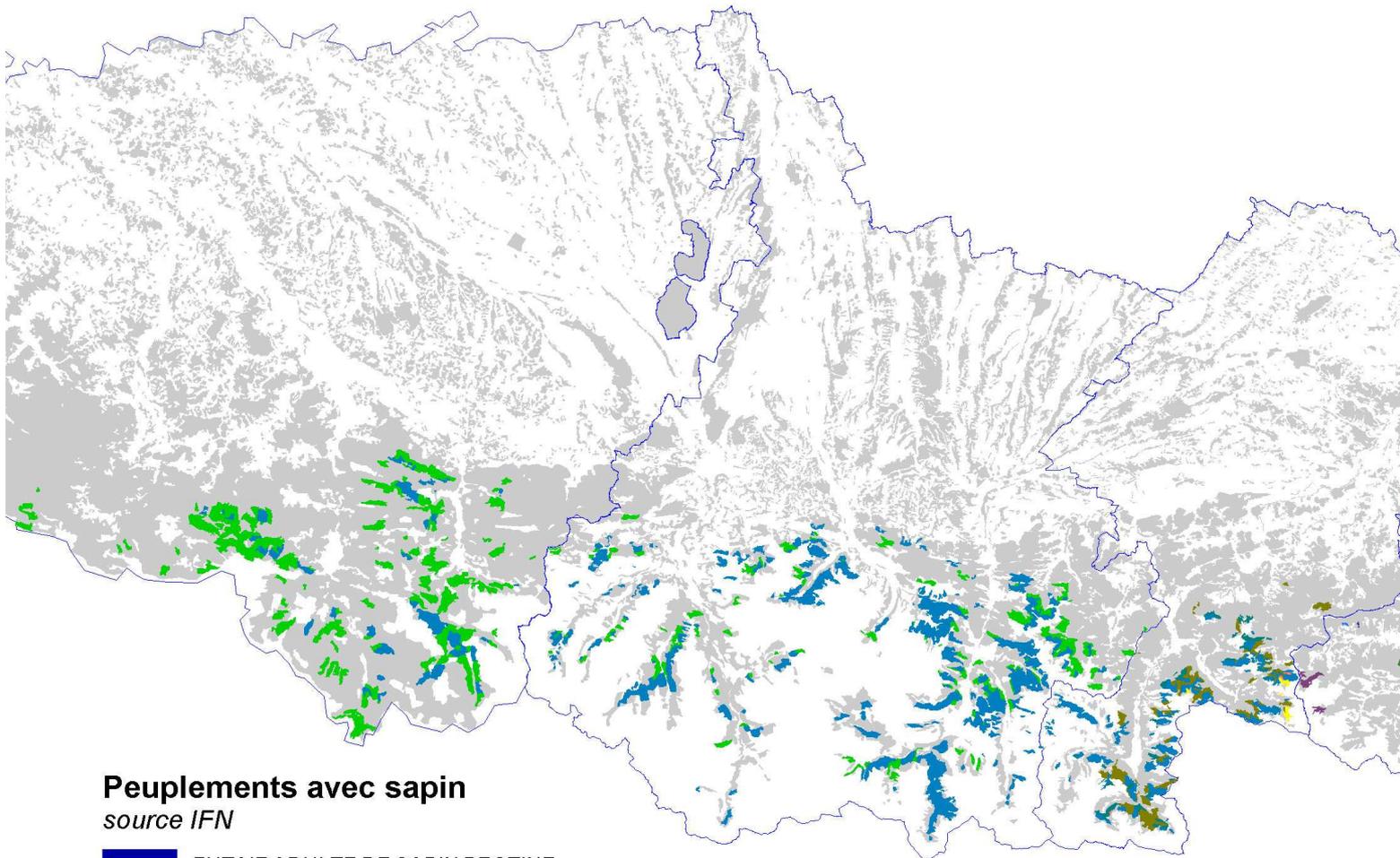




Peuplements avec sapin  
*source IFN*

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

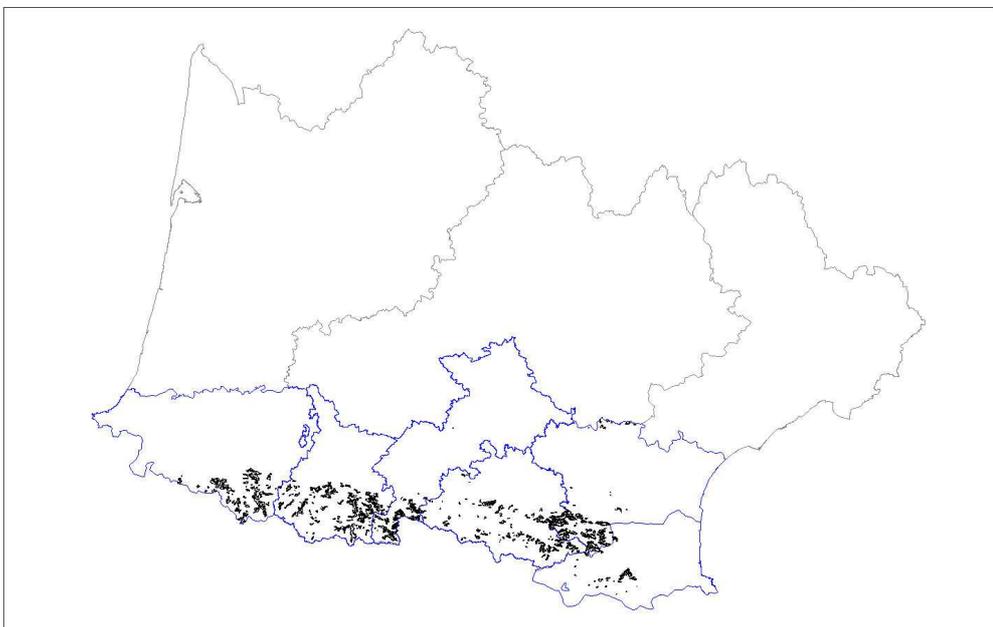
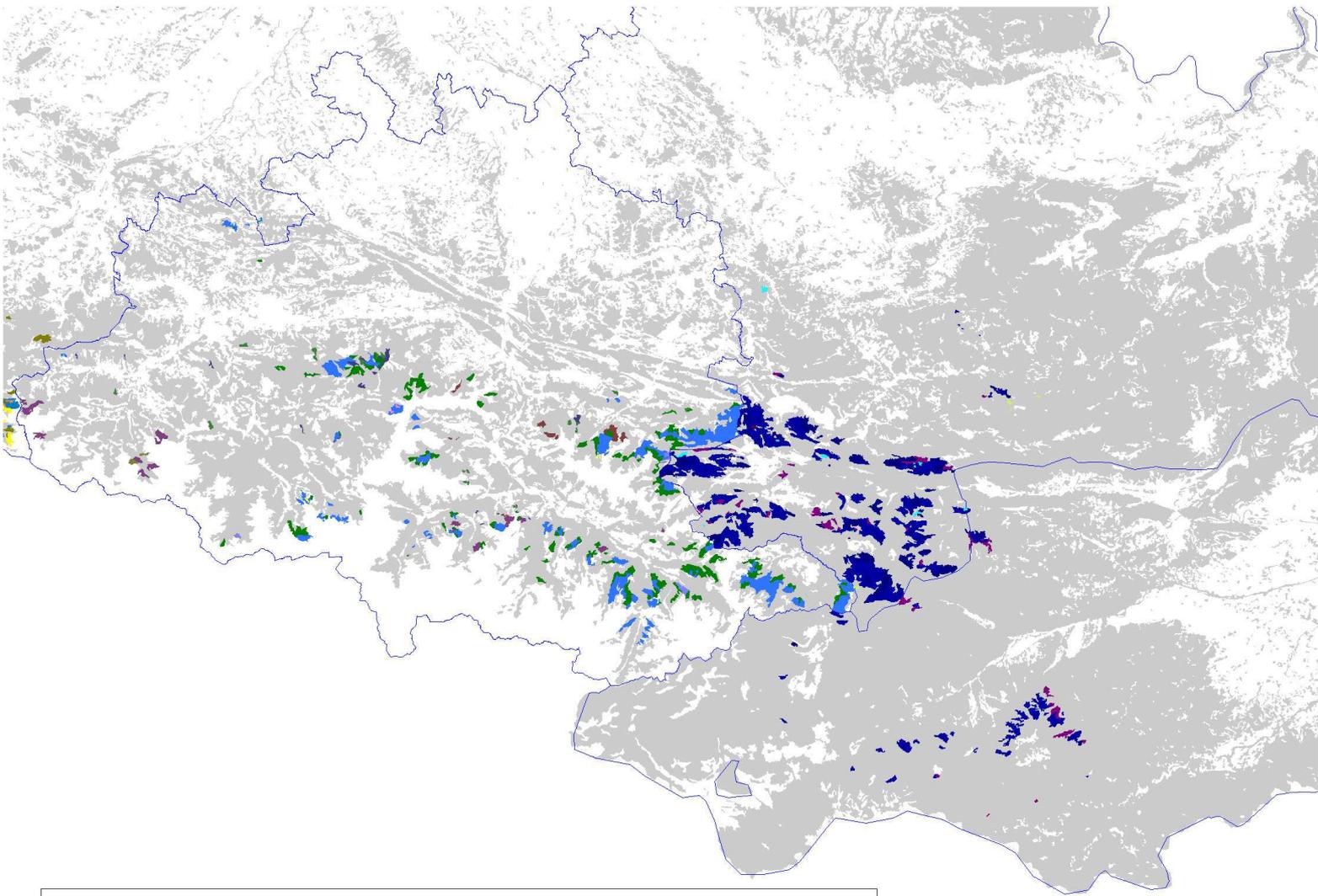
**Figure 5 - Localisation des types de peuplement comportant du sapin (source : IFN)**



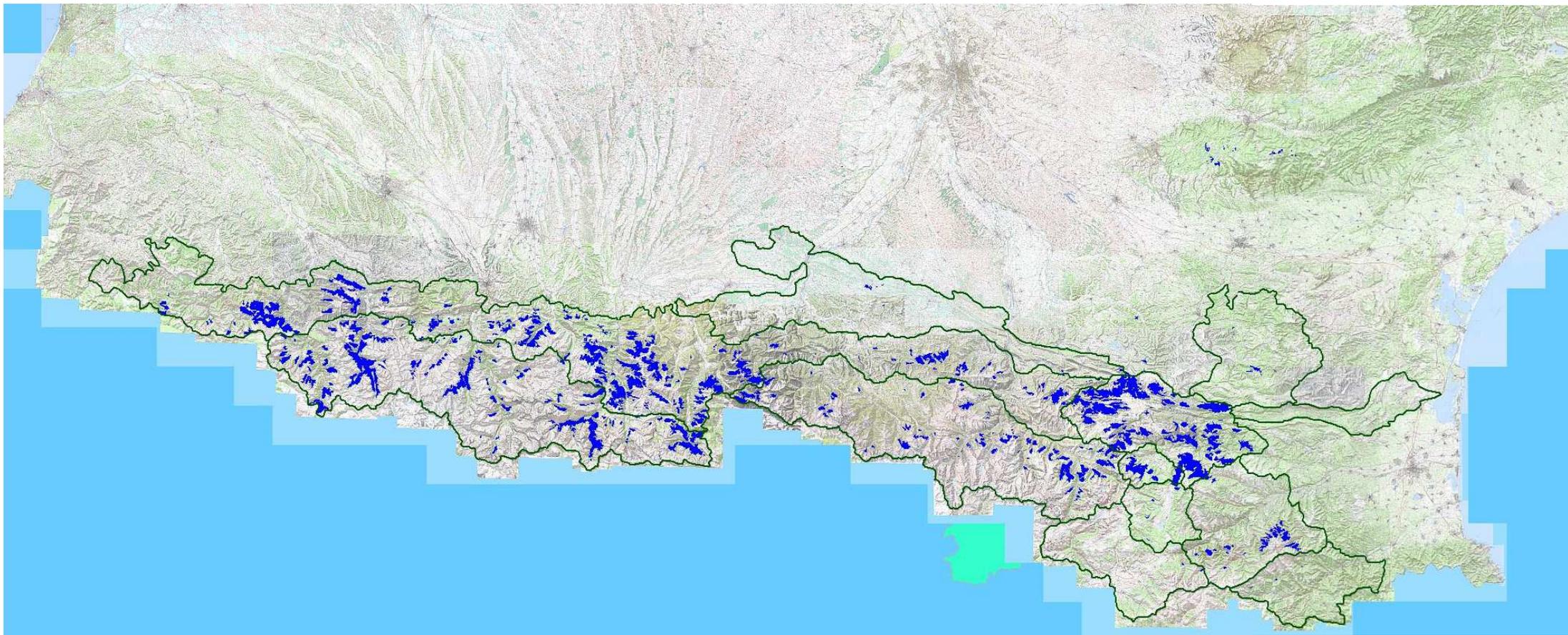
### Peuplements avec sapin

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](mailto:pierre.gonin@cnpf.fr)  
Bruno FADY, INRA Avignon – URFM, [bruno.fady@avignon.inra.fr](mailto:bruno.fady@avignon.inra.fr)  
Brigitte MUSCH, Conservatoire Génétique des Arbres Forestiers, [musch@orleans.inra.fr](mailto: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

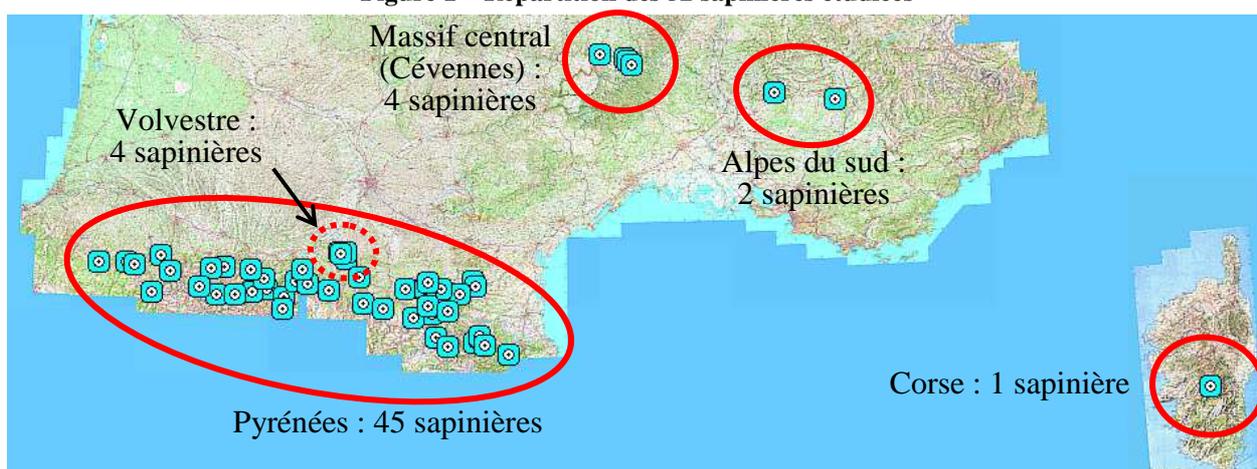


Tableau 1 – surface de sapinières par régions IFN (ha)

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

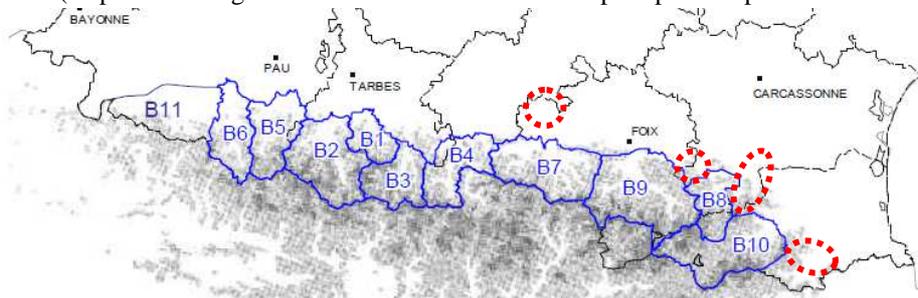
#### 4.1.2 - STRATIFICATION

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*					
<b>Surface des sapinières à partir des données IFN (ha)</b>													
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					
<b>Nombre de sapinières à échantillonner</b>													
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							
<b>Nombre retenu</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>45</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>52</b>	

\* 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 échantillonnés, 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.

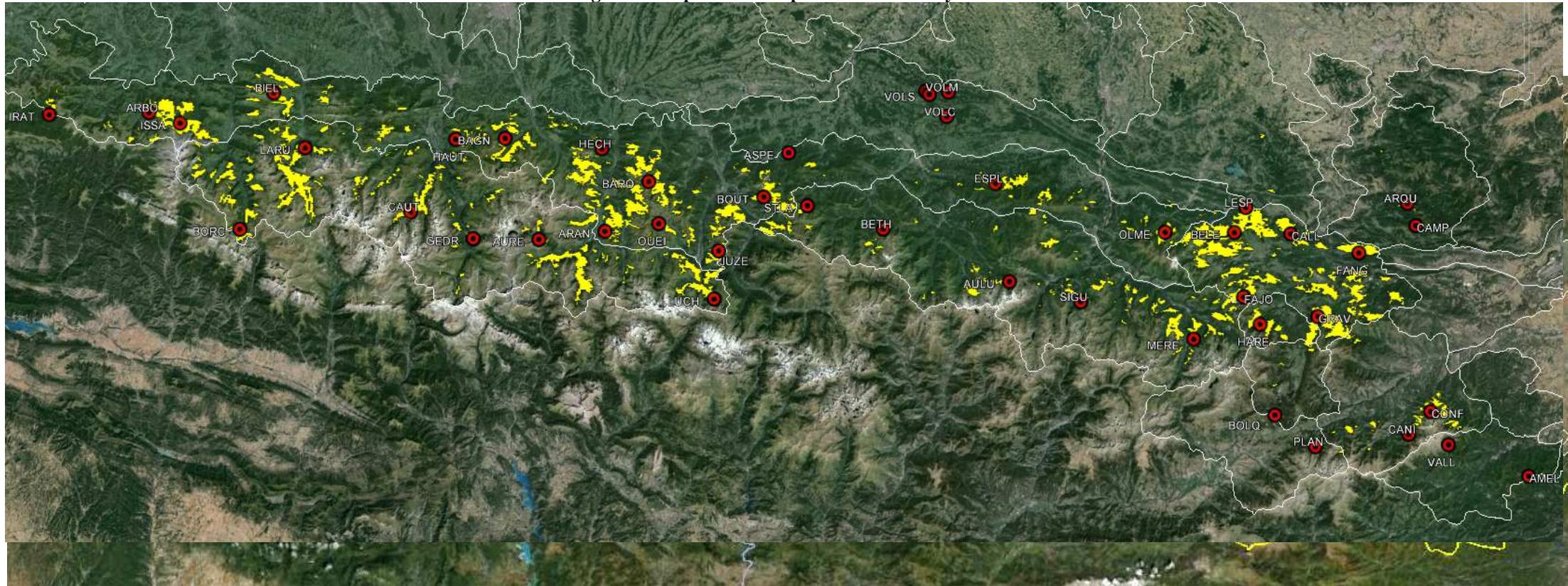


Sapinière la plus orientale des Pyrénées au Roc de France (Amélie les Bains, 66)

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
<b>Total</b>		<b>6</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>52</b>

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](mailto: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 acidiclinales, 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 acidiclinales, 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-acidiclinales, 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 emerus*, *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					+											
<b><i>Fraxino - Quercion</i> et et diff. hygrophiles</b>																	
<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									+							
<b><i>Pulmonario affinis - Fagetum</i></b>																	
<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								+								
<b><i>Androsaemo - Carpinenion</i></b>																	
<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> ) : <b>1</b>	-	-	12. <i>Coronillo</i> – <i>Abietetum</i> : <b>0</b> 11. <i>Seslerio</i> - <i>Fagetum pyrenaicum</i> : <b>0</b>	-
Assez sec à mésophile	13. <i>Homogyno</i> - <i>Abietetum</i> (subalpin) : <b>0</b> 10. <i>Goodyero</i> - <i>Abietetum</i> (montagnard) : <b>0</b>	7. <i>Luzulo niveae</i> - <i>Fagetum</i> : PO : <b>11</b> 8. <i>Luzulo</i> - <i>Fagetum pyrenaicum</i> : PC : <b>8</b> 10. <i>Goodyero</i> - <i>Abietetum</i> : Pyrénées internes : <b>0</b>	3. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum isopyretosum</i> : PA : <b>0</b> 6. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum typicum</i> : PC & PO : <b>3</b>	2. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum lathyretosum grandiflori</i> : PC : <b>1</b> 6. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum typicum</i> : PC & PO : <b>5</b>	1. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum buxetosum</i> : sols minces : <b>1</b> (montagnard inf.)	-
Frais (hygrocline)	13. <i>Homogyno</i> - <i>Abietetum</i> (subalpin) : <b>0</b> 10. <i>Goodyero</i> - <i>Abietetum</i> (montagnard) : <b>0</b>	10. <i>Goodyero</i> – <i>Abietetum</i> : <b>0</b>	4. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum saxifragetosum hirsuti</i> : PA : <b>1</b> 5. <i>Scillo</i> - <i>Fagetum abietetosum</i> : PC & PO : <b>4</b>	-	-	-
Assez humide (mésohygrophile)	14. Sapinière à sphaignes (non décrite) : <b>0</b>	-	-	-	-	-
Toujours humide	-	-	-	-	-	-
NON CLASSES	<p><b>Relevés non classés au niveau d'une association végétale</b> 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) : <b>2 relevés dans le montagnard</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 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) ;</li> <li>- LARU = rattachement à la sous alliance du <i>Scillo</i> – <i>Fagenion</i>.</li> </ul>					

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](mailto:pierre.gonin@cnpf.fr)  
Grégory SAJDAK, Institut pour le Développement Forestier, [gregory.sajdak@cnpf.fr](mailto: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 :

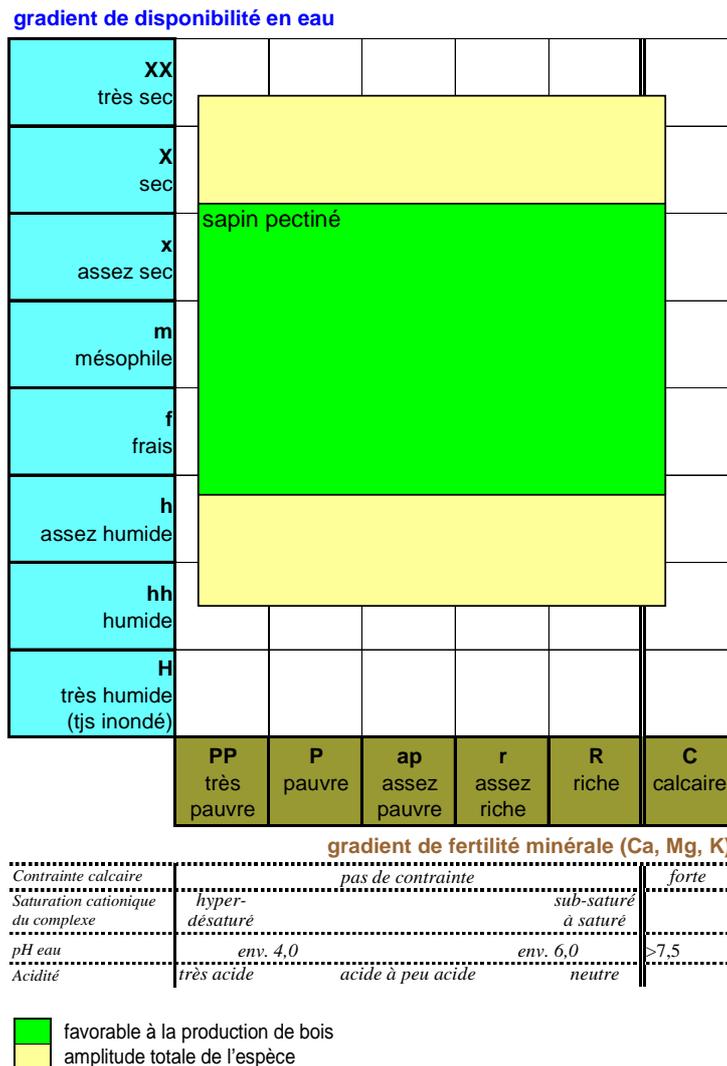
- A Sainte Croix Volvestre (09) :
  - \* températures journalières entre juin 2010 et mars 2012, à proximité de la sapinière de Sainte Croix (lieu-dit Cabanes, à 320 m d'altitude), grâce à l'implantation d'une station météorologique automatique par l'IDF ;
  - \* précipitations mensuelles sur la période 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

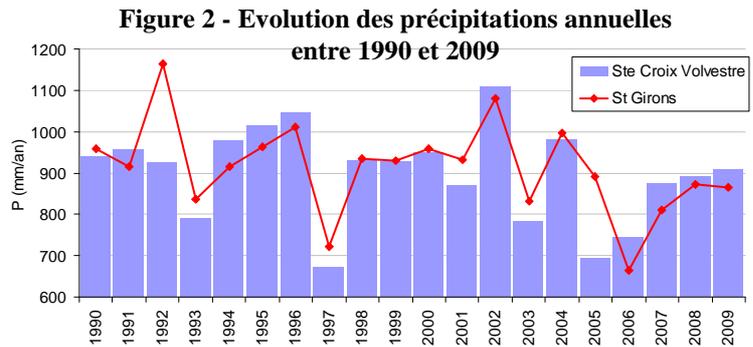
Afin de mieux comprendre la présence du sapin pectiné dans la forêt de Ste Croix Volvestre, surtout à cette altitude (350 m), nous en avons déterminé les caractéristiques climatiques, que nous avons ensuite comparées avec celles des autres sapinières pyrénéennes.

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

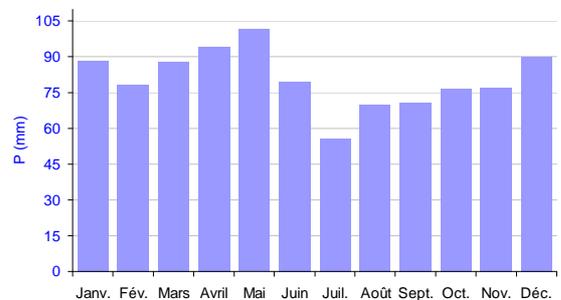
( $p < 0.05$  et  $r = 0.74$ ). A noter une forte variabilité interannuelle autour de cette valeur moyenne : jusqu'à 200 mm/an en plus ou en moins (voir fig. 2). Précisons que deux années présentent de fortes différences entre St Girons et Ste Croix Volvestre (1992 et 2005), peut-être à cause de la neige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

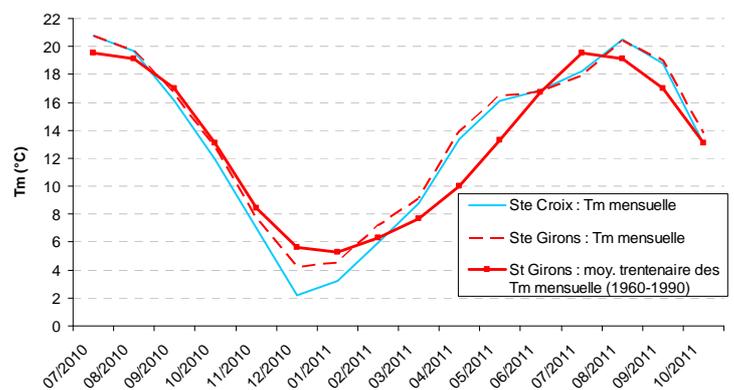
**Figure 3 - Précipitations mensuelles à Ste Croix Volvestre (modèle Hélios 61-90)**



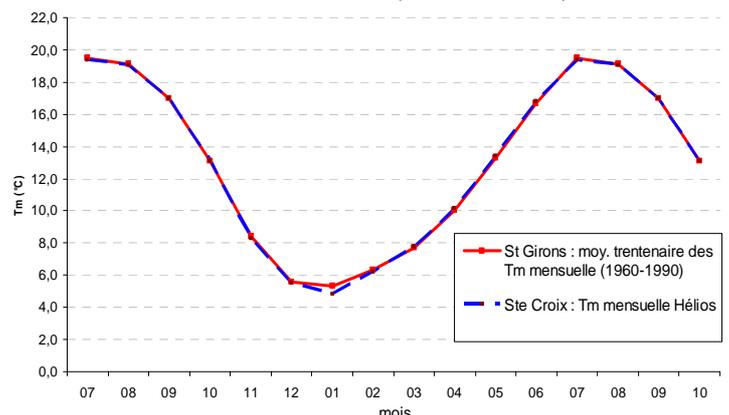
## 6.2.2 - LA TEMPERATURE

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**



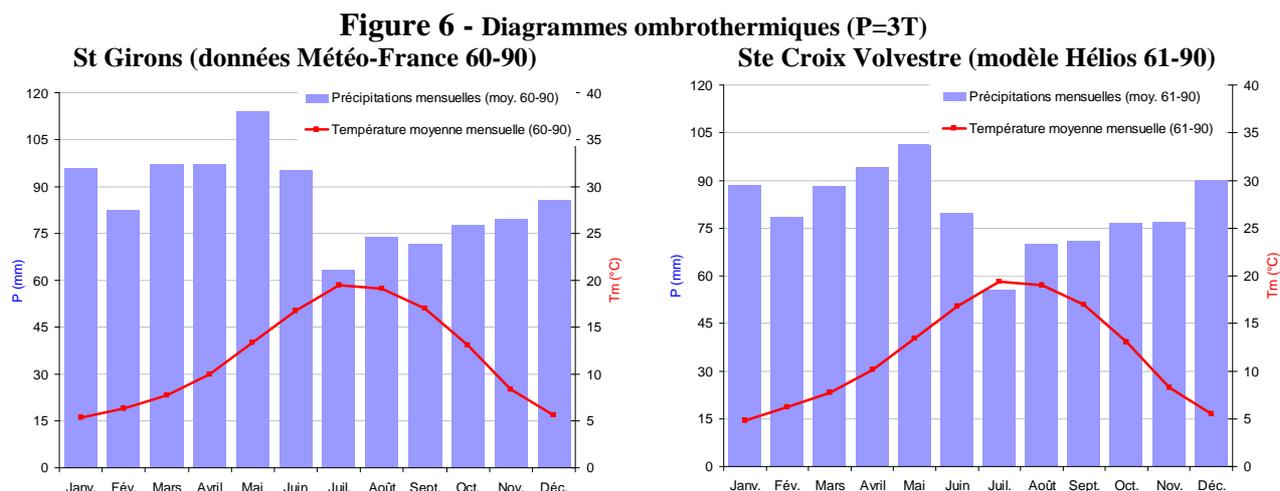
**Figure 5 - Evolution des températures mensuelles à Ste Croix Volvestre (modèle Hélios) et**



### 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

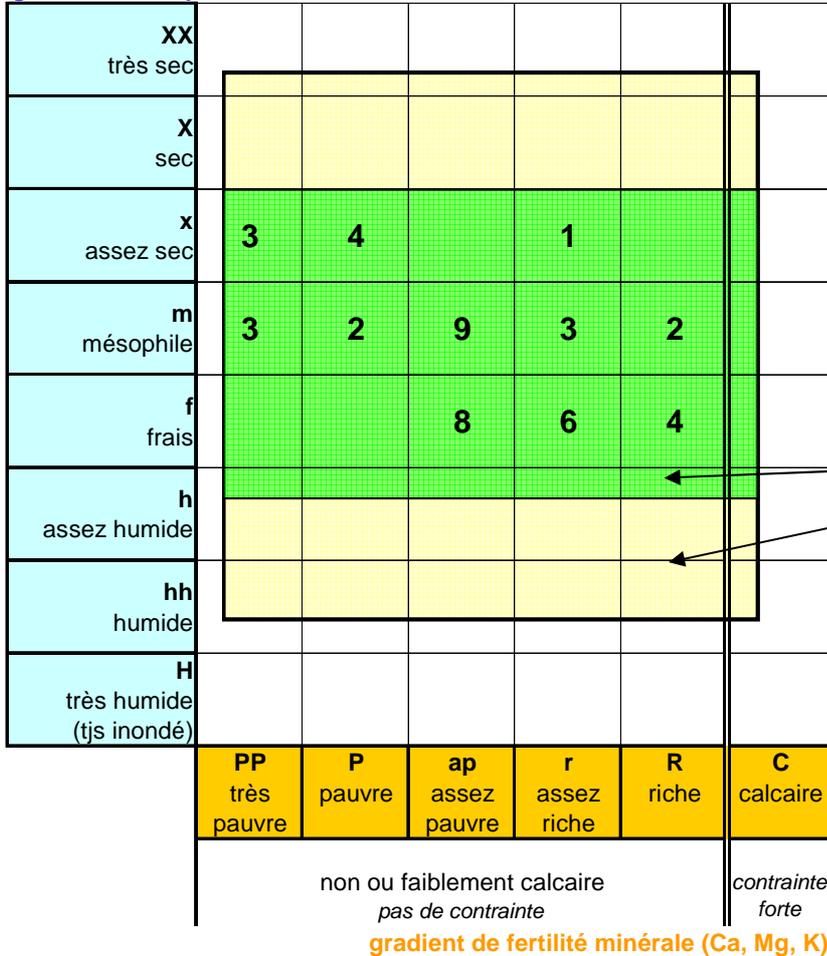
Le climat de Ste Croix Volvestre est donc très proche de celui de St Girons, de type océanique avec des précipitations annuelles de l'ordre de **900 à 1000 mm**, une température moyenne annuelle proche de **12 °C** et l'apparition d'un **mois subsec peu marqué**. De telles conditions ne correspondent 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



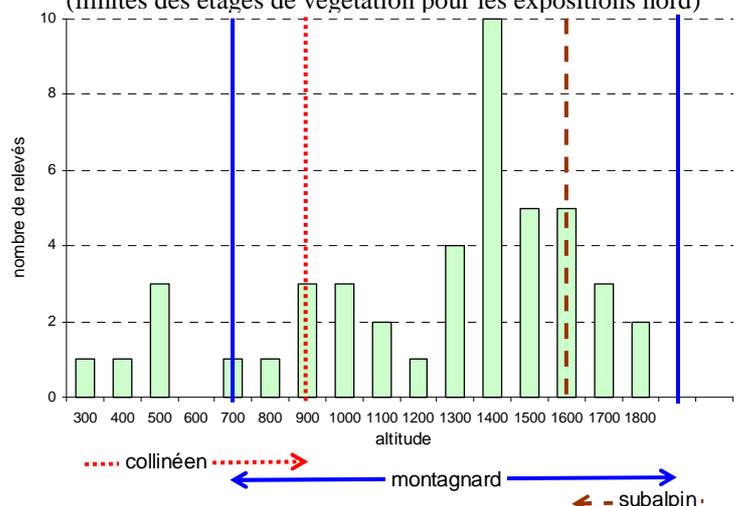
**Figure 7 – Répartition des 45 placettes Pyrénées dans l'écogramme et comparaison avec l'aire écologique du sapin pectiné**  
(nombre de relevés dans chaque situations écologiques)

**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) :

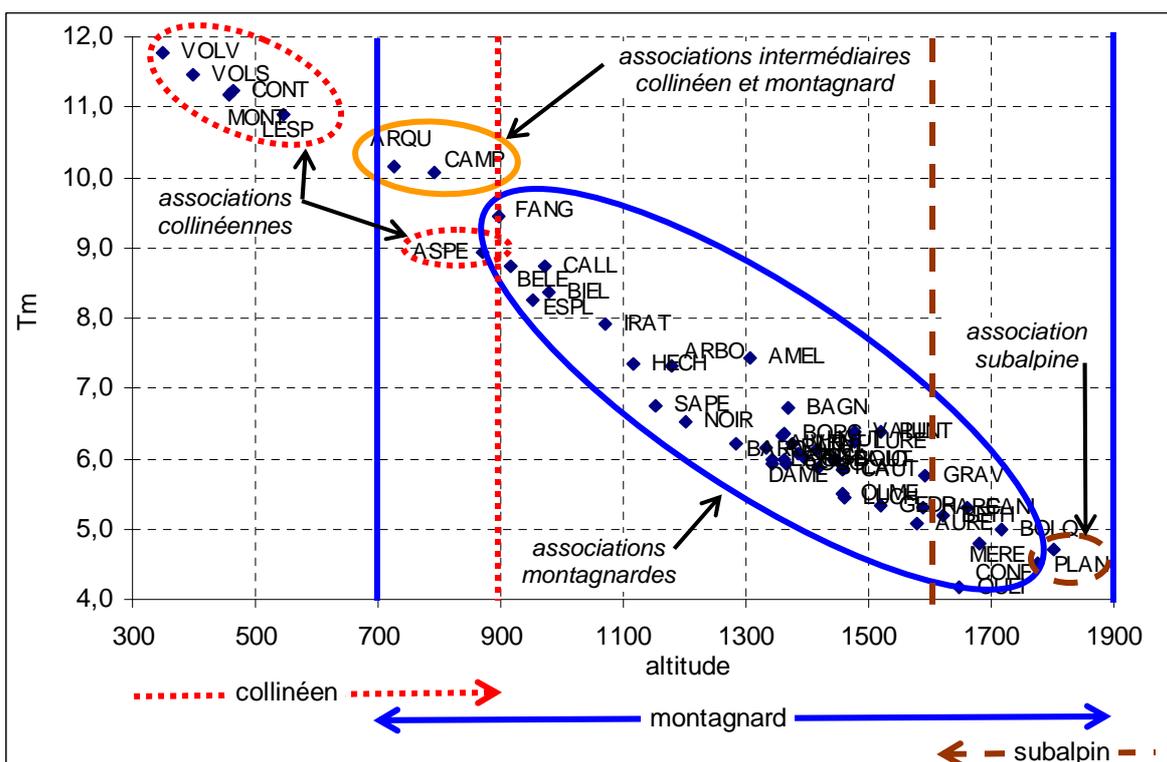
- **associations collinéennes** d'après l'analyse phytosociologique : 5 sapinières, dont 4 dans le Volvestre, ont nettement des caractéristiques de l'étage collinéen, avec **Tm = 11 à 12 °C** et altitudes comprises entre **350 et 550 m** ; le dernier relevé ASPE étant plus proche du montagnard avec Tm = 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).

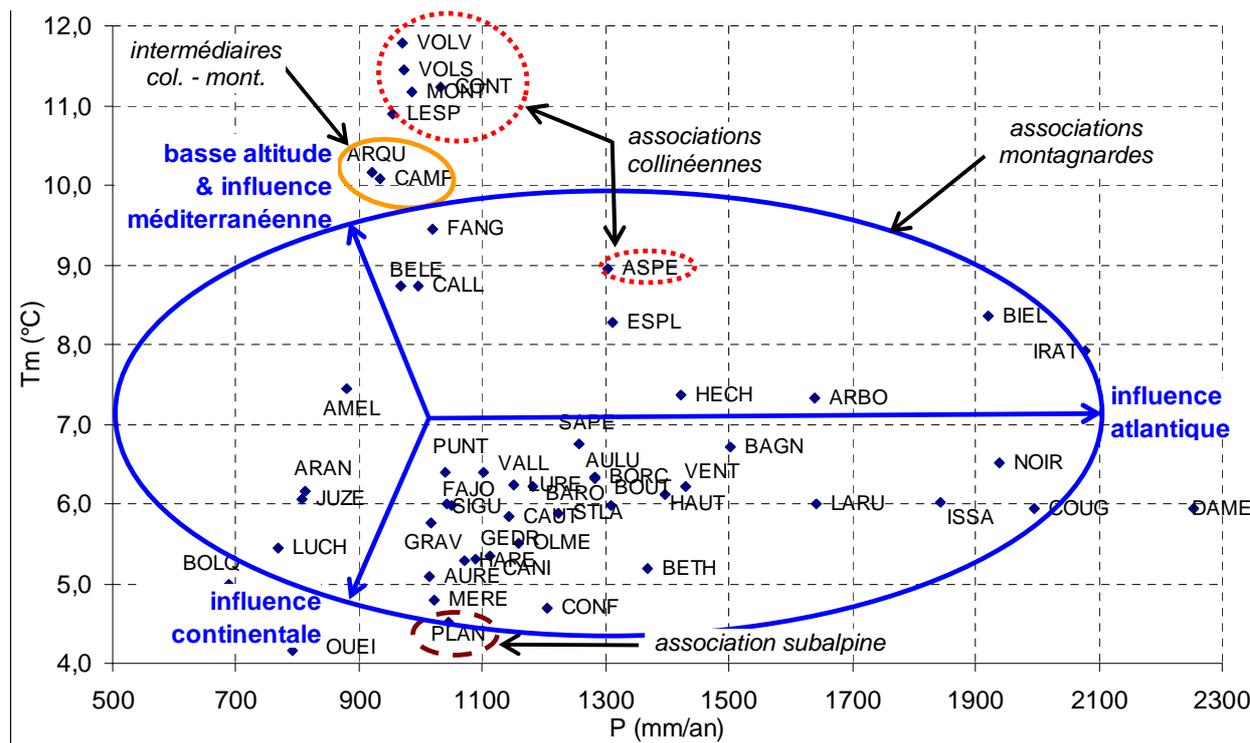
**Figure 9 – Répartition des 52 relevés en fonction de la température moyenne annuelle et de l'altitude, regroupés par étages de végétation définis avec l'analyse phytosociologique**



### 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'ECHANTILLONNAGE**

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](mailto:bruno.fady@avignon.inra.fr)  
Brigitte MUSCH, Conservatoire Génétique des Arbres Forestiers, [musch@orleans.inra.fr](mailto: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 ( $Fis = -0,07$ ). 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

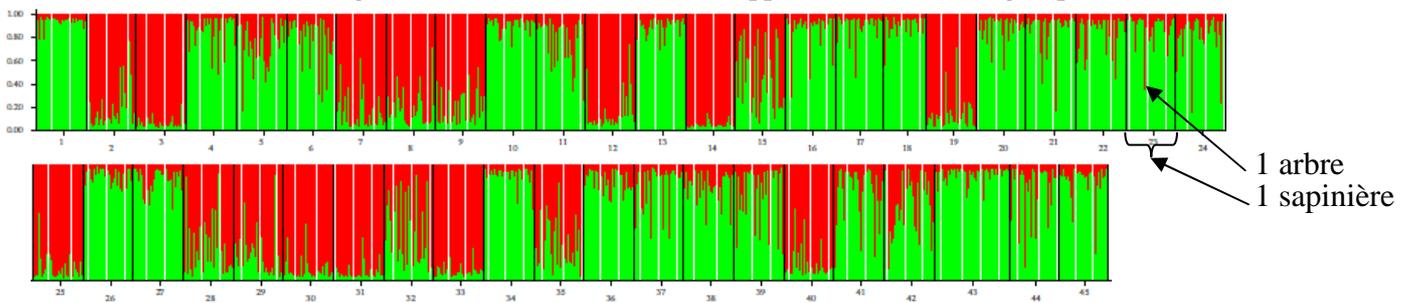
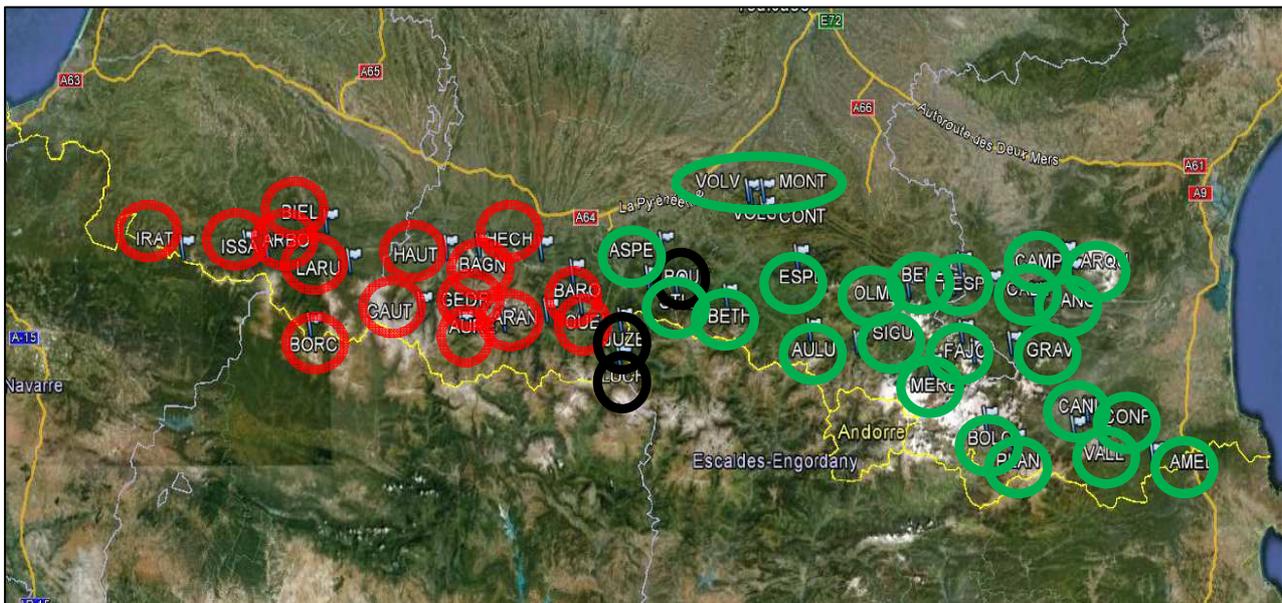


Figure 2 – Localisation des deux ensembles de populations (en rouge et vert) et des 3 populations intermédiaires (en noir)



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](mailto:bruno.fady@avignon.inra.fr)  
Brigitte MUSCH, Conservatoire Génétique des Arbres Forestiers, [musch@orleans.inra.fr](mailto:musch@orleans.inra.fr)  
Ch. DRENOU, Institut pour le Développement Forestier, [christophe.drenou@cnpf.fr](mailto:christophe.drenou@cnpf.fr)  
Patrick VALETTE, ONF, [patrick.valette@onf.fr](mailto: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

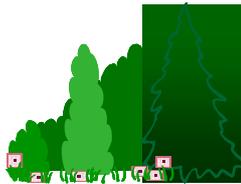
fertilité et des difficultés d'exploitation. Les perches sélectionnées, lors des interventions, vont constituer les tiges d'avenir.

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..



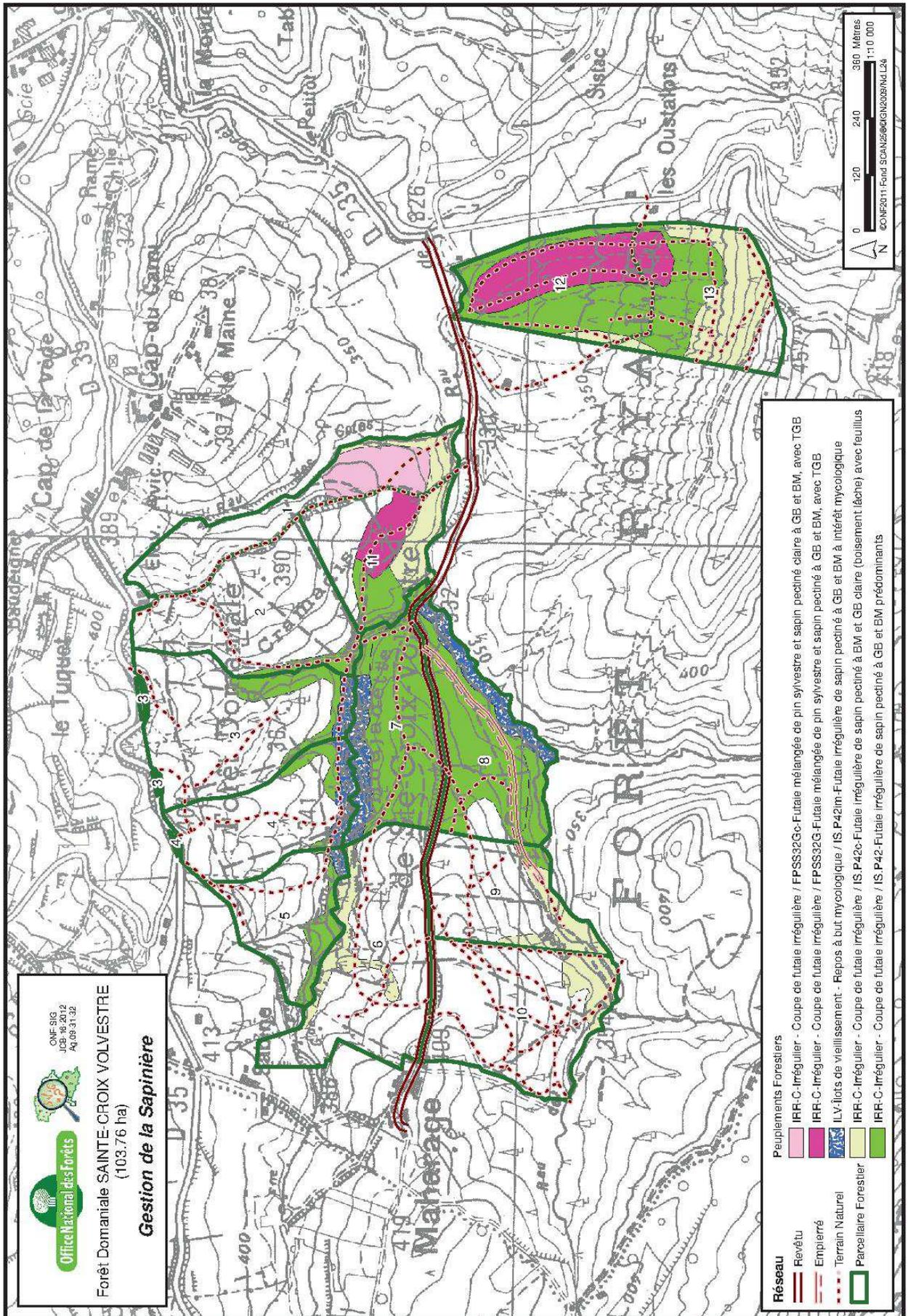
### **8.1.2 - LA FORET DOMANIALE DE SAINTE CROIX VOLVESTRE : UNE SAPINIERE EMBLEMATIQUE**

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.

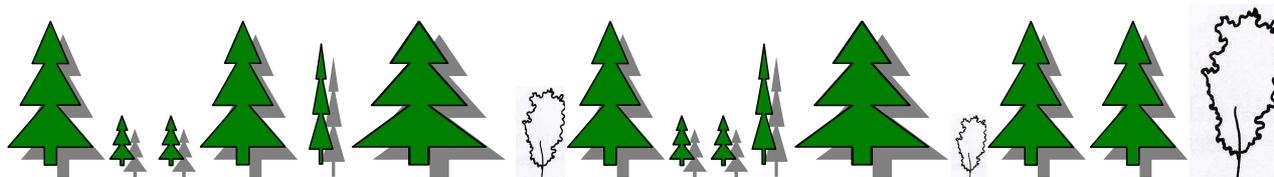
Les résultats de l'inventaire figurent dans le tableau 1 pour les deux types de sapinières identifiés dans la forêt (hormis les futaies mélangées de pin sylvestre et sapin pectiné). La valeur moyenne observée pour la surface terrière est de 26 m<sup>2</sup>/ha (valeur cible = 27 m<sup>2</sup>/ha), le 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**

	<b>Futaie irrégulière de sapin pectiné à gros bois et bois moyen (codes IS.P42 &amp; IS.P42im)</b>	<b>Futaie irrégulière de sapin pectiné à BM et GB claire (boisement lâche) avec feuillus (code IS.P42c)</b>
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 <sup>2</sup> /ha	5 à 30 m <sup>2</sup> /ha
Perches/ha	120 tiges/ha	60 tiges/ha
Régénération ( <i>B ou H</i> )	33%	45%
Volume	200 à 580 m <sup>3</sup> /ha	40 à 340 m <sup>3</sup> /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](mailto: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.**

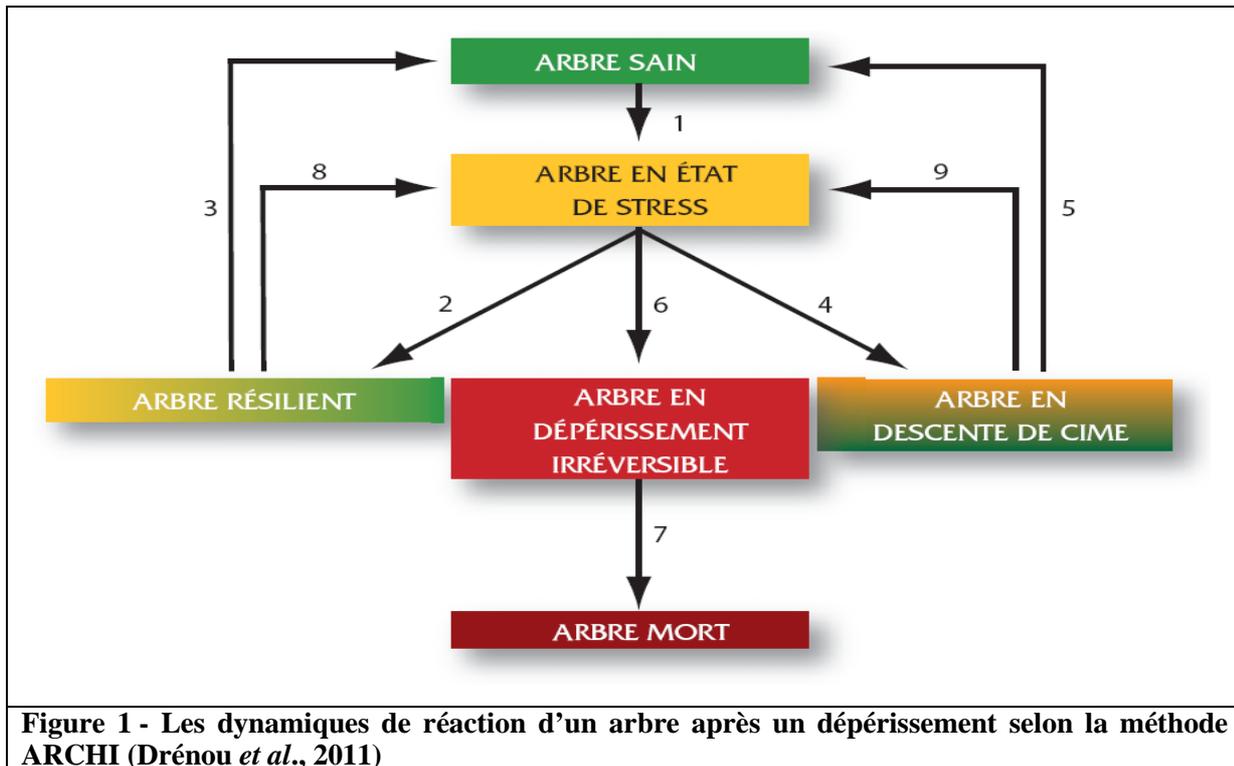
### **8.2.2 - QU'EST-CE QUE LA METHODE ARCHI ?**

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 <b>Arbre SAIN</b>
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 <b>Arbre STRESSÉ</b>
	PRÉPONDÉRANTS sur les A2 Présence de gourmands vigoureux et nombreux	Retour à la normale <b>Arbre RÉSILIENT</b>
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 <b>Arbre en DÉPÉRISSEMENT IRRÉVERSIBLE</b>
	PRESENTS mais DIFFUS Présence de gourmands vigoureux et nombreux, mais non hiérarchisés et diffus dans l'arbre entier	Ecart à la normale <b>Arbre STRESSÉ</b>
	PRÉPONDÉRANTS sur le tronc Présence de gourmands vigoureux, nombreux et hiérarchisés (formation d'un deuxième houppier)	Retour à un état proche de la normale <b>Arbre en DESCENTE de CIME</b>

**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.

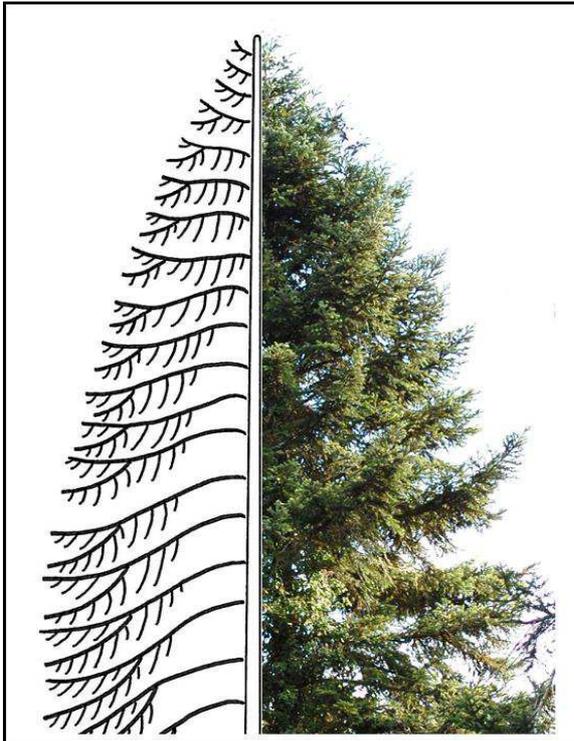


Fig. 2a

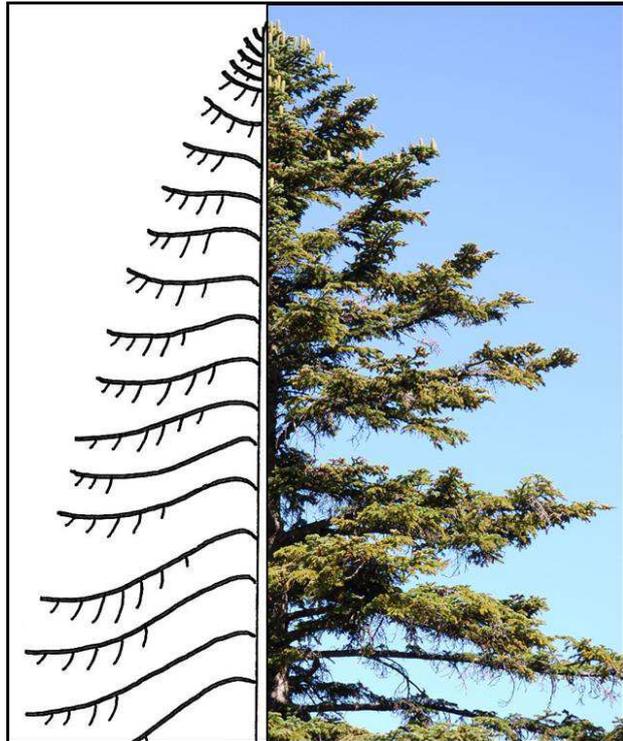


Fig. 2b

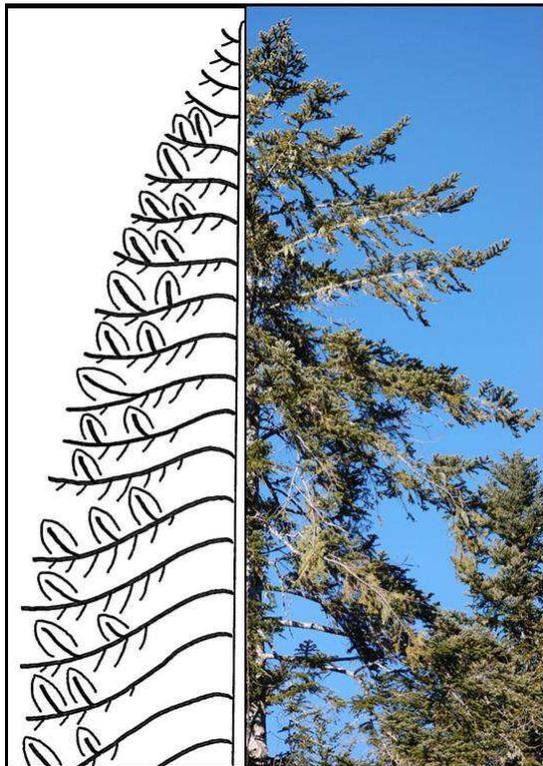


Fig. 2c

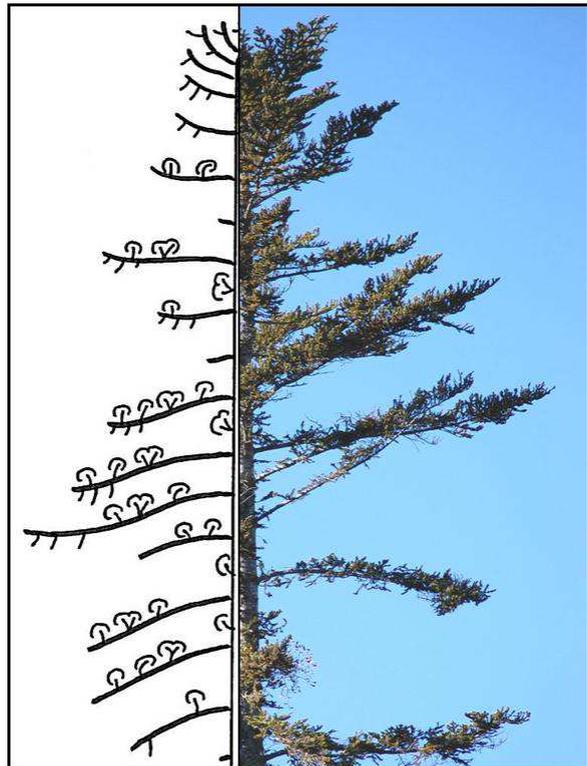


Fig. 2d

**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.**

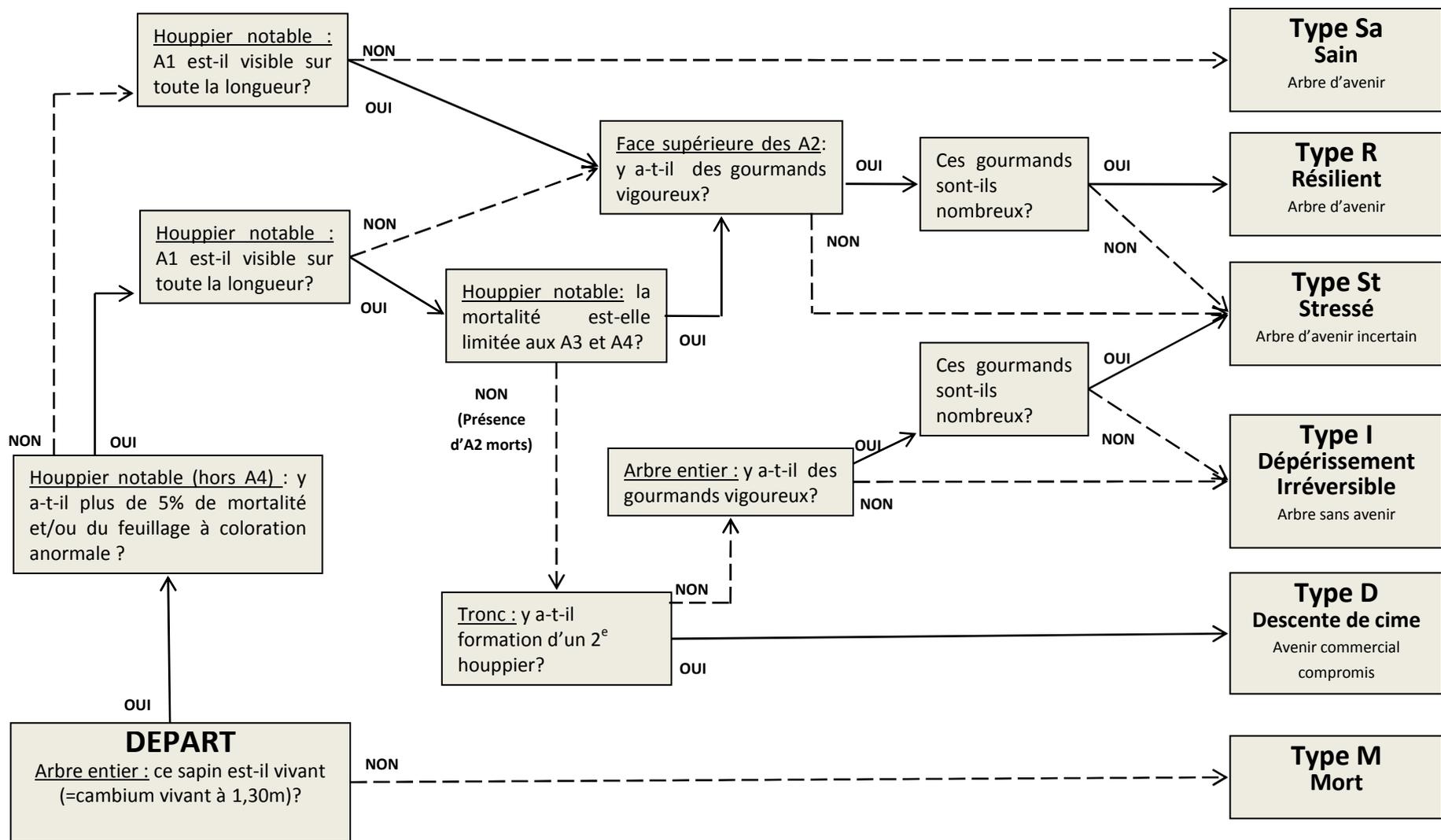


Figure 3 - Clé ARCHI d'aide au diagnostic des dépérissements du sapin pectiné (*Abies alba* Mill.)

### 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.

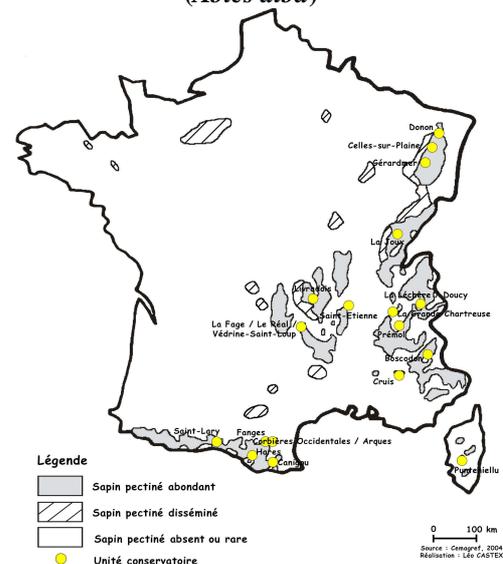
Les unités conservatoires relèvent d'une **protection contractuelle** due à la signature de la charte de gestion, impliquant un niveau d'enjeu fort de la fonction écologique de l'unité conservatoire. Cela implique que leurs limites doivent être précisément reportées sur les cartes des fonctions principales 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 pédoclimatiques 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.