

Les forêts d'un intérêt génétique particulier

Forêts IGP



Office fédéral de
l'environnement,
des forêts et
du paysage
OFEFP

Les forêts d'un intérêt génétique particulier

Forêts IGP

Bases, objectifs
et aménagement

**Publié par l'Office fédéral
de l'environnement, des forêts
et du paysage OFEFP
Berne, 2003**

Valeur juridique de cette publication

La présente publication est une recommandation pour l'exécution, élaborée par l'OFEFP en tant qu'autorité de surveillance, qui s'adresse en premier lieu aux autorités d'exécution. Elle concrétise des notions juridiques indéterminées de lois et d'ordonnances et doit permettre ainsi une pratique d'exécution uniforme. L'OFEFP publie de telles recommandations (souvent appelées aussi directives, instructions, manuels, aides pratiques, etc.) dans sa collection « L'environnement pratique ».

Ces recommandations garantissent dans une grande mesure l'égalité devant la loi et la sécurité du droit tout en permettant de trouver des solutions flexibles et adaptées aux cas particuliers. Si les autorités d'exécution en tiennent compte, elles peuvent partir du principe qu'elles se conforment au droit fédéral. D'autres solutions ne sont pas exclues; selon la jurisprudence, il faut cependant prouver qu'elles sont conformes au droit.

Éditeur

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) – L'OFEFP est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC)

Rédaction

Patrick Bonfils, Markus Bolliger

Auteurs

Patrick Bonfils, Reiner Finkeldey, Marcus Ulber:
Institut fédéral de recherches WSL, Section Écologie génétique, CH-8903 Birmensdorf

Markus Bolliger, Ernst Fürst: Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Direction fédérale des forêts, secteur Conservation des forêts, CH-3003 Berne

Beat Müller: École polytechnique fédérale de Zurich, Chaire de pathologie forestière et dendrologie, Centre EPF, CH-8092 Zurich

Christian Pernstich: Service des forêts et du paysage, Section conservation, bâtiment Mutua, CH-1950 Sion

Peter Rotach: École polytechnique fédérale de Zurich, Chaire de sylviculture, Centre EFP, CH-8092 Zurich

Anton Stauffer: Office cantonal des forêts (OFOR), Division forestière 7, Seeland, Herrenhalde 80, CH-3232 Ins

Collaboration et accompagnement

De nombreuses personnes ont participé activement à l'élaboration d'une stratégie nationale de conservation et d'utilisation durable des ressources génétiques en forêt. Nous les en remercions sincèrement, notamment Reinhard Eichrodt, Urs Eugster, Silvia Fineschi, Jürg Fritschi, Ursula Heiniger, Rolf Holderegger, Erwin Hussendörfer, Erich Kohli, Urs Lauber, Walter Linder, Reza Marvie, Gabor Mátyás, Gerhard Müller-Starck, Barbara Remund Zuffi, Christoph Scheidegger, Anton Schuler, Jean-Philippe Schütz, Andrea Semadeni, Christoph Sperisen, Stefan Studhalter, Hans-Peter Stutz, Christoph Tranchet et Heinz Wandeler.

De nombreuses études génétiques menées à l'Institut fédéral WSL ont contribué à étayer scientifiquement le présent concept. Nous adressons notre merci au WSL. Pour la relecture du manuscrit et de certaines parties, nous aimerions encore remercier: Felix Gugerli, Norbert Kräuchi et Nino Kuhn.

Citation

BONFILS, P.; BOLLIGER, M. (réd.) 2003: Les forêts d'un intérêt génétique particulier (forêts IGP), Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP, 60 p.

Conseiller OFEFP

Markus Bolliger

Image de couverture

Photo: Jeanne Chevalier

Mise en page et conception graphique

Ursula Nöthiger-Koch

Traduction

Philippe Poget, ing. forestier EPF, 1242 Satigny

Commande

OFEFP, Documentation, CH-3003 Berne

Fax + 41 (0) 31 324 02 16

E-Mail: docu@buwal.admin.ch

Internet: www.buwalshop.ch

Cette publication est également disponible en allemand

Numéro

VU-7025-F

© OFEFP 2003

Table des matières

Abstracts	5
Préface	7
Historique	11
1 Les ressources génétiques des arbres forestiers	13
1.1 Nature et importance de la diversité génétique	13
1.1.1 Adaptation aux modifications environnementales	14
1.2 Les populations d'arbres forestiers	15
1.2.1 La variation génétique à l'intérieur des populations	15
1.2.2 La variation génétique entre populations	17
1.3 Les influences sur la génétique des arbres forestiers	18
1.3.1 L'histoire forestière	18
1.3.2 Sylviculture	23
1.3.3 Substances polluantes	25
1.3.4 Modification du climat	26
2 La stratégie de la Confédération en matière de conservation et d'utilisation durable des ressources génétiques en forêt	27
2.1 Conventions et résolutions internationales	27
2.2 Stratégie nationale	27
3 Les forêts d'un intérêt génétique particulier (forêts IGP)	29
3.1 Définition et objectifs	29
3.2 Exploitation	30
3.2.1 Régénération naturelle	31
3.2.2 Régénération artificielle	32
3.2.3 Matériel de reproduction	33
3.3 Déclaration de principe IGP	34
3.4 Aménagement et gestion des forêts IGP	36
3.4.1 Planification forestière	36
3.4.2 Mesures particulières de conservation génétique	36
3.4.3 Aides financières	37
3.4.4 Monitorage et arbitrage	38
3.5 Grandeur des forêts IGP	38
3.6 Choix de forêts IGP appropriées	40
3.6.1 Critères génétiques	40
3.6.2 Division régionale	40
3.6.3 Choix des diverses forêts IGP	41
3.7 Intersections	42
3.7.1 Forêts IGP et réserves forestières	42
3.7.2 Forêts IGP et peuplements semenciers	43
3.7.3 Forêts IGP et promotion des essences rares	43
4 La forêt de l'Ochsenboden: une sapinière d'un intérêt génétique particulier	45
4.1 Histoire forestière	45
4.2 Critères génétiques	47
4.3 La forêt IGP de l'Ochsenboden	48
5 Indication des sources	49
Index	55
1 Glossaire	55
2 Figures	59
3 Mots-clés	60

Abstracts

Keywords:
forest trees,
genetic resources,
gene conservation,
SGI forests,
gene reserves

Stichwörter:
Waldbäume,
Genetische
Ressourcen,
Generhaltung,
BGI-Wälder,
Genreservate

Mots-clés:
arbres forestiers,
ressources génétiques,
conservation
génétique,
forêts IGP,
réserves génétiques

Parole chiave:
alberi forestali,
risorse genetiche,
mantenimento della
diversità genetica,
foreste IGP,
riserve genetiche

This publication serves the implementation of the Swiss Strategy to foster forest biodiversity. It is dedicated to designating forests of special genetic interest (SGI forests), and thus describes an instrument for the conservation and sustainable use of genetic resources of forest trees and shrubs. – The first part of the report presents the significance of genetic diversity for the forest, describes possible factors influencing it, and defines the most important specialist terms. – The main part of the publication is devoted to SGI forests and to the principles of their management. Planning aspects and specific measures for gene conservation are presented, together with the selection criteria for SGI forests. – Finally, using an SGI forest for silver fir as an example, the stands in Ochsenboden near Sierre (VS) are described.

Die vorliegende Publikation dient der Umsetzung der schweizerischen Strategie zur Förderung der Biodiversität im Wald. Sie ist der Ausscheidung von Wäldern von besonderem genetischen Interesse (BGI-Wälder) gewidmet und beschreibt damit ein Instrument für die Erhaltung und nachhaltige Nutzung genetischer Ressourcen von Bäumen und Sträuchern im Wald. – Im ersten Teil des Berichts werden die Bedeutung genetischer Vielfalt für den Wald dargestellt, mögliche Einflussfaktoren beschrieben und die wichtigsten Fachaussdrücke erklärt. – Der Hauptteil der Publikation ist dem Ziel der BGI-Wälder und seinen Bewirtschaftungsgrundsätzen gewidmet. Planerische Aspekte und besondere Generhaltungsmassnahmen sind ebenso dargestellt wie die Auswahlkriterien für BGI-Wälder. – Zum Schluss wird als Beispiel eines BGI-Waldes für die Weisstanne der Bestand im Ochsenboden bei Sierre (VS) vorgestellt.

La présente publication contribue à la mise en œuvre de la stratégie suisse de promotion de la biodiversité en forêt. Elle est consacrée à la délimitation des forêts d'un intérêt génétique particulier (forêts IGP) et décrit ainsi un instrument permettant de conserver et d'utiliser durablement les ressources génétiques des arbres et arbustes en forêt. – La première partie de ce rapport rappelle l'importance de la diversité génétique pour la forêt; elle décrit les facteurs qui peuvent l'influencer et explique les principaux termes techniques. – La partie principale est consacrée au but des forêts IGP et à leurs principes de gestion. Elle présente aussi les aspects liés à la planification, les mesures particulières de conservation génétique ainsi que les critères de choix pour la désignation des forêts IGP. – La partie finale présente comme exemple une forêt IGP de sapin blanc: l'Ochsenboden près de Sierre en Valais.

La presente pubblicazione costituisce un ausilio per l'applicazione della strategia svizzera di promozione della biodiversità nei boschi. Descrive la delimitazione delle foreste d'interesse genetico particolare (foreste IGP) quale strumento per il mantenimento e lo sfruttamento sostenibile delle risorse genetiche degli alberi e arbusti presenti nei boschi. – Nella prima parte della relazione viene descritta l'importanza della diversità genetica per i boschi e i possibili fattori che la influenzano. Vengono inoltre spiegati i principali termini tecnici. – Il corpus centrale descrive invece l'obiettivo di creare foreste IGP e i principi per la loro gestione. Vengono altresì presentati gli aspetti di pianificazione e i particolari provvedimenti necessari per il mantenimento della diversità genetica, nonché i criteri di selezione delle foreste d'interesse genetico particolare. – Nell'ultima parte viene descritto il patrimonio boschivo dell'Ochsenboden presso Sierre (VS) come esempio di una foresta IGP per l'abete bianco.

Préface

L'homme a marqué la forêt de son empreinte dès l'Antiquité. La forêt originelle a subi d'importantes modifications sous l'action des défrichements et des surexplorations, mais aussi par les reboisements, les différentes formes de gestion et une foresterie orientée vers le rendement. Les influences indirectes sur la forêt, dues aux substances polluantes ou à la modification du climat, ont récemment gagné en importance et sont venues s'ajouter aux interventions directes de l'homme. Tous ces facteurs se répercutent aussi sur le patrimoine génétique des populations d'arbres forestiers.

La diversité génétique, caractéristique fondamentale de la biodiversité, constitue la base essentielle de la capacité d'adaptation de nos forêts aux modifications de l'environnement. C'est la seule façon pour les forêts de répondre durablement aux exigences de notre société, aussi bien écologiques, qu'économiques ou sociales. Nous avons donc un intérêt très profond et aussi une obligation éthique à concevoir la protection et l'utilisation durable des ressources génétiques comme une composante primordiale de notre politique forestière actuelle. La Suisse a montré sa volonté d'assumer cette responsabilité, en signant divers traités européens pour la protection et l'utilisation durable des forêts en 1990 à Strasbourg et en 1993 à Helsinki, ainsi qu'en ratifiant la Convention sur la biodiversité de 1992 à Rio de Janeiro.

Cette publication présente les bases pour une conservation *in situ* de la diversité génétique des arbres forestiers et contribue ainsi à promouvoir la biodiversité dans la forêt suisse. La délimitation de forêts d'intérêt génétique particulier (forêts IGP) devrait permettre la conservation de populations d'arbres localement adaptées. Cette brochure fournit les explications sur un plan génétique, en plus des bases concernant les techniques et la planification nécessaires pour aménager et gérer les forêts IGP.

Cette publication s'adresse avant tout à tous ceux qui endossent une part de responsabilité dans la conservation de la forêt: les services forestiers cantonaux, les propriétaires forestiers ainsi que les organisations de protection de la nature. Les divers chapitres sont rédigés de manière indépendante, ce qui permet leur lecture séparée et confère à la publication le caractère d'un ouvrage de référence.

Nous souhaitons que cet ouvrage ne soit pas seulement considéré comme un manuel technique, mais qu'il permette d'éveiller aussi l'intérêt pour la génétique en forêt.

Office fédéral de l'environnement,
des forêts et du paysage

*Le Directeur fédéral des forêts
Werner Schärer*

Résumé

La diversité génétique détermine le potentiel d'adaptation par évolution des populations d'arbres forestiers. La possibilité pour nos forêts de répondre aux exigences aussi bien écologiques, économiques que sociales dépend dans une large mesure de leur capacité de s'adapter aux modifications des conditions environnementales.

La Suisse s'est engagée dans diverses conventions et résolutions internationales à inclure la conservation des ressources génétiques dans son concept d'exploitation durable de la forêt. La Direction fédérale des forêts de l'OFEFP a élaboré, en collaboration avec les services forestiers cantonaux, une stratégie nationale de promotion de la biodiversité en forêt qui englobe cet aspect.

Une des mesures préconisées par la Confédération et les cantons consiste à conserver les populations d'arbres et d'arbustes adaptés localement dans leur milieu original de croissance (*in situ*). Les forêts d'un intérêt génétique particulier (forêts IGP) servent à conserver les caractéristiques génétiques de ces populations et à garantir et favoriser leur capacité d'adaptation par évolution. La délimitation des forêts IGP peut se faire aussi bien pour des espèces d'arbres ou d'arbustes formant des peuplements que pour celles qui sont disséminées, rares ou menacées.

La déclaration de principe IGP précise les tâches qui incombent aux propriétaires forestiers, aux services forestiers cantonaux et à la Direction fédérale des forêts lors de l'aménagement d'une forêt IGP. Les propriétaires forestiers doivent en particulier s'engager à ne travailler qu'avec la provenance locale et le plus possible avec la régénération naturelle. La poursuite d'une exploitation forestière normale est possible, selon les principes d'une sylviculture proche de la nature.

Sur la base de l'inscription des forêts IGP dans un document de planification contraignant pour les autorités (p. ex. plan directeur forestier), et d'une inscription de portée obligatoire pour les propriétaires (p. ex. dans le plan de gestion), la Confédération soutient financièrement, en cas de nécessité, les mesures particulières de conservation génétique.

Une forêt IGP pour le sapin blanc a été délimitée dans la région d'Ochsenboden près de Sierre (VS) en 2001. Elle sert d'exemple pour présenter la désignation et l'aménagement des forêts IGP en Suisse.

Historique

Les principes fondamentaux présentés dans cette publication concernant la délimitation et la gestion des forêts d'un intérêt génétique particulier (forêts IGP) constituent un prolongement du concept des réserves génétiques forestières élaboré par un groupe de travail des présidents de la Conférence des inspecteurs forestiers cantonaux (OKOK) et approuvé en 1987 par cette même Conférence^[1]. La Chaire de sylviculture de l'EPF Zurich, sous la direction du professeur Jean-Philippe Schütz, a pris une part prépondérante dans la formulation du concept de réserve génétique et a conduit de 1988 à 1995 deux projets intitulés « Délimitation de réserves génétiques forestières ». L'Institut fédéral de recherche WSL à Birmensdorf a entrepris diverses recherches génétiques relatives aux arbres forestiers à partir de 1990, sous la conduite de Gerhard Müller-Starck, en coordination avec les projets en cours à l'EPF. Dès 1996, le WSL a repris la direction de différents projets de conservation génétique réunis sous le titre « Conservation et utilisation des ressources génétiques en forêt ». Le suivi scientifique a été assuré par Silvia Fineschi de 1996 à 1997 (aujourd'hui rattachée à l'Istituto per l'Agro selvicoltura, Porano, Italie), par Reiner Finkeldey de 1997 à 2001 (aujourd'hui à l'université de Göttingen, Allemagne) et par Rolf Holderegger à partir de 2001.

Le groupe de travail OKOK « réserves génétiques » a accompagné de 1986 à 2000 les différentes phases du projet et a encadré l'équipe de spécialistes, notamment pour les aspects relevant de la pratique. Walter Linder (conservateur des forêts du Mittelland, Berne) a été président du groupe de travail de 1986 à 1998. À partir de 1999, c'est Markus Bolliger (OFEFP, Direction fédérale des forêts) qui a repris la direction du groupe.

Les projets ont été financés à ce jour par la Direction fédérale des forêts et les divisions Nature et Paysage de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP). L'Ecole polytechnique fédérale de Zurich et l'Institut fédéral de recherches WSL ont participé de manière substantielle au projet par leurs propres apports.

1 Les ressources génétiques des arbres forestiers

Patrick Bonfils

Peter Rotach

1.1 Nature et importance de la diversité génétique

La **biodiversité** est souvent décrite selon trois niveaux de l'organisation biologique: la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces et la **diversité génétique**^[2]. Cette dernière désigne la variété des caractères héréditaires d'une espèce. Les arbres forestiers d'une espèce présentent une grande variation génétique et se différencient en partie fortement par leurs caractéristiques héréditaires individuelles. Il existe ainsi des exemples étonnantes de différentes formes de croissance qui sont déterminées par des facteurs génétiques (fig. 1). La diversité génétique ne s'exprime cependant pas seulement au travers de signes visibles. La plus grande part reste cachée à nos yeux (encadré de la page 16). De nombreuses formes « cachées » de cette diversité génétique revêtent une grande importance, car elles déterminent la réaction de tout organisme envers son environnement. L'effet de ces caractéristiques héréditaires diverses s'observe aussi en forêt. Nous constatons ainsi que certains individus sont par exemple moins sensibles que d'autres à un stress environnemental, que ce soit une forte sécheresse ou une importante pollution. Des études conduites dans des conditions environnementales normées montrent que la disposition héréditaire individuelle peut être à l'origine de telles réactions divergentes^[3] (fig. 2).

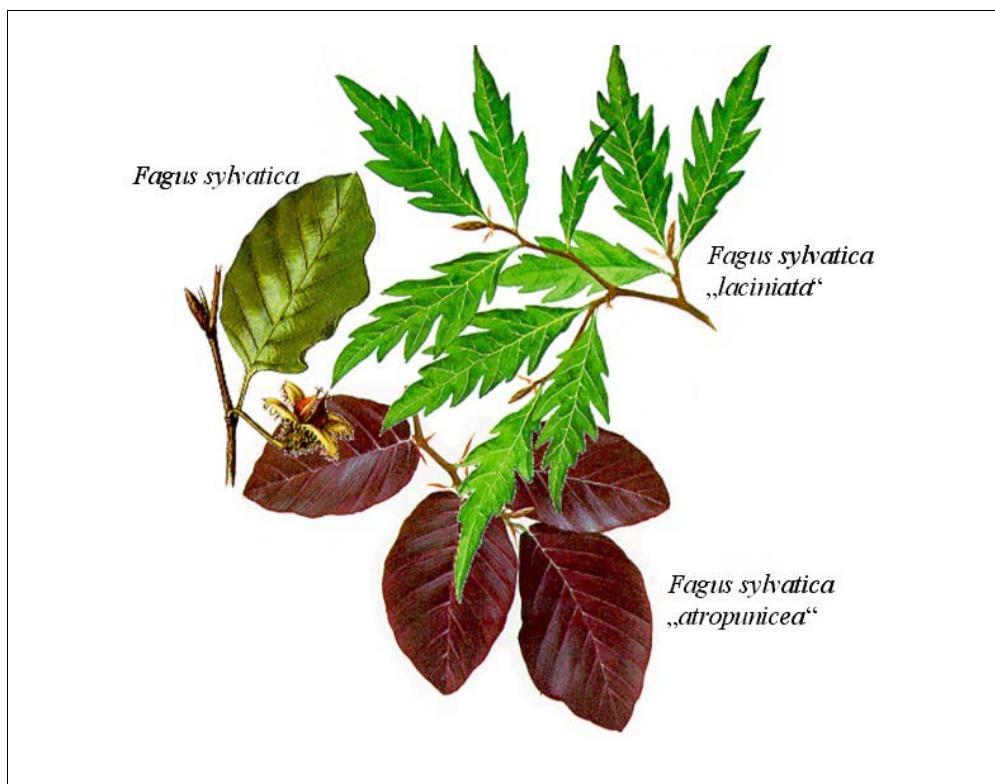


Fig. 1: **Expression visible de la diversité génétique.** La coloration rouge des feuilles du hêtre pourpre (*Fagus sylvatica* f. *atropunicea*) ou le découpage des feuilles de *Fagus sylvatica* f. *lacinata* représentent des variantes génétiques du hêtre commun et témoignent de la diversité génétique au sein d'une espèce (figures modifiées tirées de SCHAUER & CASPARI 1989^[4] et EDLIN & NIMMO 1983^[5]).

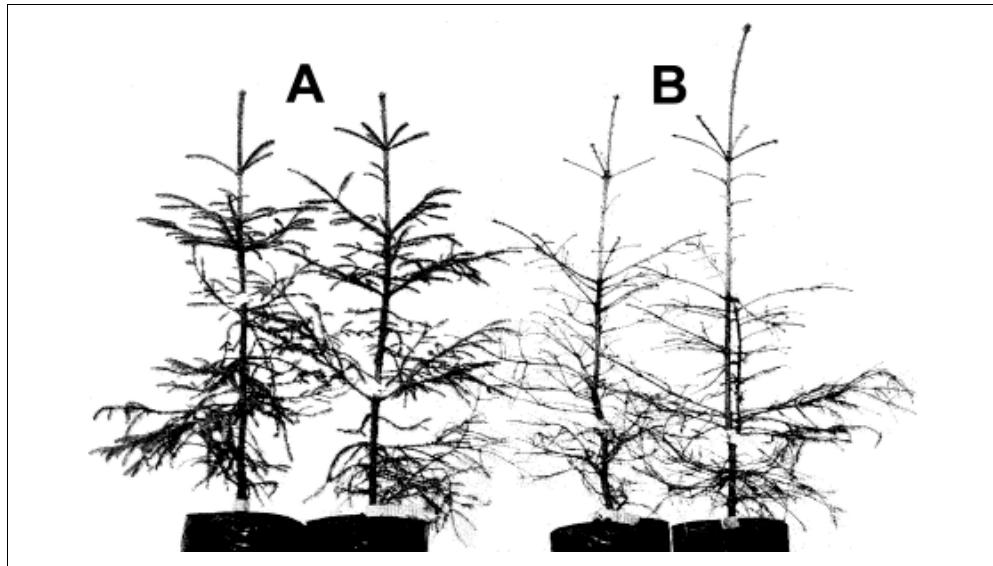


Fig. 2: **Différence de réaction entre deux clones d'épicéas à de très fortes concentrations d'ozone dans une serre.** Les deux plantes génétiquement identiques de gauche (clone A) supportent mieux l'exposition à l'ozone que les deux plantes de droite (clone B). La différence de réaction des deux clones est due à différentes dispositions héréditaires (figure modifiée tirée de SCHOLZ & VENNE 1989^[3]).

1.1.1 Adaptation aux modifications environnementales

Les individus d'une communauté de reproduction se distinguent en général, sur la base de leurs caractères héréditaires et ainsi par leur capacité à s'adapter à des modifications de l'environnement. Les individus non viables ou mal adaptés meurent ou n'auront que peu ou pas de descendance^[6]. Les individus adaptés et donc en bonne santé survivent et transmettent à leur descendance leurs caractères héréditaires. Cette **sélection** conduit des populations à s'adapter, au cours des générations, à de nouvelles conditions environnementales^[7]. Cette **adaptation par évolution** dépend de manière absolue de la variation génétique au sein des populations ou d'une espèce. Il en va autrement de l'adaptation physiologique à de nouvelles conditions environnementales. Cette dernière s'exprime souvent par des modifications morphologiques sur un individu, par exemple la formation de branches gourmandes sur un arbre en réaction à une modification des conditions de lumière. Cette forme d'adaptation ne requiert pas de variation génétique au sein d'une espèce.

Lors de modifications profondes des conditions environnementales, la survie d'une espèce dépend de sa capacité d'adaptation par évolution (encadré p. 15). Pour les arbres, comme pour tous les organismes, les constats suivants s'appliquent:

1. Pour qu'une espèce survive, il est indispensable qu'elle s'adapte à des modifications des conditions environnementales.
2. L'adaptation par évolution requiert une grande variation génétique au sein des populations^[8].

Adaptation par évolution

L'état sanitaire des forêts a incité des chercheurs allemands à examiner les bases génétiques de la tolérance d'une essence forestière à l'égard d'un stress environnemental complexe. Dans divers peuplements de hêtres, des couples d'arbres voisins, composés d'un individu tolérant et d'un autre sensible, ont été analysés^[9]. Les structures génétiques du collectif de tous les arbres tolérants furent comparées à celles des arbres sensibles. Le résultat: il existe sur plusieurs loci des différences significatives dans la fréquence de variantes génétiques (allèles) entre les arbres tolérants et les sensibles. En outre, les arbres présentant deux allèles différents sur un même locus (hétérozygotes) sont en moyenne moins sensibles au stress que les arbres ne présentant qu'une seule variante (homozygotes). Ces recherches montrent que les structures génétiques des populations de hêtres étudiées se modifieront au cours de la prochaine génération. Cela permet de conclure que nous assistons à une adaptation par évolution aux modifications des conditions environnementales.

1.2 Les populations d'arbres forestiers

La communauté de reproduction d'individus d'une même espèce forme ce qu'on appelle une **population**. Lorsque l'on décrit la variation génétique de populations d'arbres forestiers, on distingue souvent la variation génétique « à l'intérieur » des populations de celle « entre » les populations.

1.2.1 La variation génétique à l'intérieur des populations

La variation génétique à l'intérieur des populations décrit les différences génétiques entre les individus d'une population. Le **taux d'hétérozygotie** est une mesure courante utilisée pour quantifier la variation génétique. Cette valeur semble particulièrement appropriée pour évaluer la capacité de survie des populations. Suite à de nombreuses études génétiques, on sait en effet qu'il existe un lien au moins indirect entre le taux d'hétérozygotie et la durée de vie des plantes. Ainsi les arbres, avec leur grande longévité, se distinguent nettement des herbes à la vie très brève par leurs valeurs d'hétérozygotie nettement plus élevées (d'un rapport de 1,67 à 1)^[10]. La réaction au stress environnemental semble aussi être influencée par le taux d'hétérozygotie. Des recherches effectuées dans des peuplements de hêtres fortement affaiblis démontrent que les arbres endommagés possèdent un taux d'hétérozygotie plus faible que les arbres en bonne santé^[11].

La comparaison entre diverses espèces, populations ou groupes de populations d'une espèce permet de déceler des valeurs d'hétérozygotie qui s'écartent de la « norme ». Les recherches effectuées sur des populations suisses de chênes ont fourni des résultats du même ordre de grandeur que les études réalisées à l'étranger (Tableau 1). La comparaison entre les provenances indigènes de chênes pédonculés et rouvres avec celles de chênes pubescents et chevelus a donné pour résultat une variation légèrement plus faible pour ces deux dernières espèces. Une étude sur

l’alisier terminal a également fourni des valeurs élevées, constat étonnant auquel on ne s’attendait pas forcément, vu la répartition disséminée de cette espèce. Toutes les espèces d’arbres étudiées en Suisse à ce jour présentent des valeurs d’hétérozygotie élevées, en comparaison avec la moyenne d’autres ligneux. De manière générale, on n’a donc pas constaté de valeurs singulièrement basses jusqu’à ce jour.

Tableau 1: Variation génétique de quelques espèces d’arbres exprimée en termes d’hétérozygotie (H_e): chêne pédonculé (*Quercus robur*), chêne rouvre (*Quercus petraea*), chêne pubescent (*Quercus pubescens*) chêne chevelu (*Quercus cerris*), alisier terminal (*Sorbus torminalis*).

Espèces	Région	H_e	Source
Plantes ligneuses	monde	0.148	HAMRICK ET AL. ^[10]
<i>Quercus robur</i>	Suisse	0.241	FINKELEDEY R., BONFILS P. ^[12]
<i>Quercus petraea</i>	Suisse	0.249	FINKELEDEY R., BONFILS P. ^[12]
<i>Quercus pubescens</i>	Suisse	0.215	FINKELEDEY R., BONFILS P. ^[12]
<i>Quercus cerris</i>	Suisse	0.221	FINKELEDEY R., BONFILS P. ^[12]
<i>Quercus robur</i>	Europe	0.252	ZANETTO A. ET AL. ^[13]
<i>Quercus petraea</i>	Europe	0.245	ZANETTO A. ET AL. ^[13]
<i>Quercus robur</i>	Allemagne principalement	0.252	HERZOG S. ^[14]
<i>Quercus petraea</i>	Allemagne principalement	0.253	HERZOG S. ^[14]
<i>Sorbus torminalis</i>	nord-est de la Suisse	0.225	MENN C. ^[15]

L’analyse des isoenzymes: un outil pour mesurer la variation génétique

La plupart des réactions du métabolisme d’un organisme sont guidées par des **enzymes**. Le plan de construction de ces enzymes est fourni par les gènes correspondants sur l’**ADN**. Les variantes d’un gène (les **allèles**) conduisent à ce que des enzymes dotées de la même fonctionnalité se distinguent par leur structure moléculaire et leur charge électrique. De telles isoenzymes permettent d’identifier une variation génétique et se prêtent donc particulièrement bien à la recherche génétique.

Des tissus frais tirés de feuilles ou de bourgeons servent de matériel de base pour l’analyse des isoenzymes. Les cellules de ces tissus sont détruites mécaniquement afin d’en libérer les enzymes. Ensuite les isoenzymes sont séparées et identifiées à l’aide d’une **électrophorèse**. Le matériel d’analyse est déposé sur un support conducteur (p. ex. un gel d’amidon) et soumis à une tension électrique. Vu la différence de structure et de charge, les isoenzymes vont migrer à une vitesse spécifique à travers ce milieu et se retrouvent après quelques heures à des positions différentes sur le gel. L’addition de certains agents chimiques permet de les rendre visibles sous forme d’un diagramme de bandes caractéristiques (fig. 3). Si deux arbres possèdent les mêmes isoenzymes, le diagramme sera identique. Des diagrammes divergents amèneront à conclure à des isoenzymes différentes. Grâce à des analyses d’hérédité, les gènes et les allèles qui sont à la base du diagramme observé peuvent être déterminés. On peut donc à partir d’un diagramme tirer des conclusions sur le génotype des individus analysés.

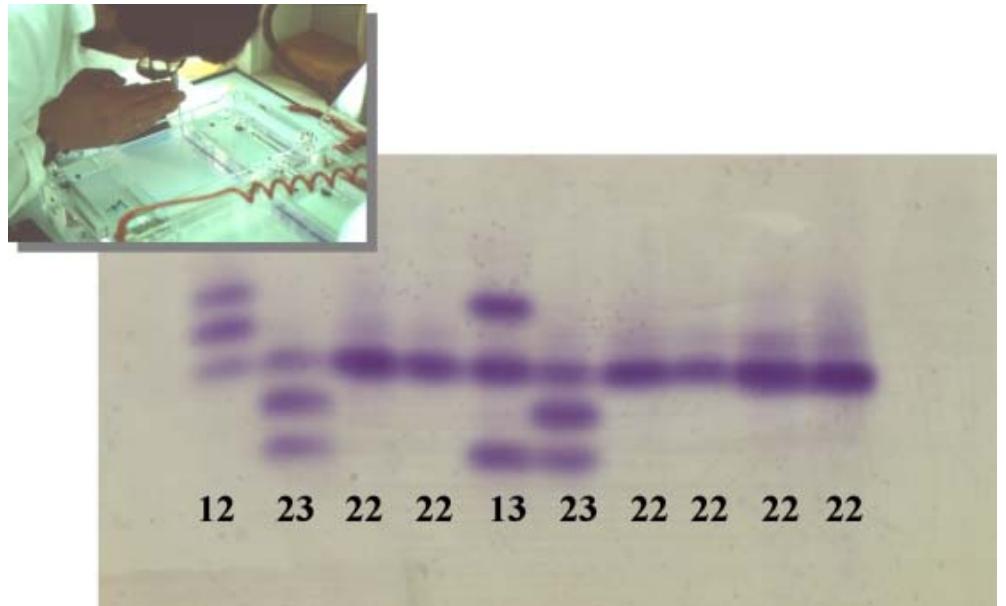


Fig. 3: **Analyse isoenzymatique sur le système PGI (phosphoglucose-isomérase) de dix chênes différents.** Le diagramme de bandes permet d'identifier quatre génotypes différents: 12 / 13 / 22 / 23.

1.2.2 La variation génétique entre populations

Depuis longtemps les forestiers observent de grandes différences entre les provenances d'une même espèce par rapport à leur écologie, leur croissance, la qualité de leur bois, etc. LEIBUNDGUT^[16], grand connaisseur des forêts suisses, a signalé que les différences écologiques étaient souvent plus importantes entre les **races locales** qu'entre les espèces. Une observation qui indique clairement l'existence de variation génétique entre les populations d'une même espèce.

De nombreux **essais de provenance**, ont été mis en place dans le monde entier pour étudier la faculté d'adaptation, la croissance et la fiabilité du matériel de reproduction forestier. Divers paramètres, allant de la croissance en hauteur et en diamètre jusqu'à la résistance aux agents pathogènes ont été étudiés. La recherche en matière de provenance a montré que le facteur génétique explique une part importante de la variation dans le comportement écologique des différentes provenances (fig. 4). Elle a ainsi également démontré le formidable potentiel d'utilisation qui peut se cacher dans les différentes provenances d'une seule et même espèce.

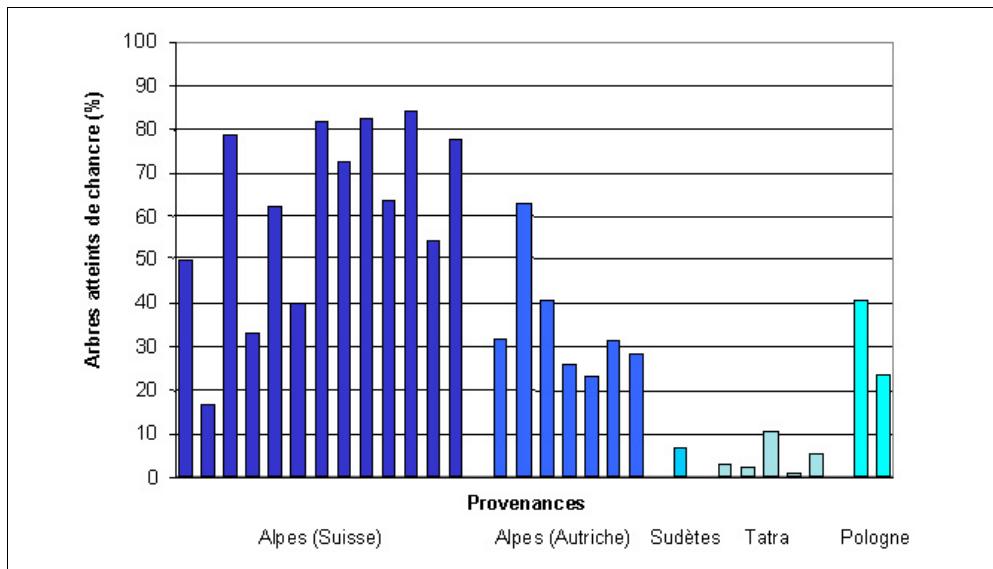


Fig. 4: La variation génétique entre populations. Un grand nombre de provenances du mélèze (*Larix decidua* Miller) issues de toute l'aire de répartition ont été plantées en 1947 sur le Hönggerberg (ZH). Cet **essai de provenance** avait entre autres pour but de tester la sensibilité au chancre du mélèze (*Lachnellula willkommii* (Hartig) Dennis). Après plus de quarante années d'observation, on constate de grandes différences de sensibilité, aussi bien entre les différentes régions de croissance qu'à l'intérieur de celles-ci. Ces résultats peuvent être interprétés comme une réaction génétiquement conditionnée à l'agent pathogène. De manière indirecte, les différences génétiques existant entre les provenances sont ainsi documentées (données chiffrées tirées de BÜRGI^[17]).

1.3 Les influences sur la génétique des arbres forestiers

Lors de l'évaluation des principaux facteurs qui influencent la variation génétique des populations d'arbres forestiers, il faut non seulement étudier les aspects biologiques de la reproduction, mais aussi prêter une attention particulière aux aspects suivants:

1. L'histoire forestière (1.3.1)
2. La sylviculture (1.3.2)
3. Les substances polluantes (1.3.3)
4. La modification du climat (1.3.4)

1.3.1 L'histoire forestière

De nombreuses questions relatives à l'état général et à la structure de nos forêts obtiennent une réponse lorsque l'on se penche sur le passé. L'évaluation génétique de nos essences forestières ne peut pas non plus renoncer aux enseignements de l'histoire.

L'histoire des forêts. Au cours du pléistocène (de 1,5 million d'années à 10 000 ans avant notre ère), diverses **glaciations** ont recouvert temporairement de vastes parties de l'Europe centrale; la végétation arborée s'est trouvée repoussée dans diverses **zones de refuge** en partie très éloignées les unes des autres. De fortes raisons portent à croire que ces populations, à cause de leur situation d'isolement, ont passé par une évolution propre qui a favorisé la formation de caractéristiques spécifiques^[18,19]. En outre des populations relicttes ont parfois subi des pertes génétiques. Certaines valeurs d'hétérozygotie très faibles que l'on observe dans les populations d'épicéas d'Europe centrale sont attribuées aux très petites populations réfugiées dans les Carpates et les Alpes dinariques^[20]. Les populations d'arbres n'ont pas seulement été marquées par le retrait et la survie dans les zones de refuge, mais aussi par **l'histoire de la recolonisation postglaciaire**. Il semble par exemple que pour le sapin blanc, la compétition avec la végétation concurrentielle sur les chemins de migration ait conduit à la formation de différents écotypes^[21,22].

Nos populations d'arbres proviennent de divers refuges^[23] et ont suivi des routes de migration différentes pour se retrouver dans notre territoire actuel. Les effets de cette migration sont aujourd'hui encore visibles dans la génétique de nos essences forestières (encadré p. 19).

La recolonisation postglaciaire

Les méthodes modernes de la génétique moléculaire permettent d'obtenir de précieuses informations relatives à l'histoire postglaciaire de la flore. Entre 1996 et 1999, l'Institut fédéral de recherches WSL a réalisé une étude de la recolonisation postglaciaire du chêne^[24].

Du matériel de recherche provenant de 148 peuplements de chênes de Suisse et des régions limitrophes d'Italie a été analysé. On a extrait l'ADN des chloroplastes prélevés dans des feuilles. Cet organite cellulaire est particulièrement intéressant car, pour le chêne, son génome n'est transmis que par la mère. Les caractères génétiques particuliers pour un certain arbre-mère sont ainsi transmis à tous ses descendants et restent intacts durant de nombreuses générations. Une fois l'identification d'une « mère originelle » réalisée, ce phénomène permet de reconstruire les voies de recolonisation postglaciaire des chênes (fig. 5).

L'ADN des chloroplastes analysés a pu être attribué pour la plus grande partie à deux zones de refuge glaciaire. La comparaison avec des études européennes a montré que les chênes suisses ont dû venir originellement d'Italie et des Balkans^[25]. La répartition géographique des variantes d'ADN chloroplastiques fournit en outre des indications relatives aux voies de recolonisation du chêne. On a pu démontrer pour la première fois que les chênes d'origine italienne ont dû traverser les Alpes lors de leur migration vers le nord. Le col du Simplon a servi de principal point de passage. Le type de chêne provenant des Balkans au contraire a recolonisé le Nord des Alpes de la Suisse.

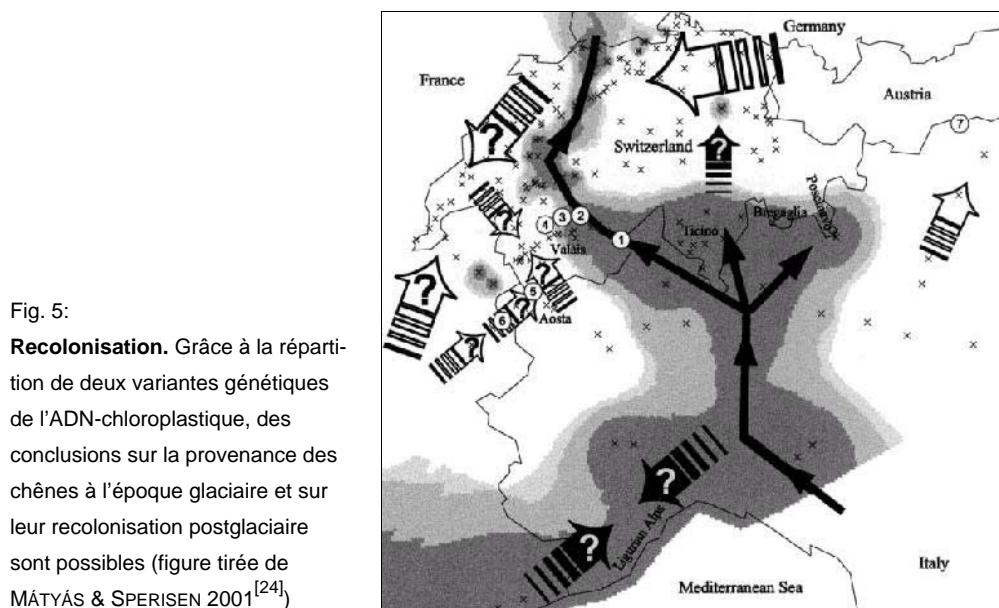


Fig. 5:

Recolonisation. Grâce à la répartition de deux variantes génétiques de l'ADN-chloroplastique, des conclusions sur la provenance des chênes à l'époque glaciaire et sur leur recolonisation postglaciaire sont possibles (figure tirée de MÁTYÁS & SPERISEN 2001^[24])

La surexploitation par l'homme

La forêt suisse a été fortement surexploitée à partir des temps modernes et plus particulièrement aux 18^e et 19^e siècles^[26]. Une population en perpétuelle croissance exigeait toujours plus d'espaces d'habitations et de surfaces agricoles. En plus des défrichements de grandes surfaces forestières, le reste de la forêt a été fortement modifié et exploité (pâturage en forêt, récolte de la litière, pânage, etc.). La demande en bois, que ce soit pour la construction ou la fourniture d'énergie, dépassait largement l'accroissement naturel des forêts encore existantes^[27]. Aujourd'hui très peu de personnes sont conscientes de l'ampleur de la **destruction** qu'ont alors subie **les forêts**. Les photos prises au tournant du 19^e au 20^e siècle viennent pourtant l'attester (fig. 6).

D'un point de vue génétique, il s'agit de savoir si la destruction de vastes surfaces forestières n'a pas durablement restreint voire irrémédiablement détruit des ressources génétiques. L'occupation humaine de l'espace alpin par exemple a fait descendre la limite supérieure naturelle de la forêt en moyenne de 300 m^[30,31]. Les épicéas des hautes altitudes, mais aussi l'arolle^[32], ont ainsi totalement disparu par endroits. Étant donné la différenciation génétique liée à l'altitude, qui a été confirmée pour l'épicéa dans des études génétiques^[28,29], une perte de diversité génétique semble tout à fait plausible. Il reste cependant presque impossible d'en chiffrer l'ampleur et la signification. En outre, la forte dispersion, respectivement le **morcellement**, des forêts peut aussi avoir eu des conséquences. Une diversité génétique amoindrie, des modifications de la structure génétique et une augmentation de la consanguinité en sont les effets possibles^[33]. On ne sait toujours pas pour l'instant dans quelle mesure de tels phénomènes ont réellement abouti à une perte de diversité génétique et par conséquent à un amoindrissement de l'adaptabilité des populations forestières.



Fig. 6: **Surexploitation.** L'extension constante des surfaces agricoles et d'alpages ainsi que la surexploitation des forêts restantes ont conduit à d'importantes destructions de forêts au 19e siècle. En conséquence, les structures génétiques des populations d'arbres forestiers ont probablement été modifiées et certaines ressources génétiques ont même peut-être complètement disparu (Photo: Service forestier du canton d'Uri).

Recolonisation par la forêt Les conséquences de la surexploitation des forêts pratiquée des siècles durant devinrent toujours plus perceptibles à la fin du 19^e siècle. À la suite de gigantesques dégâts causés par des inondations, une nouvelle politique forestière, axée sur la conservation de la forêt, fut adoptée. L'entrée en vigueur de la première **loi forestière** fédérale en 1876 permit de réduire la pression exercée sur la forêt^[35]. De nombreuses coupes rases du 19^e siècle furent reboisées par plantations ou semis. Ainsi des millions de plantes^[36] et des quintaux de graines furent utilisés. Les versants instables, les zones d'avalanches et surtout les bassins versants des torrents furent reboisés en priorité; de nombreux projets de **reboisement** furent réalisés. De grandes surfaces furent aussi recolonisées naturellement par la forêt: partant de populations relictes, réparties en mosaïque, la forêt put regagner des espaces^[37].

Aujourd’hui notre intérêt porte sur les **provenances** utilisées alors pour les **plantations** et les **semis**. A-t-on utilisé du matériel de reproduction local ou étranger ? Comment a-t-on procédé à la récolte des semences (nombre d’arbres semenciers, mélange de semences de diverses provenances, etc.) ? On ne dispose malheureusement pratiquement plus d’informations fiables sur ce point et la mise en valeur des sources encore existantes nécessite souvent des recherches très coûteuses^[38]. Quoi qu’il en soit, il semble qu’à cette époque déjà certains forestiers auraient remarqué le peu d’attention que l’on prêtait à l’utilisation de matériel génétique adapté. Une faible croissance et des arbres chétifs ont confirmé cette lacune^[39,40]. Des études dans le Harz en Allemagne confirment ce phénomène et constatent pour l’épicéa une adaptation à la station amoindrie à la suite de l’introduction de provenances inadaptées^[41]. Il est très difficile de déterminer, sans recherches conséquentes, dans quelle mesure les plantations, notamment celles réalisées avec des provenances étrangères, ont réellement influencé la structure génétique et la diversité des populations d’arbres forestiers en Suisse. L’unique certitude se rapporte au fait qu’à la fin du 19^e et au début du 20^e siècle, la Suisse a importé de l’étranger d’énormes quantités de semences^[42]. L’avènement du chemin de fer^[43] a permis notamment aux grandes maisons de commerce allemandes de répandre sur le marché international des semences provenant de toute l’Europe.



Fig. 7: **Reboisements.** Suite aux dégâts dévastateurs causés par les intempéries, de grandes surfaces furent reboisées au début du 20^e siècle. Les données relatives à la provenance et à la qualité du matériel génétique alors employé sont hélas difficilement accessibles, voire inexistantes (photo tirée de Fischer^[44]).

1.3.2 Sylviculture

L'homme organise et modèle les forêts avec l'objectif d'en exploiter les diverses prestations. De telles activités sylvicoles peuvent modifier les structures génétiques des populations d'arbres, comme l'ont montré certaines études.

Régénération du peuplement. Pour la génétique, la régénération est sans conteste la phase la plus importante du développement d'un peuplement. La manière dont sont transmises les informations génétiques d'une génération d'arbres à l'autre détermine dans une large mesure la variation génétique et le potentiel d'adaptation des générations suivantes^[45].

La **régénération naturelle** garantit au mieux en général la transmission aussi complète que possible des informations génétiques d'une génération à l'autre. Les longues périodes de régénération sont avantageuses, car elles permettent d'égaliser les conditions de reproduction qui se modifient d'année en année. La régénération naturelle se caractérise par un grand nombre d'individus notamment pour les essences formant des peuplements. Ce nombre va fortement diminuer au cours du développement du peuplement. Pour le hêtre par exemple, le nombre d'individus dans le recrû qui peut atteindre un demi-million et plus par hectare^[46] va diminuer au moins d'un facteur cent jusqu'au perchis. Cette diminution importante du nombre de tiges est en partie accompagnée d'une sélection naturelle^[45] et entraîne l'élimination d'individus mal adaptés à la station ou entachés de consanguinité^[47]. Ce processus d'évolution conduit la population à s'adapter à la station au cours des générations.

La **régénération artificielle** d'un peuplement avec des provenances étrangères anéantit le processus d'adaptation de la population originelle^[45]. C'est surtout lors de l'utilisation de matériel de reproduction mal adapté à la station que la pression de sélection risque d'augmenter fortement. En outre, le nombre réduit de plants utilisés actuellement en plantation (de 1000 à 8000 plants par ha selon le procédé), amoindrit l'adaptabilité de telles populations artificielles. À court terme, on enregistrera des pertes nécessitant des plantations complémentaires. À moyen et long termes, une croissance insatisfaisante ne peut pas être exclue. Ces risques seront par contre réduits au minimum en portant une attention particulière à la production du matériel de reproduction, en plus du choix de la provenance. La recherche génétique a identifié les éventuels problèmes liés à la régénération artificielle^[48], à savoir la récolte sur peu d'arbres semenciers, la prise en compte d'une seule année de récolte^[49], les conditions de sélection particulières dans la pépinière^[50,51] (par exemple faible hétérogénéité environnementale, traitement mécanique et chimique des plantes) et le faible nombre de plants^[52].



Fig. 8: **La régénération naturelle.** Pour les essences formant des peuplements comme le hêtre, la régénération naturelle constitue la meilleure garantie d'une transmission aussi complète que possible des informations génétiques d'une génération à l'autre (photo: T. Starcevic, EUFORGEN picture collection.)

Selon les données de l'Inventaire forestier national (IFN2), environ 80% des peuplements forestiers sont aujourd'hui rajeunis naturellement en Suisse^[53]. La proportion de **régénération artificielle** a constamment diminué depuis 1965. En 1999, on a planté dans la forêt suisse 2,5 millions de plants, ce qui correspond à 10% du nombre utilisé 35 ans auparavant^[54]. Cette tendance à la **régénération naturelle** offre, notamment pour des essences formant des peuplements, des conditions favorables à une conservation des ressources génétiques. Pour des populations fortement morcelées ou des présences résiduelles d'essences avec une répartition disséminée, la régénération naturelle risque cependant de ne pas être possible par manque de fructification ou d'être peu judicieuse en raison d'une éventuelle consanguinité. Pour les essences rares en particulier, dont la régénération naturelle est difficile voire impossible, il n'existe aujourd'hui qu'une offre très restreinte en matériel de reproduction de provenance locale. Le danger consiste alors à recourir à du matériel de provenance inconnue, qui s'achète à bon compte et en quantité suffisante sur le marché international des plantes.

Soins au peuplement

Les mesures sylvicoles visent, dès le stade du recrû, à augmenter la stabilité du peuplement et à favoriser les individus sains et bien formés, qui correspondent aux objectifs sylvicoles. Elles poursuivent donc l'objectif d'obtenir un peuplement de haute qualité au sens large du terme.

Les mesures sylvicoles sont souvent liées à une sélection phénotypique (sélection négative, respectivement positive). Il se pose donc la question de savoir si les structures génétiques des populations d'arbres s'en trouvent influencées. Un certain nombre de recherches génétiques ont permis de constater que des pertes de diversité génétique ne peuvent pas être exclues lors des interventions d'entretien^[55,56,57]. D'autres études par contre ne constatent pas d'influences^[58] ou indiquent même que la sélection effectuée par les forestiers augmente le **taux d'hétérozygotie** moyen d'une population par rapport à celui de peuplements non traités^[59,60]. Ce fait est expliqué par la promotion d'individus sains et vigoureux, qui résulte habituellement de l'éclaircie par le haut. Ceci semble tout à fait plausible, puisqu'une corrélation entre la force de croissance et le taux d'hétérozygotie des arbres a pu être prouvée à de nombreuses reprises déjà^[61,60].

Sur la base des études mentionnées, les soins aux peuplements pratiqués habituellement en Suisse ne semblent avoir qu'une faible influence sur les structures génétiques des populations d'arbres, en comparaison avec les processus de régénération. L'augmentation de la proportion d'individus hétérozygotes peut même être évaluée comme positive^[62].

1.3.3 Substances polluantes

La production annuelle de substances polluantes en Suisse se mesure en milliers de tonnes^[63]. Ces dépôts viennent charger les écosystèmes et provoquent un stress environnemental qui peut, dans certaines conditions, influencer les structures génétiques des populations d'arbres forestiers. Ce fait a pu être démontré lors de recherches concernant l'épicéa, le sapin, le hêtre et le pin^[6]. Les modifications des structures génétiques en réaction à des charges de substances polluantes ont été constatées aussi bien dans les vieux peuplements que dans les régénérations naturelles^[3]. Les recherches dans les peuplements endommagés de hêtres ont fourni des résultats particulièrement intéressants. Des arbres ne présentant pas de symptômes de maladies se différenciaient nettement, dans leur génoype, de leurs voisins fortement atteints. Dans de nombreux cas, les hêtres qui supportaient mieux le **stress environnemental** présentaient une **hétérozygotie** particulièrement élevée^[11]. Ce résultat nous montre que la diversité génétique peut effectivement augmenter les chances de survie dans des situations environnementales complexes. Certains scientifiques mettent par conséquent en relation les **dégâts aux forêts** observés depuis le début des années 80 avec un potentiel d'adaptation insuffisant des populations d'arbres forestiers^[6,64,65].

1.3.4 Modification du climat

Les climatologues prévoient une augmentation globale de la température moyenne de 1,4° à 5,8° Celsius au cours des 100 prochaines années^[66]. Même si les prévisions exactes sont difficiles, il faut compter au plan régional avec non seulement des modifications de température, mais aussi des modifications du régime des précipitations. En outre, il faut s'attendre à une accumulation d'évènements climatiques extrêmes. Une modification aussi radicale du climat influencerait assurément les relations diverses de la flore et de la faune avec leur environnement. Les rapports concurrentiels entre les communautés végétales s'en trouveraient modifiés, de même que les relations entre les parasites et leurs hôtes. Des insectes, des champignons, des virus inoffensifs à ce jour pourraient subitement se révéler sérieusement nuisibles. Les populations d'arbres ne seraient pas non plus épargnées par de tels développements et seraient confrontées à de sérieux problèmes d'adaptation. La diversité génétique est aujourd'hui particulièrement importante, au moment où il faut compter avec des modifications rapides, complexes et inattendues de l'environnement. Plus la base génotypique est grande, plus les risques pour les populations d'arbres forestiers sont faibles.

2 La stratégie de la Confédération en matière de conservation et d'utilisation durable des ressources

M. Bolliger

P. Bonfils

Les modifications environnementales ne se limitent pas à une composante écologique; elles concernent aussi des aspects économiques et sociaux. Cette remarque est tout particulièrement valable pour les nombreuses vallées de montagne de Suisse, dans lesquelles la forêt doit fournir une protection efficace contre les dangers naturels que constituent les avalanches, les chutes de pierres et les inondations. Notre société dépend donc fortement des prestations de la forêt. La conservation de la diversité génétique des arbres forestiers est une contribution à la conservation des fonctions de la forêt; elle constitue ainsi une composante essentielle d'une politique durable de conservation des forêts. La Suisse a confirmé sa volonté d'assumer cette responsabilité en signant diverses conventions et résolutions internationales.

2.1 Conventions et résolutions internationales

Lors des conférences internationales de **Strasbourg** en 1990, **Helsinki** en 1993 et **Lisbonne** en 1998, les ministres européens des forêts ont décidé de prendre des mesures en faveur de la conservation des forêts en Europe. Les pays participants, dont la Suisse, se sont engagés entre autres à mener une politique de conservation des ressources génétiques en forêt^[67] et à l'inclure comme élément essentiel dans le concept d'exploitation durable des forêts^[68]. La Convention sur la diversité biologique (Convention on Biological Diversity), présentée à **Rio de Janeiro** en 1992 étend à toute la Terre l'exigence de la conservation, de l'exploitation durable et de l'usage adapté de la biodiversité. Jusqu'en 2002, 136 Etats dont la Suisse ont ratifié la Convention de Rio^[70].

Le programme européen **EUFORGEN** (European Forest Genetic Resources Programme) a été élaboré en 1994 pour mettre en oeuvre les décisions de la conférence des ministres des forêts de Strasbourg. Le soutien d'EUFORGEN à la mise en application de programmes nationaux de conservation génétique consiste à favoriser les échanges d'expériences internationaux, définir des stratégies communes de conservation, développer des directives techniques et lancer des projets de recherche. La Suisse est représentée dans différents groupes de travail EUFORGEN.

2.2 Stratégie nationale

L'OFEFP a développé, en collaboration avec les services forestiers cantonaux, une stratégie nationale pour la promotion de la biodiversité en forêt^[71]. Un des éléments essentiel de cette stratégie est la conservation et l'utilisation durable des ressources génétiques des espèces d'arbres et d'arbustes. Il est prévu d'atteindre les objectifs mentionnés ci-dessus à l'aide de trois mesures:

1. L'utilisation de **matériel forestier de reproduction** adapté à la station pour la création artificielle de peuplements. Les principaux instruments d'application sont le cadastre national des peuplements semenciers (CNPS) et le respect des normes de l'OCDE relatives au commerce du matériel forestier de reproduction.
2. La promotion ciblée des **essences rares** dans des régions spécifiquement désignées (secteurs d'intervention).
3. La conservation de populations d'arbres localement adaptées et de leur potentiel d'adaptation dans des **forêts d'un intérêt génétique particulier** (forêts IGP).

3 Les forêts d'un intérêt génétique particulier (forêts IGP)

Patrick Bonfils
Markus Bolliger
Reiner Finkeldey
Ernst Fürst
Beat Müller
Peter Rotach
Anton Stauffer
Marcus Ulber

Au milieu des années 80, en plein débat sur le dépérissement des forêts, les instances d'alors, l'Office fédéral des forêts (OFF), l'Institut fédéral de recherches forestières (IFRF, devenu WSL), et l'EPF Zurich (chaire de sylviculture), accompagnées de praticiens forestiers décidèrent d'étudier des mesures de conservation des ressources génétiques en forêt. Ces efforts répondaient aux inquiétudes que l'on avait pour le patrimoine génétique des arbres forestiers, en raison de l'augmentation des dégâts en forêt. Un groupe de travail des présidents de la Conférence des inspecteurs cantonaux (OKOK) reçut le mandat d'élaborer un concept de conservation. Le « Concept suisse pour la conservation du patrimoine génétique de nos essences par la création de réserves génétiques », élaboré avec le soutien déterminant de la chaire de sylviculture de l'EPF Zurich, fut présenté en 1987 et approuvé par la Conférence des inspecteurs forestiers cantonaux (CIC)^[1].

Les conditions générales autour de ce concept ont évolué depuis 1987. De nouveaux instruments de planification, les plans directeurs forestiers ou plans d'aménagement régionaux ont vu le jour. La politique des réserves forestières s'est orientée vers de nouvelles priorités, les exigences envers un concept de conservation génétique se sont élargies pour inclure les essences rares. Finalement l'opinion a prévalu que le devoir de conservation des ressources génétiques ne se limitait pas aux périodes de crise, comme celle du dépérissement des forêts, mais constituait une tâche permanente.

L'OFEFP a tenu compte de cette évolution; elle poursuit aujourd'hui une stratégie globale de la biodiversité en forêt, qui comprend aussi la conservation et l'utilisation durable des ressources génétiques. Les forêts d'un intérêt génétique particulier (forêts IGP) qui servent à la protection locale des populations d'arbres reprennent la fonction assumée jusque là par les réserves génétiques. Le concept des réserves génétiques en vigueur jusqu'à maintenant est donc remplacé par les principes relatifs aux objectifs et à l'aménagement des forêts IGP présentés dans cette publication.

3.1 Définition et objectifs

Les forêts d'un intérêt génétique particulier (forêts IGP) désignent des zones dans lesquelles on attribue une importance particulière à la conservation et à l'utilisation durable des ressources génétiques de populations d'arbres et d'arbustes forestiers d'une ou de plusieurs espèces (espèces cibles).

Les populations locales d'arbres et d'arbustes forestiers seront conservées dans leur milieu de croissance (*in situ*). L'objectif est de conserver les caractéristiques génétiques particulières des populations locales et de maintenir et favoriser leur capacité d'adaptation par évolution (adaptabilité) pour les générations futures. Il est possible de délimiter des forêts IGP aussi bien pour les espèces d'arbres et d'arbustes qui forment des peuplements que pour celles qui sont disséminées, rares ou menacées de disparition.

Les forêts IGP constituent un instrument essentiel de **gestion des ressources génétiques** en forêt. Des mesures spécifiques de conservation et d'utilisation durable ne sont possibles que si la qualité particulière du matériel génétique est reconnue. La **déclaration** des ressources génétiques en forêt IGP revêt ainsi une importance particulière.

3.2 Exploitation

Il est possible d'exploiter normalement une forêt IGP, selon les principes de la **sylviculture proche de la nature**^[72]. Néanmoins il importe de respecter les obligations suivantes qui sont aussi reprises dans la déclaration de principe IGP (chap. 3.3); ce sont des obligations particulières que les diverses parties s'engagent à remplir lors de la délimitation d'une forêt IGP (propriétaires de forêt, service cantonal des forêts et Direction fédérale des forêts).

Dans le cadre de l'exploitation normale d'une forêt IGP, le propriétaire forestier s'engage à garantir la régénération régulière de l'espèce cible et à conserver voire augmenter la surface qu'elle occupe dans la forêt IGP (1)¹. La conservation de la diversité génétique est inséparable de la **conservation des espèces**. Il existe donc un intérêt marqué, dans une forêt IGP, à conserver la proportion originelle (qui existait lors de l'aménagement de la forêt IGP) d'une ou des espèces cibles voire même d'étendre leur présence (promotion).

Lors de la régénération ou de la création de nouveaux peuplements de l'espèce cible, seule la provenance locale est à utiliser dans l'ensemble de la forêt IGP (2). On exclut ainsi l'introduction de matériel génétique étranger et donc le mélange avec la provenance locale. Les caractéristiques qui distinguent les populations locales (**races locales**) restent conservées.

Il faut rajeunir l'espèce cible si possible naturellement; en cas de régénération artificielle, on n'utilisera que du matériel de reproduction qui satisfait aux exigences particulières imposées dans les forêts IGP (3) (cf. aussi chap. 3.2.3). Pour des essences en peuplements, il faut en principe préférer la régénération naturelle, qui est souvent abondante, en raison du grand nombre d'arbres parents concernés. Pour les essences rares, menacées ou disséminées, il peut s'avérer judicieux au contraire, dans certaines circonstances, de rajeunir avec du matériel de reproduction adapté. On arrive de cette manière à éviter des phénomènes de consanguinité ou de pertes aléatoires de gènes (**dérive génétique**)^[62]. Il faut cependant s'assurer que le matériel de reproduction provient de la forêt IGP elle-même et que les prescriptions relatives à la récolte des semences et à la production des plants sont respectées (chap. 3.2.3).

Lorsqu'il n'est pas possible de respecter les obligations de la déclaration de principe IGP dans le cadre de l'exploitation normale, il faut envisager des **mesures particulières de conservation génétique** (chap. 3.4.2).

¹ Les parties du texte en jaune correspondent aux obligations contenues dans la déclaration de principe IGP. Le numéro entre parenthèses renvoie au paragraphe correspondant de la déclaration.

3.2.1 Régénération naturelle

Lorsque cela est possible et judicieux, la régénération naturelle est préférable aux plantations. Toutes les mesures qui visent à favoriser la régénération naturelle sont à encourager. Outre la régulation des conditions de lumière, de chaleur et des précipitations par une **conduite des coupes**^[73] ciblée, il convient d'envisager, dans des conditions très défavorables (forte présence herbacée, dépôt d'humus brut), de passer par un **travail du sol** afin d'améliorer le lit de germination^[74]. Une forte proportion de bois en décomposition produit des effets positifs sur le rajeunissement spécialement en montagne^[75].

Les deux points suivants sont essentiels si l'on veut assurer une transmission aussi complète que possible des informations génétiques issues des arbres parents à leur descendance.

Nombre d'arbres parents	La probabilité d'une transmission complète de l'information génétique à la génération suivante augmente avec le nombre d'arbres participant au processus de régénération. Lors d'éventuelles coupes de régénération, le prélèvement de vieux arbres se limitera au nombre vraiment nécessaire pour assurer la réussite de la régénération.
Périodes de régénération et conduite des coupes	L'ampleur de la fructification d'un peuplement varie d'une année à l'autre, de même que les conditions de pollinisation des arbres parents. Lors de recherches sur les semences, il a été démontré que les structures génétiques des diverses années de récolte pouvaient présenter des différences considérables au niveau de la composition génétique ^[76] . Il est donc conseillé, en plus de la prise en compte des années de pleine fructification , de prévoir avant tout des longues périodes de régénération et de planifier une progression étalée dans l'espace (petites surfaces) et dans le temps ^[62] . Ainsi les conditions de pollinisation variables d'une année à l'autre seront égalisées et incluront un grand nombre d'arbres parents dans la régénération.



Fig. 9:

Régénération. Les techniques fréquemment utilisées en Suisse, comme la coupe progressive, la coupe en lisière ou la coupe d'abri, étalement la régénération sur de longues périodes et fournissent, de même que le jardinage, des conditions favorables à la conservation de la diversité génétique (photos: A. Bürgi, WSL. À gauche jardinage; à droite: coupe progressive).

3.2.2 Régénération artificielle

Dans les forêts IGP, la régénération artificielle peut, dans certaines conditions, être une alternative à la régénération naturelle. Le cas échéant, seul du matériel de reproduction répondant à des critères de qualité bien définis est admis (cf. chap. 3.2.3). Les principaux motifs justifiant l'utilisation de la régénération artificielle sont présentés ci-après.

Régénération naturelle insatisfaisante ou absente

Lorsque la régénération naturelle des essences cibles ne s'installe pas ou de manière trop rare, la régénération artificielle peut être envisagée. Il en est de même lorsque l'on prévoit d'étendre les peuplements des espèces cibles et que l'on ne peut pas compter sur une régénération naturelle.

Remplacement de provenances introduites

Concernant l'espèce cible, la forêt IGP idéale comprend uniquement la provenance locale. Des petites surfaces de provenances introduites sont néanmoins tolérables pour autant qu'elles soient écartées à la fin de la période de production. Dans ce cas, le nouveau peuplement peut être constitué par voie artificielle. Lors de l'aménagement d'une forêt IGP, on localisera les surfaces renfermant des provenances introduites et on les désignera comme peuplements à convertir dans le document de planification (p. ex. plan de gestion).

Lorsque le gestionnaire est contraint de procéder à une **plantation**, il travaillera en général avec de faibles **écartements**. Pour les essences disséminées, il tiendra

compte comme il convient des expériences du service forestier local. En montagne, les plantations ne seront pas réalisées sur toute la surface, mais sous forme de petits collectifs adaptés aux particularités des micro-stations. La grandeur et la densité de ces collectifs pourront donc fortement varier. L'organisation de ces plantations tiendra compte des connaissances sur le développement des collectifs d'arbres plantés en montagne^[77,78] et des expériences du service forestier local. Outre les plantations habituelles, le semis direct est aussi possible.

3.2.3 Matériel de reproduction

Lorsque l'on travaille avec la régénération artificielle dans une forêt IGP, il faut utiliser du matériel de reproduction adéquat, pour lequel on tiendra compte des points suivants:

Provenance

Les semences qui donneront le matériel de plantation ou seront utilisées pour le semis direct doivent être récoltées dans la forêt IGP. Il faut éviter de récolter en bordure de la forêt IGP (zone-tampon, cf. chap. 3.5) ou dans des peuplements de provenances étrangères.

Récolte de semences

Les semences seront récoltées si possible lors d'une **pleine fructification**. Le nombre d'**arbres semenciers** ne doit pas être inférieur à 20, avec une distance entre ces arbres de 50 m au moins. Il faut récolter environ la même quantité sur chaque semencier.

Planche de semis

On ne pratiquera pas de sélection en pépinière (pas de sélection massale dans la planche de semis et de repiquage). Toutes les plantes viables sont aptes à être mises en terre^[51].

Fig. 10:

Récolte de semences. La récolte est l'affaire de spécialistes: d'une part pour des questions de sécurité des travailleurs, d'autre part, sur le plan génétique, pour que la récolte s'effectue sur un nombre suffisant de semenciers (au moins 20) bien répartis dans le peuplement (photo: pépinière expérimentale, WSL).



Conformément à la déclaration de principe IGP, les services cantonaux des forêts s'engagent à garantir l'approvisionnement en matériel forestier de reproduction correspondant aux besoins de la forêt IGP et à tenir compte des exigences particulières relatives à la production et à l'utilisation du matériel de reproduction pour les forêts IGP (5). La Confédération, représentée par la Direction fédérale des forêts, s'engage pour sa part à conseiller et soutenir le service cantonal des forêts pour la mise à disposition du matériel de reproduction apte à être utilisé en forêt IGP (7). Le Service de consultation pour les matériaux forestiers de reproduction de la Confédération coordonne, au nom des cantons, les travaux nécessaires et garantit ainsi le respect des points mentionnés.

3.3 Déclaration de principe IGP

La déclaration de principe IGP contient les dispositions que vont approuver les propriétaires forestiers, le canton (service des forêts) et la Confédération (Direction fédérale des forêts) lors de la délimitation d'une forêt IGP. Elle règle les relations entre les trois parties et attribue à chacune son domaine respectif. Toutes les dispositions prévues dans la déclaration de principe sont présentées et expliquées dans les chapitres 3.2 et 3.4.

Déclaration de principe pour l'aménagement et l'exploitation des forêts IGP

Dans le but de conserver les races locales d'une espèce d'arbre ou d'arbuste (espèce cible) et de garantir la variation génétique à l'intérieur des populations concernées, des forêts d'un intérêt génétique particulier (forêts IGP) sont aménagées. Les parties concernées s'engagent à respecter les dispositions suivantes.

Le propriétaire forestier s'engage à:

- (1) garantir la régénération régulière de l'espèce cible et à conserver voire augmenter la surface qu'elle occupe dans la forêt IGP;
- (2) travailler sur l'ensemble de la surface de la forêt IGP uniquement avec la provenance locale lors de la régénération ou de la création des peuplements de l'espèce cible;
- (3) rajeunir l'espèce cible si possible naturellement; en cas de régénération artificielle, on n'utilisera que du matériel de reproduction qui satisfait aux exigences particulières imposées dans les forêts IGP.

Le service cantonal des forêts s'engage à:

- (4) contrôler le respect des dispositions de la déclaration de principe IGP mentionnées ci-dessus;
- (5) garantir l'approvisionnement en matériel forestier de reproduction correspondant aux besoins de la forêt IGP et à tenir compte des exigences particulières relatives à la production et à l'utilisation du matériel de reproduction dans les forêts IGP.

La Direction fédérale des forêts s'engage à:

- (6) conseiller et soutenir les propriétaires forestiers et le service cantonal des forêts quant aux mesures nécessaires de conservation génétique;
- (7) conseiller et soutenir le service cantonal des forêts pour la mise à disposition du matériel de reproduction apte à être utilisé en forêt IGP;
- (8) contrôler périodiquement et réviser s'il y a lieu les mesures de conservation génétique, d'entente avec les propriétaires forestiers ainsi qu'avec le service cantonal des forêts.

3.4 Aménagement et gestion des forêts IGP

La Direction fédérale des forêts coordonne la stratégie nationale de conservation et d'utilisation durable des ressources génétiques en forêt. En collaboration avec les cantons, elle désigne plus particulièrement les sites potentiellement aptes à être sélectionnés comme forêts IGP.

3.4.1 Planification forestière

Le service cantonal des forêts inscrit les forêts IGP dans un document de planification approprié (p. ex. **plan directeur forestier**, **plan d'aménagement régional**), contraignant pour les autorités. L'inscription contient les données relatives aux objectifs de la forêt IGP, à l'espèce ou aux espèces d'arbres ou d'arbustes en question (espèces cibles) ainsi qu'à la situation et à l'étendue de la zone. Avec cette inscription, les autorités cantonales concernées (le service des forêts) et la Confédération (Direction fédérale des forêts) approuvent la **déclaration de principe IGP** (chap. 3.3).

Avec l'approbation des propriétaires, la forêt IGP est inscrite dans un document approprié, contraignant pour les propriétaires (p. ex. **plan de gestion**, contrat, inscription au registre foncier, etc.). Les paragraphes 1 à 3 de la déclaration de principe IGP sont repris à cet effet. La Confédération ne s'engage pas par contrat vis-à-vis des propriétaires de forêt.

Lorsque l'inscription liant les autorités et les propriétaires fonciers est réalisée, la forêt IGP est intégrée dans le **cadastre national des forêts IGP**.

3.4.2 Mesures particulières de conservation génétique

Lorsque la régénération d'une espèce cible n'est pas durablement garantie ou que son peuplement dans la zone IGP semble menacé à moyen ou long terme, des mesures s'imposent. Si ces problèmes ne peuvent être efficacement résolus dans le cadre de la gestion normale, des **mesures particulières de conservation génétique** sont à prendre. Il peut s'agir par exemple de préparer des surfaces de régénération (nettoyement du parterre de coupe, fauchage, écroûtage du sol), de régler les conditions de concurrence (p. ex. soins aux recrûs et fourrés), de régénérer artificiellement (semis, plantations) ou de protéger l'espèce cible contre le gibier.



Fig. 11: **Dégâts dus au gibier.** La régénération d'espèces particulièrement menacées, comme le sapin blanc, est par endroits tout simplement impossible sans protection. La clôture posée permet de montrer comment le rajeunissement naturel du sapin se développerait sans la pression du gibier. La régénération régulière d'une espèce cible constitue un des principaux aspects de la conservation génétique. Des mesures adéquates seront prises, si cette régénération n'est pas assurée (photo: SPOI, WSL).

La Direction fédérale des forêts s'engage à conseiller et soutenir les propriétaires forestiers et le service cantonal des forêts quant aux mesures nécessaires de conservation génétique (6). Elle s'assure que les questions de génétique sont abordées correctement et s'engage à contrôler périodiquement et réviser s'il y a lieu les mesures de conservation génétique, d'entente avec les propriétaires forestiers ainsi qu'avec le service cantonal des forêts (8).

3.4.3 Aides financières

Sur la base de l'inscription définitive d'une forêt IGP liant les autorités et les propriétaires, la Confédération peut apporter son appui à des mesures particulières de conservation génétique en cas de nécessité (chap. 3.3). Ces dernières peuvent être soutenues par des aides financières dans le cadre de projets de sylviculture A ou de projets de réserves forestières. La Confédération et le canton approuvent conjointement les mesures particulières de conservation génétique et déterminent les aides financières nécessaires. Les mesures subventionnables et la procédure de perception des aides financières seront décrites dans les circulaires ad hoc de la Direction fédérale des forêts. Les bases légales sont réglées dans l'ordonnance sur les forêts (OFO, RS 921.01). Les forêts IGP sont considérées comme des réserves génétiques au sens de l'art. 50 OFO.

3.4.4 Monitorage et arbitrage

Monitorage

L'aptitude des forêts IGP sera évaluée tous les 20 ans ou en fonction d'événements particuliers. Si de sérieuses raisons rendent nécessaires la suppression d'une forêt IGP et sa radiation du registre fédéral, chacune des parties prenantes peut le demander, suite à cette évaluation. Une radiation est possible d'un commun accord entre la Confédération, le canton et les propriétaires de forêt et en conformité avec les éventuels conventions et contrats cantonaux (relatifs p. ex. aux mesures particulières de conservation génétique, aux réserves forestières, etc.). Sauf demande contraire écrite émanant des parties et déposée durant l'année précédent la fin de la période de 20 ans, la surface conserve son statut de forêt IGP jusqu'à la prochaine évaluation.

Arbitrage

En cas de divergences d'opinions concernant les mesures particulières de conservation génétique (chap. 3.4.2), l'interprétation de la déclaration de principe IGP et la suppression d'une forêt IGP, l'affaire sera tranchée par un expert désigné d'un commun accord par toutes les parties.

3.5 Grandeur des forêts IGP

La grandeur des forêts IGP dépend de la présence locale ainsi que des exigences écologiques et des caractéristiques de l'espèce d'arbre ou d'arbuste considérée. Si la présence d'une espèce couvre de grandes surfaces, on peut délimiter des sites entiers comme forêts IGP (p. ex. des vallées de montagne, des versants de vallée). Si l'on peut supposer qu'il y a un échange de gènes entre des petits peuplements isolés d'essences rares, il faut dans la mesure du possible rassembler ces sous-populations dans une zone IGP plus étendue. Pour une essence peu répandue et génétiquement isolée, on prendra en considération, en vue d'une extension de la population, la zone locale de croissance potentielle de l'espèce cible (conditions de station et exigences écologiques de l'essence). Les quatre points suivants fournissent des indications supplémentaires concernant les surfaces nécessaires.

Planification de la régénération

La régénération naturelle souhaitée dans les forêts IGP sur de longues périodes de régénération n'est possible que lorsqu'une surface minimale est disponible. Pour des essences en peuplements (degré de recouvrement >40%), la planification sylvicole du rajeunissement détermine la grandeur souhaitable d'une forêt IGP. La surface minimale estimée est de 10 à 15 ha (15 à 20 ha pour des essences de lumière) pour que la répartition des classes d'âge y soit équilibrée. Un tel noyau de population se verra complété par une zone-tampon (cf. point 4).

Menaces abiotiques et dérive génétique

Pour maintenir le potentiel d'adaptation d'une population, il faut que les informations génétiques des parents soient transmises le mieux possible à la génération suivante. La grandeur choisie d'une forêt IGP doit donc permettre de réduire au minimum le risque de perte aléatoire de variantes génétiques (dérive génétique) à cause des dommages provoqués par des tempêtes, des incendies ou des avalanches par exemple.

Consanguinité

Les descendants obtenus par croisement d'individus proches parents ou par auto-fertilisation peuvent souffrir d'effets de consanguinité. Ces derniers s'expriment par exemple par une diminution de la vitalité et de la fertilité^[79]. On peut limiter ce risque en respectant un seuil minimal pour la grandeur et la densité d'une population. Pour des forêts IGP, il est donc conseillé de ne considérer que des populations présentant au moins 50 individus potentiellement capables de se reproduire^[80]. Autour de ces populations cibles, une zone-tampon est à prévoir (cf. point 4).

Vol pollinique

Le pollen est à même de transporter le patrimoine héréditaire mâle des arbres et arbustes sur de longues distances. Ceci conduit à un échange de matériel génétique sur de grands espaces et favorise ainsi la diversité génétique. Un apport élevé de pollens issus de provenances non locales peut toutefois aussi entraîner une dénaturation génétique indésirable de la provenance locale. Il faut donc choisir le périmètre de la forêt IGP de sorte que sa bordure joue le rôle de tampon entre la population cible à conserver et les prochains peuplements de la même espèce. Comme règle empirique grossière on admettra qu'une distance d'un kilomètre est à respecter. La zone-tampon influence donc de manière déterminante la surface totale de la forêt IGP. Elle ne se différencie toutefois pas de la zone centrale pour la planification et les contraintes, de sorte que l'on ne pratiquera pas de zonage à l'intérieur d'un périmètre IGP.

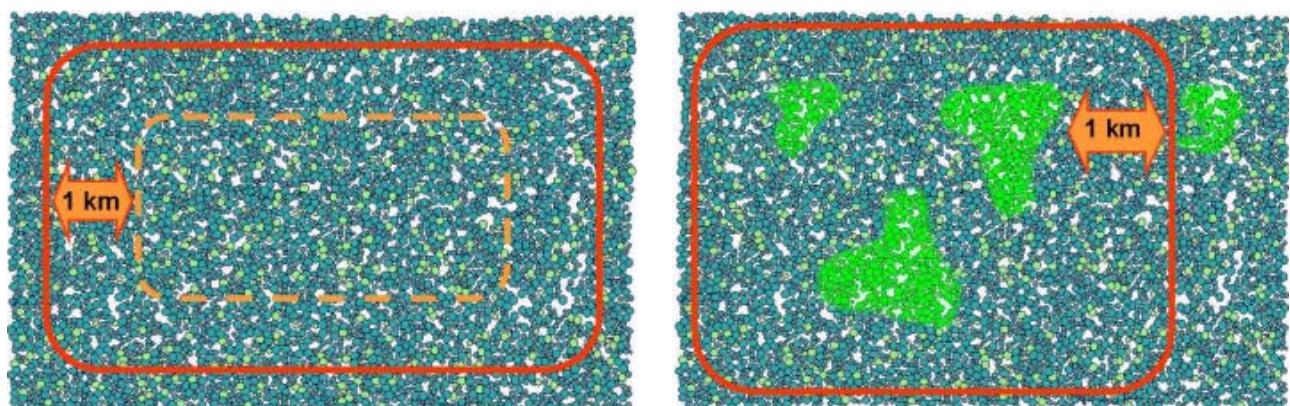


Fig. 12:

Forêt IGP. Le périmètre de la forêt IGP contient une zone-tampon (1 km) qui sépare la ou les populations à conserver des autres peuplements. Le schéma de gauche présente la situation pour une essence en peuplement . Le périmètre global est marqué en rouge, le noyau de population en orange. À droite, on a rassemblé 3 sous-populations d'une essence disséminée sur des petites surfaces (vert clair) pour en faire une seule zone IGP.

Les particularités des espèces ainsi que les conditions stationnelles locales déterminent l'aménagement d'une forêt IGP. Les indications fournies ci-dessus sont donc des grandeurs indicatives qu'il s'agit d'adapter, dans chaque cas, aux exigences de l'essence considérée. Pour les essences rares notamment, les surfaces des forêts IGP seront d'une grandeur suffisante et tiendront compte d'éventuelles structures de **métapopulations**.

3.6 Choix de forêts IGP appropriées

Les forêts IGP ont pour but de couvrir la plus grande part de la variation génétique d'une espèce cible en tenant compte aussi des variantes génétiques particulières. Diverses informations nous permettent de conclure directement ou indirectement à l'intérêt génétique particulier de peuplements forestiers.

3.6.1 Critères génétiques

Les informations relatives à la variation génétique à l'intérieur d'une population et entre les populations peuvent fournir des indications concernant le nombre, la grandeur et la répartition nécessaires des forêts IGP. Les inventaires génétiques de l'épicéa^[81] et du sapin^[21] ont par exemple permis de découvrir que ce dernier se différenciait plus nettement d'un peuplement à l'autre alors que l'épicéa montrait une plus grande variation à l'intérieur des populations. Cela nous apprend que pour couvrir la variation génétique du sapin, il faudra disposer de forêts IGP plus petites, mais disséminées sur toute l'aire de répartition alors que pour l'épicéa, un plus petit nombre d'unités de plus grande taille suffira.

Les études génétiques ne nous renseignent pas seulement sur l'organisation spatiale et temporelle, elles peuvent aussi nous fournir des indications concernant des populations particulières. Certains allèles rares qui sont très présents dans une population peuvent directement ou indirectement révéler des conditions locales de sélection, des types de croissance spéciaux, une histoire particulière du peuplement, etc.

Il est cependant rare que l'intérêt génétique de peuplements forestiers ne soit reconnu que sur la base d'études génétiques. En général, des critères de choix supplémentaires seront appliqués (chap. 3.6.2 et 3.6.3).

3.6.2 Division régionale

La Suisse peut être subdivisée en régions biogéographiques déterminées sur la base de critères géographiques et floristiques. Ces régions présentent des conditions de sélection naturelle diverses (conditions stationnelles) et indiquent ainsi une différenciation génétique potentielle à grande échelle entre les populations d'une même espèce. La répartition régionale de la Suisse selon INDERMÜHLE et al.^[82] est utilisée comme base pour le choix des forêts IGP (fig.13). La sélection des forêts IGP au sein d'une région biogéographique est effectuée selon les critères présentés au chapitre 3.6.3.

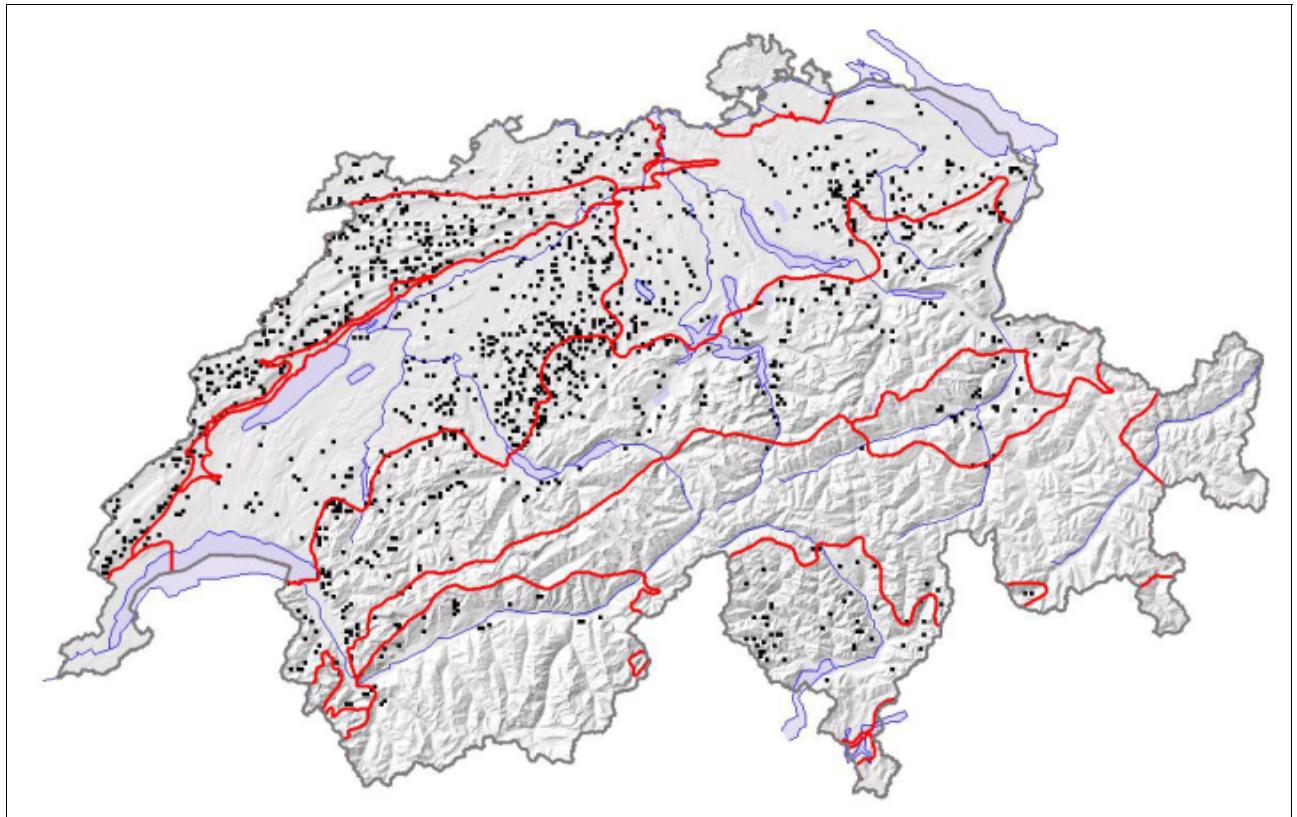


Fig. 13:

Régions biogéographiques. La division de la Suisse en régions biogéographiques fournit des indices pour une différenciation génétique potentielle entre les populations d'arbres forestiers d'une espèce (division régionale selon INDERMÜHLE et al. 1998^[82]). La figure présente la répartition du sapin blanc selon l'inventaire forestier national (placettes représentant un taux de surface terrière pour le sapin supérieur à 40%)^[96].

3.6.3 Choix des diverses forêts IGP

Présence typique et spéciale d'une espèce

À l'intérieur des **régions biogéographiques**, on veillera à couvrir au mieux les stations colonisées par l'espèce cible (sur l'ensemble de l'amplitude écologique). On utilisera des critères liés à la station de manière directe (étage de végétation, exposition, sous-sol) et indirecte (associations végétales). Il faut tenir compte aussi bien des présences typiques que des présences particulières d'une espèce.

Noyaux de répartition d'essences rares

Pour les essences rares, les présences dotées d'un nombre d'individus supérieur à la moyenne et d'une grande étendue (noyaux de population) seront considérées comme des forêts IGP potentielles. Des petites populations qui sont probablement liées par un échange de gènes (métapopulations) devront être rassemblées dans une seule zone IGP.

Populations autochtones	Les populations autochtones ont fait leurs preuves dans leur station et se sont adaptées durant un grand nombre de générations aux conditions environnementales spécifiques de leur milieu de croissance. Elles représentent sans conteste des ressources génétiques d'un intérêt particulier. L'évaluation du caractère autochtone se base principalement sur des informations historiques concernant le peuplement et la forêt. Des informations génétiques peuvent fournir des indications supplémentaires.
	Peuvent être désignés comme forêts IGP, non seulement les peuplements autochtones mais aussi des populations non autochtones de grande valeur.
Caractéristiques morphologiques	Des caractéristiques morphologiques particulières d'une espèce ainsi que des caractéristiques phénotypiques supérieures à la moyenne (au sens d'une sylviculture de qualité) peuvent être un indice de l'intérêt génétique particulier d'une population, lorsque l'on suppose qu'elles sont en partie de nature génétique.
Divers	Les critères typiques décrivant le peuplement, comme l'étendue, la structure des âges, l'état de la régénération, les conditions de propriété, peuvent servir lors du choix entre divers peuplements.
	Les critères qui sont finalement prépondérants pour le choix des forêts IGP d'une espèce cible dépendent fortement de l'écologie et de la problématique particulière de l'espèce cible dans une région (rareté, degré de menace, maladies, etc.) Dans cette publication de portée générale sur les forêts IGP, nous avons renoncé à décrire de tels critères de choix spécifiques.

3.7 Intersections

Les forêts IGP peuvent constituer des unités fonctionnelles indépendantes à l'intérieur de l'aire forestière. Dans la mesure du possible, on désignera cependant comme forêts IGP des objets existants (comme des réserves forestières, des peuplements semenciers, etc.), pour autant qu'ils s'y prêtent et que les divers objectifs visés soient compatibles.

3.7.1 Forêts IGP et réserves forestières

Les réserves forestières (réserves naturelles¹ et réserves particulières²) peuvent aussi fournir de précieux services pour la conservation des gènes; elles peuvent en général être désignées comme forêts IGP. Il faut pour cela que dans la réserve forestière:

1. le degré de recouvrement de l'espèce ou des espèces cibles se maintienne à long terme (en tenant compte des interventions autorisées ou pratiquées dans la réserve);

¹ Selon la définition D+F de la circulaire n° 19: réserves forestières totales.

² Selon la définition D+F de la circulaire n° 19: réserves forestières avec interventions particulières.

2. la transmission de l'information génétique de l'espèce cible semble assurée d'une génération à l'autre (réénération naturelle);
3. l'utilisation¹ des ressources génétiques (récolte de semences) des espèces cibles soit autorisée selon la réglementation de la réserve².

La Confédération étudie en collaboration avec les cantons quelles sont les réserves forestières susceptibles d'être désignées comme forêts IGP. La réglementation de la réserve forestière reste cependant toujours valable et prime sur celle de la forêt IGP.

3.7.2 Forêts IGP et peuplements semenciers

Les peuplements semenciers peuvent être désignés comme forêts IGP s'ils satisfont aux exigences minimales de surface, respectivement au nombre d'individus (chap. 3.5). Les peuplements semenciers qui sont classés selon les normes OCDE constituent des forêts IGP potentielles; notamment ceux de la catégorie « matériel de reproduction sélectionné ». Ces peuplements doivent être examinés afin de vérifier leur qualification.

3.7.3 Forêts IGP et promotion des essences rares

La conservation et la promotion des essences rares constituent une composante de la stratégie de la biodiversité développée par la Direction fédérale des forêts^[71]. La conservation des espèces et des gènes sont des exigences complémentaires qui ne peuvent être traitées séparément. Une étude de l'EPF Zurich (chaire de sylviculture) publiée en 2001 propose différentes stratégies de promotion pour dix essences rares^[84]. Ces stratégies prévoient entre autres de conserver des noyaux de population, de les étendre et de les relier en réseau. En délimitant des forêts IGP, les propriétaires de forêt favorisent la conservation et la promotion des essences rares, tout en mettant l'accent sur la conservation et la promotion des races locales.

¹ Les ressources génétiques qui ne sont pas accessibles n'existent en fait pas ! Une ressource est un moyen naturel de production, défini comme source ou réserve; l'idée d'utilisation est en tout cas fortement liée à ce concept. Les diverses formes d'utilisation des ressources génétiques dans les réserves forestières sont: la récolte de matériel pour des études génétiques (p. ex. bourgeons, feuilles, semences); la récolte de semences pour la régénération artificielle et les reboisements dans ou à l'extérieur de forêts IGP.

² Selon INDERMÜHLE et al.^[82] (1998), toutes les interventions et les activités qui peuvent menacer l'objectif de protection sont indésirables. La récolte de semences n'appartient en général pas à cette catégorie de mesures.

4 La forêt de l’Ochsenboden: une sapinière d’un intérêt génétique particulier

Patrick Bonfils

Christian Pernstich

À l’est de l’entrée du val d’Anniviers (VS), entre la forêt de Finges et l’arête de Gorwetsch, s’étend une sapinière de plus de 100 ha, dénommée l’Ochsenboden. Dans le plan régional forestier du 21.03.2001, cette surface de sapins est délimitée comme une forêt d’un intérêt génétique particulier (forêt IGP) (fig. 17). Cet exposé explique l’intérêt particulier à conserver cette provenance de sapin.



Fig. 14:

Le sapin en Valais. La sapinière de l’Ochsenboden constitue une des plus importantes populations de cette essence en Valais (photo Écologie génétique, WSL).

4.1 Histoire forestière

Les découvertes polliniques de Zeneggen (Böhnigsee^[85]) et Eggen^[86] montrent que le sapin a colonisé le Valais il y a environ 8000 ans. Ces populations de sapins proviennent probablement du centre de l’Italie, où l’on suppose qu’il y a eu d’importantes zones de refuge glaciaires du sapin^[87]. Après les glaciations, le sapin a utilisé différentes voies de migration pour parvenir dans la Suisse actuelle (fig. 15). Le Simplon a entre autres servi de passage à travers les Alpes et a permis la colonisation du Haut-Valais et du Valais central^[88]. En arrivant en Valais, le sapin a pu s’imposer contre des essences moins concurrentielles et héliophiles, comme le mélèze, le pin et l’arolle^[89], et se développer sans la concurrence d’une essence d’ombre^[90]. L’extraordinaire vigueur de la régénération que l’on observe aussi dans les surfaces libres de l’Ochsenboden pourrait signifier qu’en Valais, le sapin a conservé jusqu’à aujourd’hui son caractère originel d’essence pionnière^[89]; il se

différencie ainsi nettement des provenances plus tolérantes à l'ombre, présentes dans les Alpes orientales^[90].

Le sapin a connu sa répartition maximale dans les Alpes entre 4000 et 3000 avant Jésus-Christ^[91]. À partir de 3200 avant J.-C. l'épicéa l'a concurrencé et en grande partie supplanté dans les zones subalpines^[92]. Mais la répartition actuelle en Valais est aussi fortement marquée par les activités humaines. De nombreux peuplements de sapin ont disparu avec le développement accéléré de l'économie alpestre au début de l'âge du Bronze (2000 avant J.-C.)^[92]. Outre les défrichements proprement dits, l'utilisation de la forêt comme pâturage à bovins a entraîné d'importants dégâts pour le sapin qui est très sensible à l'abrutissement. Le peuplement de sapin de l'Ochsenboden appartient à l'un des rares grands peuplements de sapin dans le canton^[93]; il requiert donc une attention particulière.

D'après les indications du service forestier, aucune plantation n'a été réalisée à l'Ochsenboden avec des provenances étrangères. Les recherches dans les archives fédérales ne précisent pas si les 10 000 sapins mentionnés dans le décompte partiel d'un projet de reboisement de 1928 ont été réellement plantés et s'il s'agissait de la provenance autochtone^[38]. Malgré cette incertitude, on peut admettre que les peuplements de sapins de l'Ochsenboden sont très probablement issus de la « population originelle » dont l'immigration est déjà très ancienne; on peut donc les désigner comme autochtones.

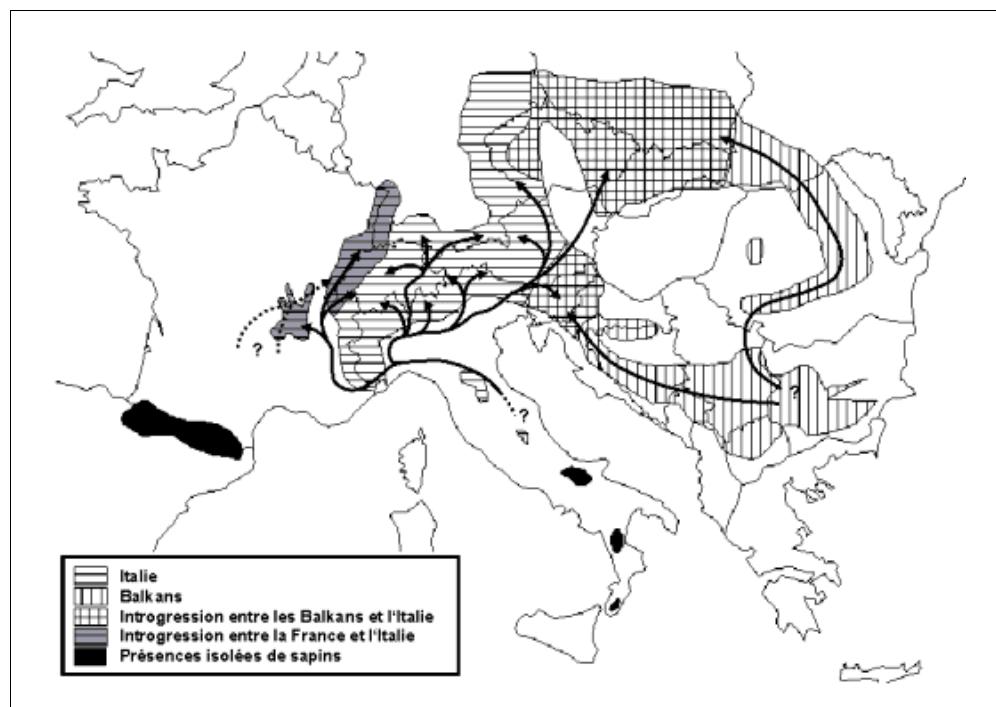


Fig. 15: **L'aire de répartition actuelle du sapin blanc en Europe** (divisée selon la provenance des refuges glaciaires présumés) et les probables voies de recolonisation vers la Suisse (d'après BURGA 1988^[94]; KONNERT & BERGMANN 1995^[87]).

4.2 Critères génétiques

Une recherche menée de 1993 à 1995 à l’Institut fédéral de recherches WSL a étudié 18 peuplements suisses et 2 peuplements italiens de sapin blanc, à l’aide d’analyses d’iso-enzymes^[95]. La comparaison de la variation génétique entre les peuplements a livré des résultats particulièrement intéressants. La différenciation des populations montre que les populations de sapin blanc de l’Ochsenboden et celles des provenances italiennes et tessinoises se distinguent nettement de la moyenne des autres peuplements (fig. 16). Ceci provient du fait que les populations de sapin blanc de l’Ochsenboden possèdent un grand nombre d’informations génétiques qui n’ont pas pu être retrouvées dans les autres surfaces étudiées. La relative proximité avec les zones refuges de l’Italie centrale pourrait fournir une explication. La population de l’Ochsenboden ne se distingue pas seulement par des allèles particuliers, mais aussi par son taux d’hétérozygotie (H_e). Avec une valeur H de 21,4%, le peuplement se situe nettement au-dessus de la moyenne de 19,3% obtenue pour l’ensemble des peuplements étudiés. Ce résultat donne un signe positif pour la future évolution du peuplement, car un taux d’hétérozygotie élevé s’accompagne souvent d’une vitalité particulière et d’une bonne résistance au stress (cf. pour cela aussi les chap. 1.3.2 et 1.3.3).

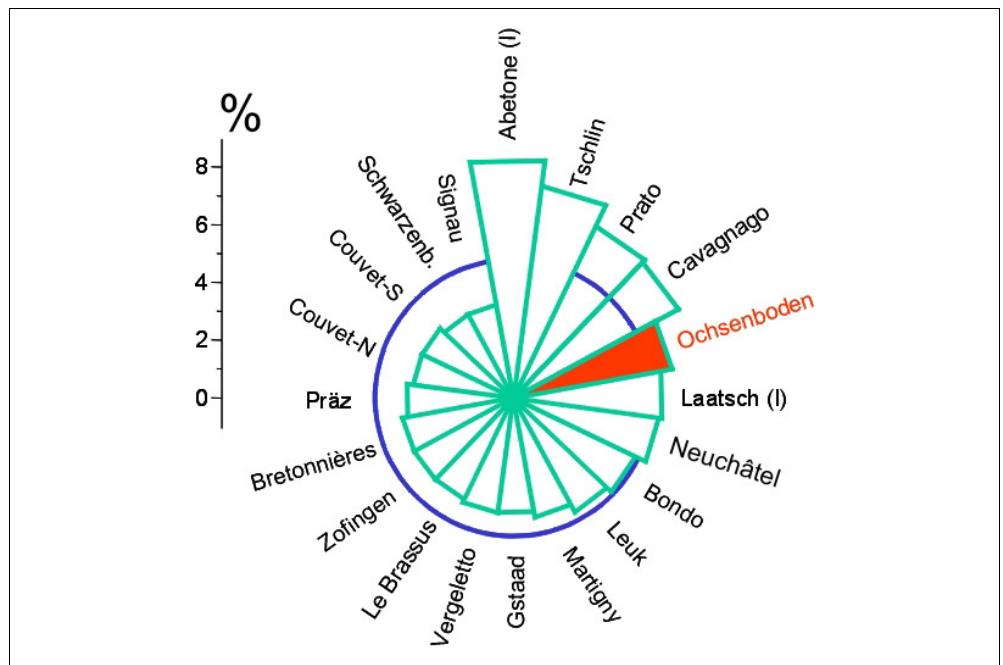


Fig. 16: Différenciation des populations de sapins blancs suisses et italiens (d’après HUSSENDÖR-FER^[95]). Les rayons des secteurs représentés (en vert) correspondent au degré de différenciation d’une population par rapport à la moyenne de toutes les autres populations. La population avec le plus grand rayon se distingue donc le plus fortement des autres populations. La population la plus différenciée (Abetone en Italie) se distingue des autres peuplements pour 8,3% des allèles étudiés. La population de sapin blanc d’Ochsenboden montre une différenciation supérieure à la moyenne (5,6 %, cercle bleu) ce qui confirme un intérêt génétique particulier.

4.3 La forêt IGP de l'Ochsenboden

Les informations disponibles, aussi bien de nature historique que génétique, incitent à désigner la forêt de sapin de l'Ochsenboden comme forêt d'un intérêt génétique particulier (forêt IGP). Le Conseil d'État valaisan a approuvé le 21.3.2001 le plan régional forestier pour les communes de Sierre, Salquenen, Loèche et Varonne. Cet instrument de planification délimite l'Ochsenboden comme forêt IGP et confirme ainsi l'intérêt à conserver et à utiliser durablement cette précieuse provenance de sapin blanc (fig. 17). La forêt IGP de l'Ochsenboden sera intégrée dans le cadastre national des forêts IGP dès que les propriétaires forestiers auront reconnu la déclaration de principe IGP et l'auront sanctionnée par une inscription correspondante, p. ex. dans le plan de gestion (chapitre 3.4). Ceci permettra le cas échéant de bénéficier des aides financières que la Confédération met à disposition pour la conservation des ressources génétiques (chapitre 3.4.2).

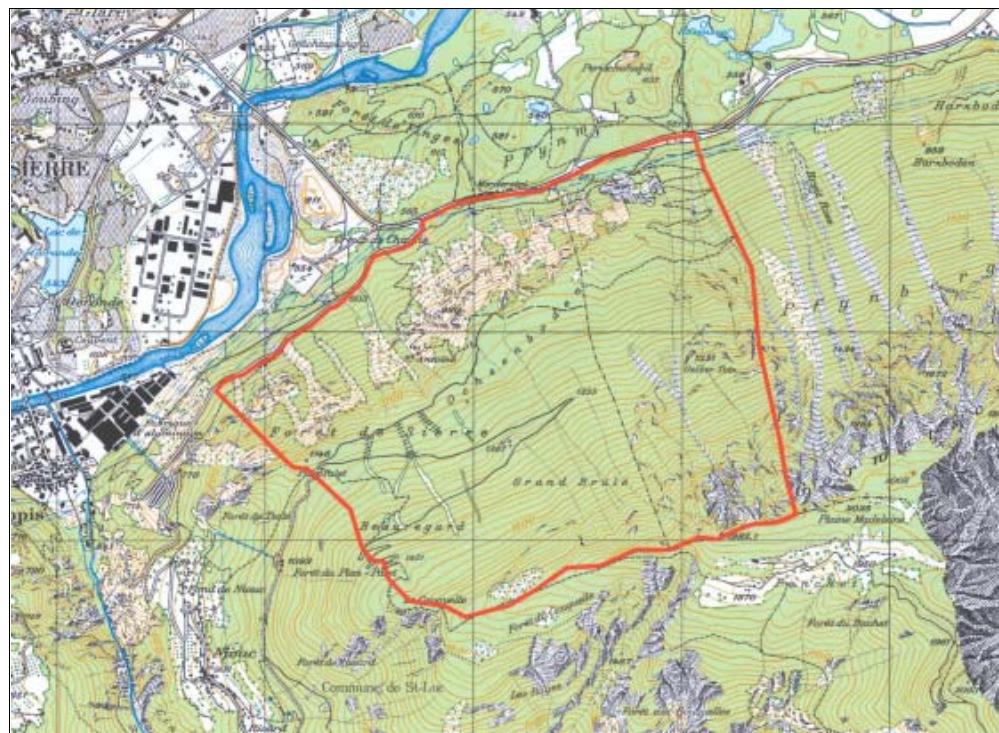


Fig. 17: **Forêt IGP de sapin de l'Ochsenboden.** La superficie totale concernée par la réglementation particulière relative à la gestion des forêts IGP s'étend sur environ 390 ha à l'Ochsenboden. Reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie (BA024479)

5 Indication des sources

- [1] OKOK-Gruppe «Genreservate», 1988: Ein schweizerisches Konzept für die Erhaltung der Erbsubstanz unserer Baumarten durch die Schaffung von Genreservaten. Schweiz. Z. Forstwes. 139, 4, 313–322.
- [2] World Resources Institute, 1992: Global Biodiversity Strategy. Guidelines for action to save, study and use earth's biotic wealth sustainably and equitably. Washington, 244 p.
- [3] SCHOLZ, F.; GREGORIUS, H.-R.; RUDIN, D., 1987: Genetic Effects of Air Pollutants in Forest Tree Populations. Berlin, Springer. 201 p.
- [4] SCHAUER, T.; CASPARI, C., 1989: Der grosse BLV Pflanzenführer. München, BLV. 463 p.
- [5] EDLIN, H.; NIMMO, M., 1983: BLV Bildatlas der Bäume. München, BLV. 255 p.
- [6] MÜLLER-STARCK, G., 1994: Die Bedeutung der genetischen Variation für die Anpassung gegenüber Umweltstress. Schweiz. Z. Forstwes. 145, 12, 977–997.
- [7] MÜLLER-STARCK, G.; SCHUBERT, R., 2000: Genetic markers as a tool for bioindication in forest ecosystems. In: Young, A.; Boshier, D.; Boyle, T. (Hrsg.): Forest Conservation Genetics. Wallingford, CABI. 227–238.
- [8] GREGORIUS, H.-R.; HATTEMER, H.H.; BERGMANN, F.; MÜLLER-STARCK, G., 1985: Umweltbelastung und Anpassungsfähigkeit von Baumpopulationen. Silvae Genet. 34, 6, 230–241.
- [9] ZIEHE, M.; HATTEMER, H.H.; MÜLLER-STARCK, R.; MÜLLER-STARCK, G., 1999: Genetic structures as indicators for adaptation and adaptational potentials. In: Mátyás, C. (Hrsg.): Forest Genetics and Sustainability. Dordrecht, Kluwer. 75–89.
- [10] HAMRICK, J.L.; GODT, M.J.W.; SHERMAN-BROYLES, S.L., 1992: Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. New Forests 6, 95–124.
- [11] MÜLLER-STARCK, G., 1993: Auswirkungen von Umweltbelastungen auf genetische Strukturen von Waldbeständen am Beispiel der Buche (*Fagus sylvatica* L.). Schr. Forstl. Fak. Univ. Göttingen. Niedersächs. Forstl. Versuchsanst. 112, 1–163.
- [12] FINKELDEY, R., 2001: Genetic variation of oaks (*Quercus* spp.) in Switzerland 2. Genetic structures in «pure» and «mixed» forests of pedunculate oak and sessile oak. Silvae genet. 50, 1, 22–30.
- [13] ZANETTO, A.; KREMER, A.; HATTEMER, H.H.; MÜLLER-STARCK, G., 1996: Inheritance of isozymes in pedunculate oak (*Quercus robur* L.). J. Hered. 87: 364–370.
- [14] HERZOG, S., 1996: Genetic inventory of European oak populations: consequences for breeding and gene conservation. Ann. Sci. For. 53, 783–793.
- [15] MENN, C., 1998: Isoenzymatisch-genetische Untersuchung an Elsbeere (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz). Ein Beitrag zum besseren Verständnis der genetischen Strukturen bei einer seltenen, zerstreut vorkommenden Baumart. Diplomarbeit. Zürich, ETH Zürich. 99 p.
- [16] LEIBUNDGUT, H., 1984: Unsere Waldbäume. Frauenfeld, Huber. 168 p.
- [17] BÜRGI, A., 1990/91: Wahl geeigneter Provenienzen und Standorte für den Anbau der Lärche ausserhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes in der Schweiz. Mitt. Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch. 66, 1, 150–320.
- [18] TABERLET, P.; FUMAGALLI, L.; WUST-SAUCY, A.-G.; COSSON, J.-F., 1998: Comparative phylogeography and postglacial colonization routes in Europe. Molecular Ecology 7, 453–464.
- [19] HEWITT, G.M., 2000: The genetic legacy of the quaternary ice ages. Nature 405, 907–913.

- [20] LAGERCRANTZ, U.; RYMAN, N., 1990: Genetic structure of Norway spruce (*Picea abies*): concordance of morphological and allozymic variation. *Evolution* 44, 1, 38–53.
- [21] HUSSENDÖRFER, E., 1996: Untersuchungen über die genetische Variation der Weisstanne (*Abies alba* Mill.) unter dem Aspekt der *in situ* Erhaltung genetischer Ressourcen in der Schweiz. Dissertation. Zürich, ETH Zürich. 151 p.
- [22] KRAL, F.; MAYER, H., 1993: Postglaziale Entstehung und Aufbau tannenreicher Wälder Europas. *Diss. Bot.* 196, 305–315.
- [23] MÁTYÁS, G., 1999: Rekonstruktion der nacheiszeitlichen Einwanderung der Eichen in der Schweiz anhand ihrer Chloroplasten-DNA. Dissertation. Zürich, ETH Zürich. 144 p.
- [24] MÁTYÁS, G.; SPERISEN, C., 2001: Chloroplast DNA polymorphisms provide evidence for postglacial recolonisation of oaks (*Quercus* spp.) across the Swiss Alps. *Theor. Appl. Genet.* 102, 12–20.
- [25] DUMOLIN-LAPÈGUE, S.; DEMESURE, B.; FINESCHI, S.; LE CORRE, V.; PETIT, R.-J., 1997: Phylogeographic structure of white oaks throughout the European continent. *Genetics* 146, 1475–1487.
- [26] VON HORNSTEIN, F., 1958: Wald und Mensch: Theorie und Praxis der Waldgeschichte. Ravensburg, Maier. 283 p.
- [27] LANDOLT, E., 1862: Rapport au Conseil fédéral sur les forêts des hautes montagne de la Suisse. Lausanne, Corbaz et Rouiller fils. 366 p.
- [28] BERGMANN, F., 1977: The allelic distribution at an acid phosphatase locus in Norway spruce (*Picea abies*) along similar climatic gradients. *Theor. Appl. Genet.* 52, 57–64.
- [29] HOLZER, K., 1977: Die Kulturkammertestung zur Erkennung des Erbwertes bei Fichte (*Picea abies* (L.) Karsten). *Centralbl. Forstwes.* 94, 3, 129–147.
- [30] ELLENBERG, H., 1986: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. Stuttgart, Ulmer. 520 p.
- [31] BÄTZING, W., 1991: Die Alpen. Entstehung und Gefährdung einer europäischen Kulturlandschaft. München, Beck. 56 p.
- [32] FURRER, E., 1955: Probleme um den Rückgang der Arve (*Pinus cembra*) in den Schweizer Alpen. *Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Mitteilungen EAFV* 31, 3, 669–705.
- [33] YOUNG, A.G.; BOYLE, T.J., 2000: Forest Fragmentation. In: Young, A.G.; Boyle, T.J. (Hrsg.): *Forest Conservation Genetics*. Wallingford, CABI. 123–134.
- [34] Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ); Eidgenössische Anstalt Forstliches Versuchswesen (EAFV), 1988: Folgen der Waldschäden auf die Gebirgsgewässer der Schweiz. Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau Hydrologie und Glaziologie, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ), Eidgenössische Anstalt Forstliches Versuchswesen (EAFV). 41 p.
- [35] GROSSMANN, H., 1972: Flösserei und Holzhandel aus den Schweizer Bergen bis zum Ende des 19. Jahrhunderts. *Mitt. Antiquar. Ges. Zürich* 46, 1–85.
- [36] MÜLLER, U., 1990: Schutzwaldaufforstungen des Staates Freiburg im Senseoberland: Forstpolitische Massnahmen des Staates Freiburg seit 1850 am Beispiel der Schutzwaldaufforstungen im Flyschgebiet des Senseoberlandes. Freiburg, 258 p.
- [37] LEIBUNDGUT, H., 1986: *Unsere Gebirgswälder*. Bern, Haupt. 84 p.

- [38] DIETIKER, F., 1998: Historische Studie zur Herkunft von Saatgut. Unveröffentlichter Bericht. Birmensdorf, WSL/BUWAL. 65 p.
- [39] ENGLER, A., 1905: «Provenienzfragen». Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes., Mitt. 8, 81–236.
- [40] NÄGELI, W., 1931: Einfluss der Herkunft des Samens auf die Eigenschaften forstlicher Holzgewächse. Mitt. Schweiz. Centralanst. Forstl. Versuchswesen 17, 1: 150–237.
- [41] GREGER, O., 1992: Erfassung von Relikten des autochthonen Fichtenvorkommens im Hochharz. Mitt. Niedersächs. Landesforstverw. 44, 1–329.
- [42] STÄBLER, 1881: Die Prüfung der forstlichen Samen an der Eidgenössischen Samen-Control-Station in Zürich. Schweiz. Z. Forstwes. 5, 33–37.
- [43] SCHMIDT-VOGT, H., 1991: Die Fichte. Berlin, Parey. 342 p.
- [44] FISCHER, A., 1985: Waldveränderungen als Kulturlandschaftswandel, Kanton Luzern. Basler Beitr. Geogr. 32: 1–214.
- [45] GEBUREK, T.; THURNHER, G., 1993: Verändert sich der Genpool von Waldbeständen durch forstwirtschaftliche Massnahmen? Centralbl. Forstwes. 110, 49–62.
- [46] LEIBUNDGUT, H., 1984: Die Waldflege. Bern, Haupt. 214 p.
- [47] YAZDANI, R.; MUONA, O.; RUDIN, D.; SZMIDT, A.E., 1985: Genetic structure of a *Pinus sylvestris* seed tree stand and naturally regenerated understory. Forest Sci. 31, 430–436.
- [48] HUSSENDÖRFER, E., 1996: Wird «Biodiversität» durch eine künstliche Bestandesbegründung beeinflusst? In: Müller-Starck, G. (Hrsg.): Biodiversität und nachhaltige Forstwirtschaft. Landsberg, Ecomed. 160–176.
- [49] MÜLLER-STARCK, G., 1991: Genetic processes in seed orchards. In: Giertych, M.; Mátyás, C. (Hrsg.): Genetics of Scots Pine. Amsterdam, Elsevier. 147–162.
- [50] MUONA, O.; HARJU, A.; KÄRKÄINEN, K., 1988: Genetic comparison of natural and nursery grown seedlings of *Pinus sylvestris* using allozymes. Scand. J. For. Res. 3, 37–46.
- [51] KONNERT, M.; SCHMIDT, S., 1996: Genetische Konsequenzen der Grössensorientierung in der Baumschule: Erste Ergebnisse. In: Müller-Starck, G. (Hrsg.): Biodiversität und nachhaltige Forstwirtschaft. Landsberg, Ecomed. 222–238.
- [52] ZIEHE, M.; GREGORIUS, H.-R.; HERZOG, S., 1995: Populationsgrösse, genetische Variation und Anpassung – Betrachtungen zu Risiken für die forstliche Praxis bei der Bestandesbegründung. Mitt. Forstl. Vers.anst. Rheinland-Pfalz 34, 180–201.
- [53] BRASSEL, P.; BRÄNDLI, U.-B., 1999: Inventaire forestier national suisse. Résultats du deuxième inventaire 1993–1995. Birmensdorf, Haupt. 442 p.
- [54] OFS/OFEFP, 2000: La forêt et le bois en Suisse. Annuaire 2000. Neuchâtel, 169 p.
- [55] HOSIUS, B., 1993: Wird die genetische Struktur eines Fichtenbestandes von Durchforstungseingriffen beeinflusst? Forst und Holz 48, 11, 306–308.
- [56] KONNERT, M.; SPIECKER, H., 1996: Beeinflussen die Nutzungen einzelner Bäume die genetische Struktur von Beständen? AFZ/Wald 51, 23, 1284–1291.
- [57] HUSSENDÖRFER, E.; KONNERT, M., 2000: Untersuchungen zur Bewirtschaftung von Weisstannen- und Buchenbeständen unter dem Aspekt der Erhaltung genetischer Variation. For. Snow Landsc. Res. 75, 187–204.

- [58] BERGMANN, F.; RUETZ, W.F., 1991: Isozyme genetic variation and heterozygosity in random tree samples and selected orchard clones from the same Norway spruce populations. *Forest Ecol. Manag.* 46, 39–47.
- [59] LAUBER, U.; ROTACH, P.; HUSSENDÖRFER, E., 1997: Auswirkungen waldbaulicher Eingriffe auf die genetischen Strukturen eines Buchen- Jungbestandes (*Fagus sylvatica* L.). *Schweiz. Z. Forstwes.* 148, 847–862.
- [60] THIÉBAUT, B.; COMPS, B.; LEROUX, A., 1992: Relation hauteur-génotype dans une régénération naturelle de hêtre (*Fagus sylvatica* L.), équienne et âgée de 18 ans. *Ann. Sci. For.* 49, 321–335.
- [61] MITTON, J.B.; GRANT, M.C., 1984: Associations among protein heterozygosity, growth rate and developmental homeostasis. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 15, 479–499.
- [62] ROTACH, P., 1994: Genetische Vielfalt und praktische forstliche Tätigkeit: Probleme und Handlungsbedarf. *Schweiz. Z. Forstwes.* 145, 12, 999–1020.
- [63] OFS/OFEFP, 1997: L'environnement en Suisse. Berne, 68–76.
- [64] LARSEN, J.B., 1986: Das Tannensterben: Eine neue Hypothese zur Klärung des Hintergrundes dieser rätselhaften Komplexkrankheit der Weisstanne (*Abies alba* Mill.). *Forstwiss. Cbl.* 105, 381–396.
- [65] BERGMANN, F.; GREGORIUS, H.-R.; LARSEN, J.B., 1990: Levels of genetic variation in European silver fir (*Abies alba*). Are they related to the species' decline? *Genetica* 82, 1–10.
- [66] IPCC, 2001: WGI Third Assessment Report. Summary for Policymakers. <http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf>.
- [67] Ministerial Conference for the Protection of Forests in Europe, 1990: Resolution S2: Conservation of Forest Genetic Resources. First Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. Strasbourg.
- [68] Ministerial Conference for the Protection of Forests in Europe, 1993: Resolution H2: General Guidelines for the Conservation of the Biodiversity of European Forests. Second Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. Helsinki.
- [69] UNEP (United Nations Environment Programme), 1992: Convention on Biological Diversity. UNEP/Bio.Div./CONF/L.2.
- [70] <http://www.biodiv.org>.
- [71] BOLLIGER, M., 1996: Favoriser la biodiversité en forêt. *Bulletin de l'OFEFP* 3/96, 3, 48–52.
- [72] OFEFP, 1998: Sylviculture proche de la nature. Berne, 81 p.
- [73] LEIBUNDGUT, H., 1984: Die natürliche Waldverjüngung. Bern, Haupt. 115 p.
- [74] MAYER, H., 1984: Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. Stuttgart, Fischer. 513 p.
- [75] STÖCKLI, B.; KUHN, N., 1997: Gestaltung des Lebensraumes Wald; Tod und Leben liegen nahe beieinander. *Natur + Mensch* 1, 18–25.
- [76] MÜLLER-STARCK, G.; ZIEHE, M.; BERGMANN, F.; HATTEMER, H.H., 1982: Die Samenplantage als Instrument der Vermehrung von Waldbäumen. *Allg. Forst- u. Jagdz.* 153, 220–229.
- [77] FILLBRANDT, T., 1997: Pflanzungen im Gebirgswald zur Nachahmung natürlicher Rotten. *Schweiz. Z. Forstwes.* 148, 1, 73–92.
- [78] SCHÖNENBERGER, W.; FREY, W.; LEUENBERGER, F., 1991: Écologie et technique d'afforestation en montagne. Birmensdorf. Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage, 59 p.

- [79] SCHMIDT, L.H., 1994: Tree breeding glossary. Regional project on improved productivity of man-made forests through application of technological advances in tree breeding and propagation (RAS/91/004). Philippines, UNDAP/FAO.
- [80] SOULÉ, M., 1980: Thresholds for surviving: maintaining fitness and evolutionary potential. In: Wilcox, B.; Soulé, M. (Hrsg.): Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective. Sunderland, Sinauer. 151–169.
- [81] MÜLLER-STARCK, G., 1995: Genetic variation in high elevated populations of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Switzerland. *Silvae Genet.* 44, 5–6, 356–362.
- [82] INDERMÜHLE, M.; KAUFMANN, G.; STEIGER, P., 1998: Konzept Waldreservate Schweiz: Schlussbericht des Projektes Reservatspolitik der Eidgenössischen Forstdirektion. rapport non publié. Berne, Direction fédérale des forêts.
- [83] HATTEMER, H.H.; BERGMANN, F.; ZIEHE, M., 1993: Einführung in die Genetik für Studierende der Forstwirtschaft. Frankfurt, Sauerländer. 438 p.
- [84] BARENGO, N.; RUDOW, A.; SCHWAB, P., 2001: Favoriser les essences rares au Nord des Alpes suisses. Zurich, OFEFP, EPF Zurich.
- [85] MARKGRAF, V., 1969: Moorkundliche und vegetationsgeschichtliche Untersuchungen an einem Moorsee an der Waldgrenze im Wallis. *Bot. Jahrb. Syst.* 89, 1–63.
- [86] WELTEN, M., 1958: Die spätglaziale und postglaziale Vegetationsentwicklung der Berner Alpen und Voralpen und des Walliser Haupttales. *Veröff. Geobot. Inst.* 34, 150–158.
- [87] KONNERT, M.; BERGMANN, F., 1995: The geographical distribution of genetic variation of silver fir (*Abies alba*, Pinaceae) in relation to its migration history. *Pl. Syst. Evol.* 196, 19–30.
- [88] BURGA, C.; PERRET, R., 1998: Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter. Thun, Ott. 805 p.
- [89] LINGG, W., 1986: Ökologie der inneralpinen Weisstannenvorkommen (*Abies alba* Mill.) im Wallis (CH). *Mitt. Eidg. Anst. Forstl. Versuchswes.* 62, 3, 331–466.
- [90] MAYER, H., 1962: Waldbauliche Aspekte der Entstehung des nordalpinen Tannen-Buchen-Waldes. *Schweiz. Z. Forstwes.* 113, 369–385.
- [91] ZOLLER, H., 1964: Zur postglazialen Ausbreitungsgeschichte der Weisstanne (*Abies alba* Mill.) in der Schweiz. *Schweiz. Z. Forstwes.* 115, 681–700.
- [92] WELTEN, M., 1982: Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen in den westlichen Schweizeralpen: Bern-Wallis. *Denkschr. Schweiz. Natf. Ges.* 95, 1–104.
- [93] LINGG, W., 1983: Waldbauliche Bedeutung und geographische Verbreitung der Weisstanne im Wallis ausserhalb des Buchenareals. *Bull. Murith.* 100, 117–128.
- [94] BURGA, C., 1988: Swiss vegetation history during the last 18000 years. *New Phytol.* 110, 581–602.
- [95] HUSSENDÖRFER, E., 1997: Untersuchungen über die genetische Variation der Weisstanne (*Abies alba* Mill.) unter dem Aspekt der *in situ* Erhaltung genetischer Ressourcen in der Schweiz. *Beih. Schweiz. Z. Forstwes.* 83, 115.
- [96] WSL, 1997: Schweizerisches Landesforstinventar LFI. Datenbankauszug zur Erhebung 1983-85 vom 16. Oktober 1997. U.-B. Brändli. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf.

Index

1 Glossaire

adaptabilité

potentiel ou capacité d'une population à s'adapter aux changements des conditions environnementales à travers des changements de sa structure génétique.

adaptation

état d'une population qui lui permet de survivre dans certaines conditions environnementales et de se reproduire de manière durable.

adaptation, par évolution

processus de modification évolutive des structures génétiques dans une population qui, à la suite du changement des conditions environnementales, conduit à une nouvelle adaptation.

ADN

acide désoxyribonucléique (en anglais DNA); macromolécule qui est le support des informations héréditaires (gènes) et ainsi le manuel de construction d'un être vivant. L'ADN est localisé principalement dans le noyau de la cellule; on le trouve cependant aussi dans les mitochondries et les chloroplastes.

allèle

variante particulière d'un *gène*.

autochtone

adapté aux conditions de la station locale après l'effet naturel de la sélection durant de nombreuses générations.

capacité d'adaptation

voir adaptabilité.

caractère génétique

caractère dont l'expression est induite par les informations d'un gène et n'est donc pas uniquement influencée par l'environnement.

clone

groupe d'individus génétiquement identiques issu à l'origine d'un individu unique, p. ex. par multiplication végétative.

conservation génétique

activité axée sur la conservation des ressources génétiques.

dérive (génétique)

modification aléatoire des fréquences alléliques dans une *population*. Les fréquences alléliques varient de manière aléatoire dans des petites populations, ce qui peut entraîner la perte d'*allèles*.

diversité génétique

nombre de *génotypes* différents ou d'*allèles* dans une *population*.

écotype

race liée à une station. Parmi les espèces de plantes dont la répartition des présences est très large, on constate une adaptation aux conditions spécifiques de la station qui s'exprime par des modifications morphologiques et physiologiques; cette adaptation s'est faite au cours du temps par une dissémination naturelle et par *sélection*. Pour autant que ces modifications soient fixées génétiquement, elles conduisent à la formation de nouvelles races que l'on désigne aussi par le terme d'*écotypes*.

électrophorèse

séparation de diverses molécules (p. ex. *enzymes*, fragments d'*ADN*) dans un champ électrique en utilisant les différences de charges et/ou la grandeur des molécules.

enzyme

protéine qui catalyse les réactions métaboliques d'un organisme.

évolution

Développement des organismes au cours de l'histoire naturelle, sous l'effet, entre autres, de la sélection engendrée par les conditions de l'environnement.

ex situ

en dehors du milieu de croissance originel d'une *population* (cf. *in situ*).

flux de gènes

échange des informations héréditaires à l'intérieur et entre les *populations*. Cet échange se fait principalement par la diffusion des cellules germinatives: p. ex. spores, pollen, gamètes, graines, etc.

gamète

cellule sexuelle mâle ou femelle.

gène

facteur héréditaire (unité d'information génétique) localisé sur l'*ADN* à un endroit précis (*locus*). L'ensemble de tous les gènes détermine la structure et la conduite d'un organisme.

génome

ensemble de tous les *gènes* qui caractérisent un organisme.

génotype

(1) ensemble ou parties du patrimoine génétique qui caractérisent un individu.
(2) Les deux allèles d'un individu situés sur un locus et hérités de chaque parent.

grandeur de population (effective)

nombre d'individus d'une population qui participent avec succès à la reproduction de la descendance.

hétérozygote

individu pour qui le patrimoine génétique issu du père et de la mère (*allèles*) est différent au locus considéré.

homozygote

individu pour qui le patrimoine génétique issu de la mère et du père (*allèles*) est identique au locus considéré.

in situ

dans le milieu de croissance originel d'une population (cf. *ex situ*).

isoenzyme

variante d'une *enzyme* qui possède des fonctions identiques ou très semblables mais se différencie par sa structure.

locus

gènes localisés à des emplacements déterminés sur l'ADN que l'on désigne comme locus (pluriel loci).

locus polymorphe

locus pour lequel on a trouvé plus d'un seul type d'*allèle*.

marqueur génétique

caractère génétique qui a été étudié de manière à pouvoir identifier clairement les *gènes* participant à l'expression du caractère.

métapopulation

population régionale, composée de populations locales. Il existe un échange de gènes entre les populations locales. La possibilité de coloniser des habitats adaptés et ainsi de fonder de nouvelles populations locales existe, ce qui permet de compenser les populations locales qui ont disparu.

mutation

modification spontanée ou provoquée du patrimoine génétique (*ADN*).

nucléotide

élément de base de l'*ADN*, qui existe en quatre variantes caractérisées par quatre bases; l'adénine, la cytosine, la guanine et la thymine.

origine

terme forestier pour désigner l'emplacement sur lequel grandit une *population* d'arbres forestiers *autochtones* ou l'emplacement d'où est issue une *population* non autochtone.

phénotype

forme sous laquelle apparaît un individu qui englobe toutes les caractéristiques intérieures et extérieures qui résultent de l'action combinée du *génotype* et de l'environnement.

pool génique (réservoir de gènes)

ensemble du patrimoine génétique ou certaines parties (p. ex. les *allèles* sur un ou plusieurs *loci*) présentes dans une *population* ou sur un certain territoire.

population

communauté de reproduction des individus d'une espèce.

provenance

terme forestier désignant l'emplacement sur lequel se situe un peuplement d'arbres *autochtones* ou non qui est utilisé pour la récolte de graines, pollens ou de plantes.

race

population d'une espèce qui colonise une certaine aire et se différencie des autres populations de la même espèce par des fréquences de gènes caractéristiques (cf. aussi *écotype*).

ressource génétique

matériel biologique qui contient des informations génétiques d'une valeur actuelle ou potentielle.

sélection

action sélective naturelle ou artificielle d'après certains critères, caractéristiques ou propriétés.

sélection massale

mode d'élevage basé sur la sélection d'individus d'une population selon leur phénotype.

structure génétique

répartition de la fréquence des *allèles* (structure allélique) et des *génotypes* (structure génotypique) dans une *population*.

taux d'hétérozygotie

pourcentage de loci *hétérozygotes* pour un seul arbre, respectivement pourcentage moyen de tous les arbres d'une population.

variation génétique

différences dans l'information héréditaire entre des individus de la même espèce.

2 Figures

Figure 1 Expression visible de la diversité génétique.	13
Figure 2 Différence de réaction entre deux clones d'épicéas à de très fortes concentrations d'ozone dans une serre.	14
Figure 3 Analyse isoenzymatique sur le système PGI (phosphoglucose-isomérase) de dix chênes différents.	17
Figure 4 La variation génétique entre populations.	18
Figure 5 Recolonisation.	20
Figure 6 Surexploitation.	21
Figure 7 Reboisements.	22
Figure 8 La régénération naturelle.	24
Figure 9 Régénération.	32
Figure 10 Récolte de semences.	34
Figure 11 Dégâts dus au gibier.	37
Figure 12 Forêt IGP.	39
Figure 13 Régions biogéographiques.	41
Figure 14 Le sapin en Valais.	45
Figure 15 L'aire de répartition actuelle du sapin blanc en Europe.	46
Figure 16 Différenciation des populations de sapins blancs suisses et italiens.	47
Figure 17 Forêt IGP de sapin de l'Ochsenboden.	48
Les forêts d'un intérêt génétique particulier	59

3 Mots-clés

A			
adaptation par évolution	14	forêts IGP	28, 29
adaptation physiologique	14	fructification	31
aides financières	37	G	
allèle	16	gestion des ressources génétiques	30
analyse des isoenzymes	16	glaciations	19
arbitrage	38	H	
arbre semencier	33	Helsinki 1993	27
arbres parents	31	hétérozygotie	25
autochtone	42	histoire de la recolonisation postglaciaire	19
B		L	
biodiversité	13	Lisbonne 1998	27
C		loi forestière	21
cadastré national des forêts IGP	36	M	
conduite des coupes	31	matériel de reproduction	28, 33
consanguinité	39	mesures particulières de conservation	
conservation des espèces	30	génétique	30, 36
convention, propriétaire forestier	35	métapopulation	40
convention, service cantonal des forêts	35	modification du climat	18, 26
D		monitorage	38
déclaration de principe IGP	34, 36	morcellement	20
déclaration des ressources génétiques	30	morphologie	42
dégâts aux forêts	25	N	
dérive génétique	30, 38	noyer de population	41
destruction des forêts	20	P	
diversité génétique	13	période de régénération	31
E		plan de gestion forestier	36
écartement de plantation	32	plan directeur forestier, PDF	36
électrophorèse	16	planche de semis	33
enzyme	16	planification de la régénération	38
essai de provenance	17	planification forestière	36
essences rares	28	plantation	22, 32
EUFORGEN	27		
		pleine fructification	31, 33
		population	15
		provenance	22, 33
		provenance locale	30
		provenances introduites	32
		R	
		race locale	17, 30
		reboisement	21
		récolte de semences	33
		régénération artificielle	23, 24, 30, 32
		régénération naturelle	23, 24, 30, 31
		région biogéographique	41
		réserve forestière	42
		réserves génétiques	29
		Rio de Janeiro 1992	27
		S	
		sélection	14
		semis	22
		Strasbourg 1990	27
		stress environnemental	25
		substances polluantes	25
		surexploitation	20
		sylviculture	18, 23
		sylviculture proche de la nature	30
		T	
		taux d'hétérozygotie	15, 25
		travail du sol	31
		V	
		vol pollinique	39
		Z	
		zones de refuge	19