

# Dynamique évolutive de la forêt au Sud des Alpes suisses

Fabrizio Cioldi<sup>1, \*</sup>, Marco Conedera<sup>1</sup>, Fulvio Giudici<sup>1</sup>, Anne Herold<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage, WSL (CH)

## Résumé

La surface forestière du Sud des Alpes suisses a plus que doublé en 120 ans, avec une accélération importante de cette croissance après la Seconde Guerre mondiale. En utilisant les données de l'Inventaire forestier national (IFN), l'article décrit la structure, la composition et l'évolution des forêts de cette région, en distinguant les forêts établies avant 1940, celles formées entre 1940 et 1985, ainsi que celles établies après 1985. En raison de difficultés structurelles et environnementales, la forêt a évolué de manière naturelle depuis plusieurs décennies sans véritable gestion régulière. Cette évolution conduit au vieillissement progressif des forêts de plus en plus denses et sombres, qui finit par favoriser les essences intermédiaires et surtout finales, en particulier le hêtre. Les espèces pionnières, en revanche, sont en fort déclin dans les forêts établies depuis longtemps et pour elles – le bouleau et le mélèze en particulier – les zones boisées de formation récente représentent un refuge important. En outre, les analyses mettent en évidence la rareté de la régénération, particulièrement importante pour garantir la stabilité des forêts à moyen et long terme, mais elles montrent aussi l'effet bénéfique des interventions sylvicoles sur l'abondance du rajeunissement. Les extrêmes climatiques, en particulier les sécheresses de plus en plus fréquentes, intensifient encore la concurrence entre les espèces. Dans ce cadre, le châtaignier – essence symbolique du Sud des Alpes – est en grande difficulté, surtout dans les stations fortement exposées au soleil et à la pénurie d'eau. Les résultats de l'IFN montrent effectivement une forte mortalité du châtaignier au cours des trois dernières décennies.

**Keywords:** forest area, stem number, growing stock, basal area, mortality, chestnut, forest management

**doi:** 10.3188/szf.2021.0318

\* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, courriel [fabrizio.cioldi@wsl.ch](mailto:fabrizio.cioldi@wsl.ch)

La surface forestière du Sud des Alpes suisses a évolué continuellement au cours des derniers siècles, passant d'une période de surexploitation et de régression culminant dans la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle à la phase de reconstitution et de progression encore en cours aujourd'hui (Ceschi 2014). Selon Ginzler et al (2011), la recolonisation du territoire par la forêt a d'abord été lente puis s'est accélérée après la fin de la Seconde Guerre mondiale, conséquence directe de la transformation profonde de la gestion du territoire liée à la transition d'une société principalement agricole à une société industrielle et de services.

La gestion des forêts s'est elle aussi transformée, avec l'abandon presque total des châtaigneraies, la réduction du pâturage en liberté des chèvres, la disparition progressive de l'exploitation des forêts à des fins économiques et la pression croissante du gi-

bier sur le rajeunissement des forêts (Krebs et al 2014). Les forêts du Sud des Alpes accumulent la biomasse ligneuse et représentent de facto des réserves forestières naturelles, comme le décrivent Portier et al (2020). Une évolution positive d'un point de vue naturaliste et de stockage du carbone, mais qui soulève plusieurs questions au regard de la typologie et de la fonctionnalité des forêts du futur, de la diversité des espaces vitaux ainsi que des dangers naturels tels que les incendies de forêt.

Dans cette contribution, la dynamique actuelle des forêts du Sud des Alpes est analysée à partir des données de l'Inventaire forestier national (IFN) afin d'obtenir une image détaillée des caractéristiques, de la composition et de l'évolution de la surface boisée et en particulier des différences dans l'évolution des forêts «gérées» par rapport à celles laissées à la dynamique naturelle.

## Matériel et méthodes

### Région étudiée et horizon temporel

La zone de référence pour cette étude est la région de production du Sud des Alpes suisses, qui dans la définition de l'IFN comprend le canton du Tessin et les vallées de Calanca, Mesolcina et Poschiavo du canton des Grisons.

Les données sur la structure et la composition en espèces des forêts sont basées sur les relevés des quatre inventaires forestiers, réalisés respectivement en 1983–1985 (IFN1), 1993–1995 (IFN2), 2004–2006 (IFN3), puis dilués sur neuf ans (2009–2017) dans l'IFN4, pour une durée moyenne d'environ 30 ans entre la première et la dernière campagne de relevés.

### Stratification des données

Les paramètres forestiers relevés dans l'IFN sont décrits dans Düggelin et al (2019) et sont disponibles pour toutes les placettes forestières situées aux intersections de la grille d'échantillonnage systématique de  $1.41 \times 1.41$  km (Lanz et al 2019).

En ce qui concerne l'évolution de la surface forestière, trois catégories différentes de forêts ont été considérées selon leur période d'établissement: 1) les forêts qui se sont constituées après 1985 (représentées par toutes les placettes classées pour la première fois comme forêt à partir de l'IFN2), 2) la zone devenue forêt entre 1940 et 1985 et 3) la forêt existant déjà avant 1940 selon la reconstruction de Ginzler et al (2011) sur la base de cartes historiques. Cette distinction permet d'affiner la description de la struc-

ture et de la composition des forêts, ainsi que de leur évolution.

La différenciation altitudinale des résultats présente deux niveaux de détail selon le type d'analyse, à savoir les étages de végétation ou leur regroupement en «zones inférieures» (étages collinéen, submontagnard et montagnard inférieur) et «zones supérieures» (étages montagnard supérieur, subalpin inférieur et supérieur) ainsi qu'ils sont définis dans Cioldi et al (2020). Le seuil altitudinal entre les zones inférieures et supérieures est fixé au Sud des Alpes à 1100–1200 m au-dessus du niveau de la mer, selon les conditions locales (Keller 1978).

Pour décrire l'évolution de la composition de la forêt, les différentes espèces ont été regroupées selon leurs caractéristiques écologiques et leur dynamique de croissance dans les catégories suivantes (adapté sur la base de Conedera et al 2021):

Espèces pionnières: mélèze (*Larix decidua*), pins (*Pinus* ssp.), aulnes (*Alnus* ssp.), bouleaux (*Betula* ssp.), cytise (*Laburnum anagyroides*), peupliers (*Populus* ssp.), robinier (*Robinia pseudoacacia*), saules (*Salix* ssp.).

Espèces finales: sapin blanc (*Abies alba*), arole (*Pinus cembra*), if (*Taxus baccata*), hêtre (*Fagus sylvatica*), charme (*Carpinus betulus*), tilleuls (*Tilia* ssp.), chêne chevelu (*Quercus cerris*), houx (*Ilex aquifolium*).

Espèces intermédiaires: toutes les autres espèces excepté le châtaignier, en particulier les frênes (*Fraxinus* ssp.), les érables (*Acer* ssp.), le charme houblon (*Ostrya carpinifolia*) et l'épicéa (*Picea abies*). Ce dernier peut prendre le caractère d'espèce intermé-



Fig. 1 Gresso, dans la vallée d'Onsernone (TI). Vastes zones boisées avec des forêts de tilleuls au fond de la vallée d'Isorno, des hêtraies denses sur les pentes exposées au nord et des forêts de bouleaux et de feuillus mixtes autour des habitations, dans les zones autrefois cultivées et récemment colonisées par la forêt. Photo: Urs-Beat Brändli

| Étages de végétation |                         | Forêt établie |          |            |                    |          |            |             |          |            | Forêt IFN4   |          |            |
|----------------------|-------------------------|---------------|----------|------------|--------------------|----------|------------|-------------|----------|------------|--------------|----------|------------|
|                      |                         | avant 1940    |          |            | entre 1940 et 1985 |          |            | après 1985  |          |            |              |          |            |
|                      |                         | 1000 ha       | ± %      | n          | 1000 ha            | ± %      | n          | 1000 ha     | ± %      | n          | 1000 ha      | ± %      | n          |
| zones supérieures    | subalpin supérieur      | 3.7           | 23       | 19         | 5.4                | 19       | 28         | 11.0        | 13       | 56         | 20.1         | 9        | 103        |
|                      | subalpin inférieur      | 9.7           | 14       | 50         | 9.6                | 14       | 50         | 7.6         | 16       | 39         | 26.9         | 8        | 139        |
|                      | montagnard supérieur    | 18.9          | 9        | 96         | 17.8               | 10       | 92         | 7.1         | 16       | 37         | 43.9         | 5        | 225        |
| zones inférieures    | montagnard inférieur    | 9.3           | 14       | 46         | 10.6               | 13       | 54         | 3.7         | 23       | 19         | 23.7         | 8        | 119        |
|                      | collinéen/submontagnard | 17.7          | 10       | 85         | 22.0               | 8        | 107        | 4.0         | 22       | 20         | 43.6         | 5        | 212        |
| <b>Total</b>         |                         | <b>59.3</b>   | <b>5</b> | <b>296</b> | <b>65.6</b>        | <b>4</b> | <b>331</b> | <b>33.4</b> | <b>7</b> | <b>171</b> | <b>158.3</b> | <b>2</b> | <b>798</b> |

**Tab. 1** Surface de la forêt accessible sans la forêt buissonnante (en 1000 ha), selon sa période d'établissement et en fonction de l'étage de végétation,  $\pm$  erreur standard (en %). n: nombre de placettes.

diaire ou finale selon la station sur laquelle il se trouve. Il a typiquement le caractère d'espèce finale à l'étage subalpin où les écotypes dominants sont les épicéas à rameaux en brosse ou étalés, mais il est aussi largement répandu sous sa forme à rameaux pendants et en mélange avec d'autres espèces dans les forêts plus productives des altitudes inférieures. Pour cette étude nous avons choisi de classer l'épicéa comme espèce intermédiaire, étant donné sa tendance à coloniser des espaces abandonnés par l'agriculture en montagne.

Châtaignier: le châtaignier (*Castanea sativa*) a été classé à part en raison de son importance historique et de sa forte dépendance de l'intervention humaine en ce qui concerne sa compétitivité dans les peuplements forestiers (Conedera et al 2001).

La distinction entre les forêts avec au moins une intervention sylvicole entre l'IFN1 et l'IFN4 et celles sans intervention a été établie sur la base des informations collectées lors des enquêtes auprès des services forestiers locaux (Fischer & Fraefel 2019).

Toutes les analyses ont été effectuées avec le logiciel spécifique NAFIDAS (Traub et al 2019).

## Résultats

### Evolution et caractéristiques actuelles de la forêt

#### Evolution de la surface forestière

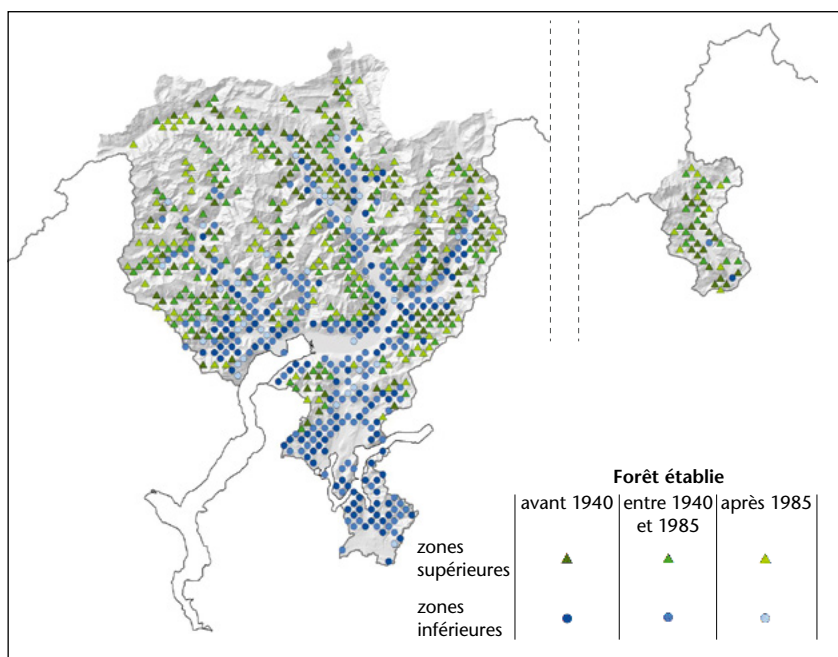
Selon l'IFN4, dans le Sud des Alpes, la surface forestière totale (y compris la forêt buissonnante et la forêt inaccessible) s'élève à 192 100 ha, dont 117 700 ha (61%) sont situés dans les zones supérieures et 74 400 ha (39%) dans les zones inférieures (Cioldi et al 2020). Le taux de boisement correspond ainsi à 54%, pratiquement le double de celui des Alpes et du Plateau (figure 1).

Au cours des trois décennies entre l'IFN1 et l'IFN4, la surface forestière a augmenté d'environ 30 000 ha. En pourcentage, l'augmentation a été de 5% entre 1985 et 1995 (IFN1–IFN2), a culminé à 10% entre 1995 et 2005, puis a diminué à 2% au cours de la dernière période (IFN3–IFN4).

La plupart des données relevées par l'IFN permettant de suivre l'état et l'évolution de la forêt ne sont pas disponibles pour les zones boisées inaccessibles, ni pour la forêt buissonnante. C'est pourquoi l'aire forestière de référence correspond le plus souvent à la forêt accessible sans la forêt buissonnante. Celle-ci s'étend selon l'IFN4 sur 158 300 ha (tableau 1, figure 2). En 1940, cette étendue n'était que de 59 300 ha (c'est-à-dire 37.5% de la surface actuelle), puis elle a plus que doublé au cours des 45 années suivantes pour atteindre 124 900 ha (78.9%) en 1985. La surface de forêt qui s'est constituée après 1985 s'élève quant à elle à 33 400 ha et correspond donc à environ la moitié de la surface qui est devenue forestière entre 1940 et 1985. Il convient de noter que ces forêts récemment formées ont en grande partie colonisé les stations les plus éloignées et les plus inaccessibles en altitude (25 700 ha, soit plus des trois quarts d'entre elles), c'est-à-dire là où l'avancement de la forêt n'est pas en conflit avec des intérêts liés à d'autres types d'utilisation du sol tels que la construction, l'agriculture ou les voies de communication (figure 2).

#### Nombre de tiges (densité) et volume de bois

Dans les forêts du Sud des Alpes, la densité moyenne d'arbres vifs à partir de 12 cm de diamètre



**Fig. 2** Placettes de forêt accessible sans la forêt buissonnante (IFN4) selon sa période d'établissement et la zone altitudinale.



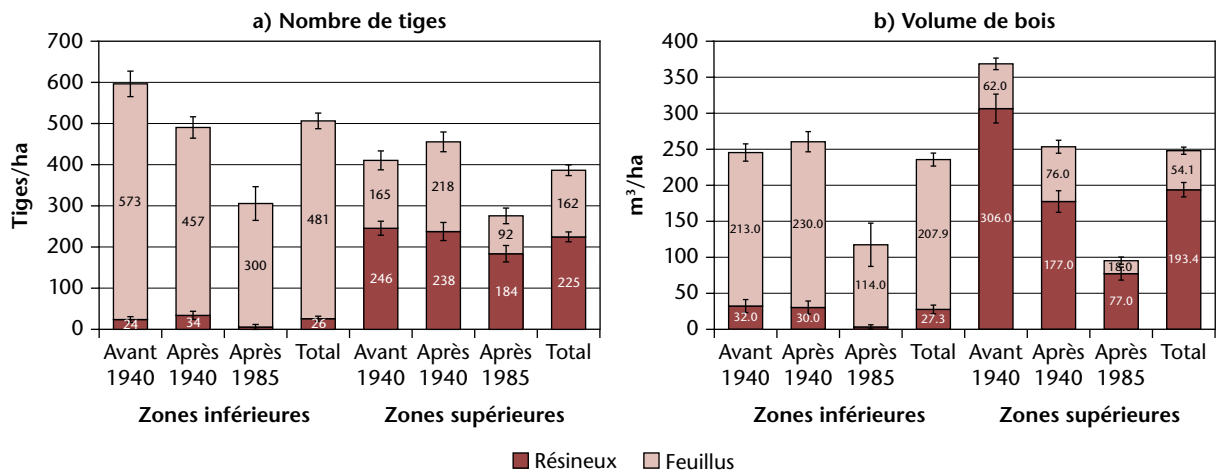


Fig. 3 a) Nombre de tiges (densité; en tiges/ha) et b) volume de bois (en m<sup>3</sup>/ha) des conifères et des feuillus, selon les zones altitudinales et la période d'établissement de la forêt, ± erreur standard.

à hauteur de poitrine (DHP) est de 439 tiges/ha, dont environ un tiers sont des conifères et deux tiers des feuillus. Les forêts de basse altitude sont beaucoup plus denses que celles de haute altitude (507 resp. 388 tiges/ha) et dans les zones inférieures les forêts les plus vieilles (datant d'avant 1940) sont aussi les plus denses, avec près de 600 tiges/ha contre les 491 tiges/ha des forêts apparues entre 1940 et 1985 (figure 3a). En altitude, la situation est différente, les forêts plus récentes (1940–1985) ayant une densité plus élevée que les plus anciennes (456 resp. 411 tiges/ha), surtout à cause du plus grand nombre de feuillus qu'elles abritent. Les forêts récemment formées (après 1985) présentent quant à elles des structures nettement moins denses, variant entre 276 tiges/ha en zones supérieures avec une prévalence de conifères et 300 tiges/ha en zones inférieures.

Le volume de bois des arbres vifs à partir de 12 cm de DHP est en moyenne de 242 m<sup>3</sup>/ha, assez

bien réparti entre les conifères et les feuillus si l'on considère les forêts du Sud des Alpes dans leur ensemble. Il est légèrement moindre dans les zones inférieures (235 m<sup>3</sup>/ha), avec une proportion de 88% de feuillus (figure 3b). Dans les zones supérieures, les conifères constituent 78% du volume de bois (248 m<sup>3</sup>/ha). En général, les forêts établies avant 1985 contiennent beaucoup plus de bois que celles récemment formées. A basse altitude, les forêts établies avant 1985 contiennent environ 250 m<sup>3</sup>/ha de bois en moyenne, sans grande différence entre les forêts plus ou moins anciennes, tandis qu'à plus haute altitude les forêts les plus anciennes sont nettement plus riches en bois, malgré leur densité plus faible, que celles apparues entre 1940 et 1985 (368 resp. 253 m<sup>3</sup>/ha) et contiennent presque quatre fois le volume des forêts les plus récentes (95 m<sup>3</sup>/ha).

#### Composition en essences

Dans les zones inférieures, où les feuillus dominent, près d'un arbre sur trois est un châtaignier (31%, présent jusqu'à environ 1000 m d'altitude), tandis que le hêtre (17%) et le bouleau (10%) sont fréquents à partir de 800 m d'altitude (figure 4). En dessous de 800 m, on trouve également une certaine abondance de charmes houblon (7%, surtout sur les sols calcaires) et de frênes (6%). Les essences qui suivent, en ordre d'abondance, à savoir les chênes, les tilleuls (principalement le tilleul à petites feuilles), l'épicéa, les érables (principalement le sycomore) et le robinier, atteignent des pourcentages compris entre 2 et 5%.

En haute altitude, où prédominent les conifères, près d'un tiers des arbres sont des épicéas (32%) et plus d'un cinquième des mélèzes (22%, présents principalement au-dessus de 1600 m). En outre, on trouve souvent du hêtre (21%) en association avec les conifères jusqu'à 1600 m d'altitude. Les bouleaux (presque exclusivement le bouleau verruqueux, figure 5) suivent avec 9%, puis avec des pourcentages inférieurs à 5% – mais supérieurs à 2% – le sapin

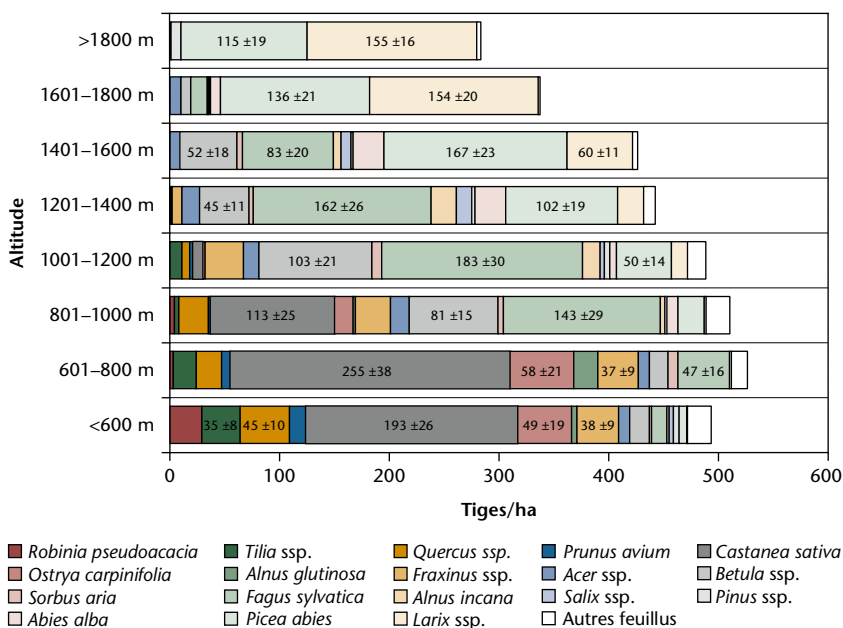


Fig. 4 Distribution altitudinale des 18 espèces d'arbres les plus fréquentes au Sud des Alpes, exprimée en nombre de tiges/ha, ± erreur standard.



Fig. 5 Forêt pionnière de bouleaux presque pure dans la région de Capriasca (TI), dans des stations aux sols rocheux et peu profonds où ne pousse pratiquement aucune espèce concurrente. Photo: Simon Speich



Fig. 6 Vallée de Buffalora, Soazza (GR). Forêt de mélèzes qui s'est installée au cours des dernières décennies, à proximité de la limite supérieure des forêts entre 2000 et 2200 m d'altitude. Photo: Fulvio Giudici

zones supérieures par trois espèces: le mélèze (39% des arbres), l'épicéa (26%) et les bouleaux (20%). D'autres espèces d'accompagnement plus rares font également partie du mélange, comme l'érable sycomore, le hêtre, le sorbier des oiseleurs, le sapin blanc, les saules, le frêne commun et l'alisier blanc, tous présents en proportions inférieures à 5%.

Dans les zones inférieures, sur les 8000 hectares environ de forêt «récente», un bon cinquième des arbres sont des châtaigniers (21%), capables de s'installer dans des espaces ouverts non gérés, ainsi que d'autres espèces héliophiles ou à croissance rapide comme les bouleaux (17%), les frênes (13%), le hêtre et l'aulne blanc (9% chacun), l'érable sycomore et les saules (6%), suivis du merisier et des chênes avec moins de 5% chacun. Dans certains cas, les espèces invasives à caractère pionnier comme l'ailante commencent déjà à former des peuplements forestiers (Conedera & Brändli 2015).

### Intensité des interventions sylvicoles et effets sur la forêt

#### Interventions sylvicoles

Les relevés sur le terrain et les enquêtes effectués auprès des forestiers locaux indiquent que seul un quart des forêts du Sud des Alpes ont fait l'objet d'interventions au cours des trois dernières décennies (24%, soit environ 29 000 ha). Les interventions sont généralement de très faible intensité et dans la grande majorité des cas (environ 80%), elles ne prélèvent pas plus de 25% du volume de bois initial (tableau 2). La plupart de ces interventions sont occasionnelles et le volume annuel de bois récolté est faible, pas plus d'un cinquième de l'accroissement entre l'IFN3 et l'IFN4 par exemple (135 000 m<sup>3</sup> sur 657 000 m<sup>3</sup>), malgré une augmentation de l'activité de coupe par rapport à la décennie précédente. Les interventions sylvicoles les plus fréquentes ont été celles de nature phytosanitaire (7900 ha), suivies par les éclaircies sélectives (5600 ha). En outre, les interventions visant à maintenir ou améliorer la stabilité des forêts de montagne et celles ayant pour objectif le rajeunissement du peuplement ont également été pratiquées avec une certaine fréquence, ainsi que les récupérations agroforestières de sèves de châtaigniers et les coupes de réalisation ou de taillis.

#### Densité des peuplements et régénération

L'évolution de la surface terrière indique une augmentation constante entre l'IFN1 et l'IFN4, même dans les zones qui ont subi des interventions (figure 7). La faible intensité des interventions sylvicoles, avec un volume moyen de bois exploité plutôt modeste, soit 46 m<sup>3</sup>/ha de forêt gérée pour la période IFN2–IFN3 et 62 m<sup>3</sup>/ha pour la période IFN3–IFN4 (tableau 2), n'a donc pas eu d'effets significatifs en termes de réduction de la surface terrière. Considérant les forêts sans intervention sylvicole, si 38%

| Intensité des interventions                | IFN2–IFN3          |           |                | IFN3–IFN4          |           |                |
|--|--------------------|-----------|----------------|--------------------|-----------|----------------|
|  | Volume exploité    |           | Fréquence<br>n | Volume exploité    |           | Fréquence<br>n |
|  | m <sup>3</sup> /ha | ± %       |                | m <sup>3</sup> /ha | ± %       |                |
| faible (<25% du volume de bois initial)    | 31.1               | 23        | 61             | 38.0               | 21        | 60             |
| moyenne (25–50% du volume de bois initial) | 40.3               | 70        | 2              | 0.0                | –         | 0              |
| forte (>50% du volume de bois initial)     | 133.9              | 40        | 11             | 161.0              | 28        | 15             |
| <b>Total</b>                               | <b>46.3</b>        | <b>23</b> | <b>74</b>      | <b>62.4</b>        | <b>20</b> | <b>75</b>      |

Tab. 2 Volume de bois exploité (en m<sup>3</sup>/ha) classifié selon l'intensité des interventions sylvicoles pour les périodes IFN2–IFN3 et IFN3–IFN4, pour toutes les placettes avec au moins une intervention sylvicole pendant la période considérée, ± erreur standard (en %). n: nombre de placettes.

blanc, l'aulne blanc, l'érable sycomore et les frênes (surtout le frêne commun, mais au sud du Tessin également le frêne à fleurs, beaucoup plus rare).

La forêt récemment formée, relativement ouverte et composée de jeunes arbres plutôt petits (figure 6), est dominée sur les quelque 25 000 ha des

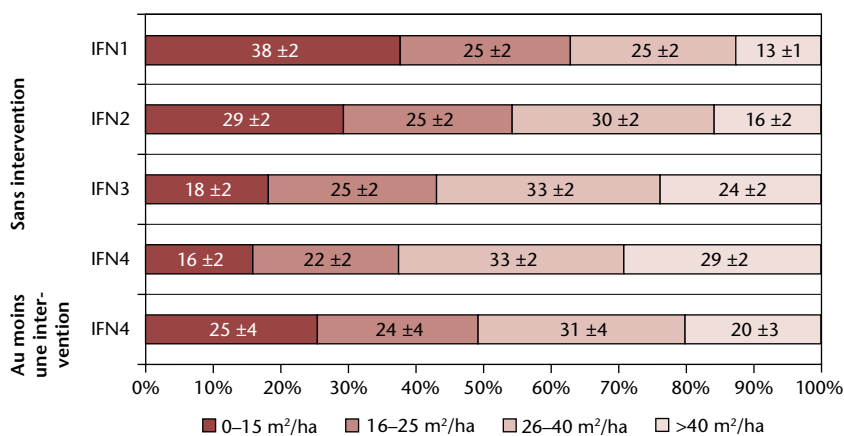


Fig. 7 Surface forestière (en %) selon l'inventaire et les classes de surface terrière, ± erreur standard.

d'entre elles avaient une surface terrière supérieure à 25 m<sup>2</sup>/ha dans l'IFN1, ce pourcentage est passé à 62% dans l'IFN4. Cette tendance se reflète autant dans les zones inférieures que supérieures, sans différence significative entre les forêts qui existaient avant 1940 et celles qui se sont établies plus tard.

Le degré de recouvrement du rajeunissement, estimé à partir de l'IFN2, inclut les jeunes plants à partir de 10 cm de hauteur et jusqu'au seuil d'inventaire de 12 cm de DHP (figure 8). Dans les forêts non traitées, la proportion de peuplements forestiers dont la régénération est problématique ou insuffisante (degré de recouvrement inférieur à 10%) a augmenté progressivement pour atteindre actuellement 58% dans les zones inférieures et 61% dans les zones supérieures. Dans les forêts gérées en revanche, l'effet à court terme des interventions réalisées sur l'abondance du rajeunissement est assez évident, malgré la faible intensité de celles-ci.

La comparaison avec les données des autres régions suisses (non représentées ici) montre que la régénération des forêts du Sud des Alpes est moins dense: 7600 plants/ha (13 700 tiges/ha à basse altitude et 3600 tiges/ha à haute altitude) contre une moyenne suisse de 19 900 plants/ha. Les valeurs du

Sud des Alpes sont proches de celles des Alpes (8000 tiges/ha), mais très éloignées de celles du Plateau (37 900 tiges/ha). Ceci doit être mis en relation, entre autres, avec la grande différence de fertilité des sols qui existe entre le Plateau d'une part et les Alpes et le Sud des Alpes de l'autre (Cioldi et al 2020).

Lorsque l'on considère uniquement la régénération établie, c'est-à-dire les individus qui ont déjà atteint ou dépassé la hauteur de 1.3 m mais pas encore atteint 12 cm de DHP, le manque de rajeunissement est encore plus évident (figure 9). On trouve les densités les plus basses dans les forêts constituées avant 1940, anciennes et denses, où le nombre moyen d'individus dans le rajeunissement établi est d'environ 400 tiges/ha. Dans ces cas, l'effet d'ouverture des interventions sylvicoles est remarquable et permet d'augmenter la densité des jeunes arbres à environ 1400 tiges/ha. Cet effet est encore plus prononcé à basse altitude, où l'ouverture des peuplements extrêmement denses et peu vitaux favorise l'abondance de la régénération. Les espèces qui semblent bénéficier le plus de ces interventions sont les pins dans les zones supérieures et le hêtre dans les zones inférieures – certainement l'espèce la plus fréquente, surtout à basse altitude – ainsi que d'autres espèces de feuillus de basse altitude comme les tilleuls et le charme houblon. En revanche, dans les forêts nées après 1940, la fréquence de rajeunissement ne diffère pas de manière significative entre les forêts traitées et non traitées. Ici, les frênes dominent aux altitudes inférieures et les bouleaux aux altitudes supérieures.

#### Composition et diversité des espèces

Une analyse complémentaire montre que les interventions sylvicoles réalisées entre l'IFN1 et l'IFN4 ont principalement concerné les espèces les plus abondantes (épicéa, hêtre et châtaignier) et ont favorisé les espèces accessoires moins fréquentes. Dans les zones supérieures, les interventions vont de pair avec une diminution de la fréquence de l'épicéa (de 57 à 51%) et du hêtre (de 16 à 13%), compensée

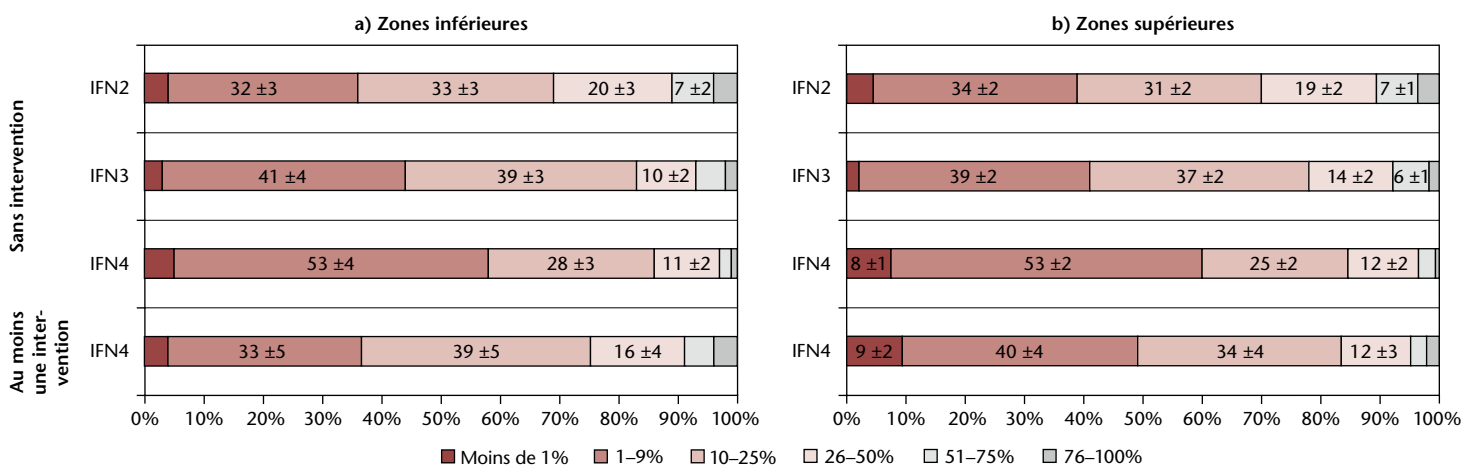


Fig. 8 Surface forestière selon le degré de recouvrement de la régénération (en %) et l'inventaire, pour les zones inférieures (a) et supérieures (b), ± erreur standard.



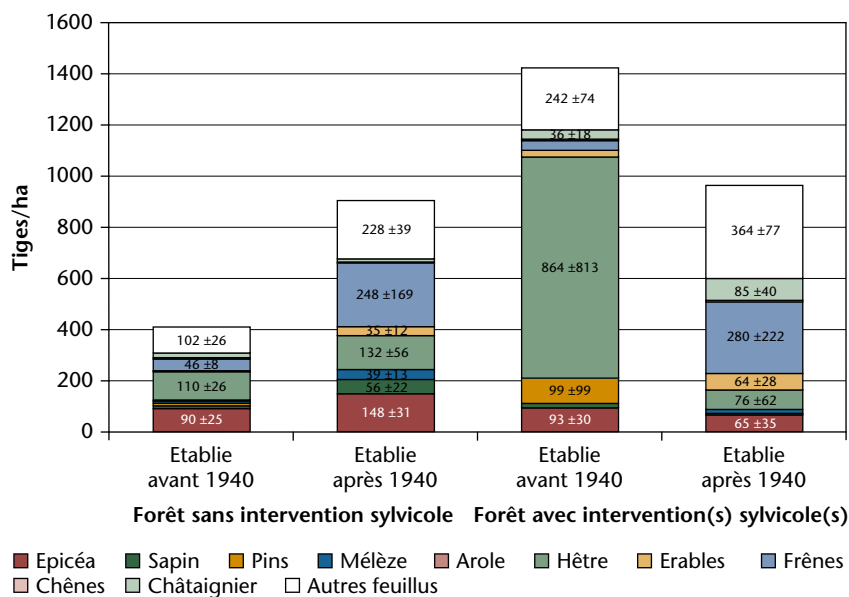


Fig. 9 Nombre de jeunes plants du rajeunissement établi (en tiges/ha), en fonction de la période d'établissement de la forêt et de la gestion, pour les espèces principales, ± erreur standard.

| Etablissement de la forêt | Gestion de la forêt       | Zones inférieures |          | Zones supérieures |          | Total      |          |
|---------------------------|---------------------------|-------------------|----------|-------------------|----------|------------|----------|
|                           |                           | n                 | ± %      | n                 | ± %      | n          | ± %      |
| avant 1940                | sans intervention         | 4.8               | 6        | 3.3               | 5        | 3.9        | 4        |
|                           | au moins une intervention | 8.1               | 12       | 3.7               | 11       | 5.6        | 9        |
|                           | <b>total</b>              | <b>5.5</b>        | <b>6</b> | <b>3.4</b>        | <b>5</b> | <b>4.3</b> | <b>4</b> |
| après 1940                | sans intervention         | 5.9               | 6        | 4.0               | 4        | 4.8        | 4        |
|                           | au moins une intervention | 8.0               | 7        | 3.9               | 8        | 6.9        | 6        |
|                           | <b>total</b>              | <b>6.7</b>        | <b>5</b> | <b>4.0</b>        | <b>4</b> | <b>5.3</b> | <b>4</b> |

Tab. 3 Nombre moyen d'espèces ligneuses (n) par placette dans l'IFN4 (individus de 40 cm de hauteur au moins), en fonction de la période d'établissement de la forêt, de la gestion et selon les zones altitudinales, ± erreur standard (en %).

par l'augmentation proportionnelle du frêne commun et d'autres feuillus plus rares (ensemble de 3 à 10%) ainsi que du mélèze (+2%). A basse altitude, le châtaignier a été l'espèce la plus exploitée et sa part du nombre de tiges a diminué de 45 à 33% dans les forêts gérées (et seulement de 36 à 32% dans celles sans intervention sylvicole). On observe en outre une réduction de la proportion de bouleaux (-4%) et de hêtre (-2%) et à l'inverse, une augmentation des autres feuillus tels que le robinier (de 3 à 8%), les frênes, le charme houblon, les érables et les tilleuls (+3% chacun). A basse altitude, on assiste donc en 30 ans à une diversification importante des espèces dans les forêts gérées, ce qui ne se vérifie pas dans les forêts sans interventions sylvicoles.

L'IFN relève en outre chaque espèce ligneuse qui pousse sur la placette (surface de 200 m<sup>2</sup>), lorsqu'au moins un individu de 40 cm de hauteur ou plus est présent. En incluant ces données, on observe que l'effet des interventions sur la diversité des espèces ligneuses est très marqué (tableau 3). Dans les forêts établies avant 1940, le nombre moyen d'espèces par placette est de 5.5 à basse altitude et de 3.4

à haute altitude. Toutefois, dans la partie de la forêt qui a fait l'objet d'au moins une intervention sylvicole, la diversité des espèces est plus grande, en particulier à basse altitude où elle atteint 8.1. Dans les forêts établies après 1940, l'effet positif en termes de diversité ne peut être observé qu'à basse altitude (de 5.9 à 8.0), alors que les forêts situées à plus haute altitude comptent en moyenne 4.0 espèces, indépendamment de la gestion.

### Dynamique évolutive des forêts non traitées

Pas moins de 94 000 hectares de forêt (soit 76% de la surface de forêt accessible sans la forêt buissonnante de l'IFN1) n'ont jamais fait l'objet d'une quelconque intervention sylvicole depuis l'IFN1 et ont donc évolué pendant au moins 30 ans sans influence de la gestion forestière (la majeure partie de cette surface, soit 71 000 hectares, n'étant plus sous gestion forestière depuis au moins un demi-siècle). Il est intéressant de se pencher plus spécifiquement sur la dynamique évolutive des espèces ou groupes d'espèces forestières dans ces peuplements, en analysant la situation séparément selon l'altitude, la période d'établissement de la forêt, ou les deux critères à la fois (figures 10 et 11, tableau 4).

A basse altitude, les forêts formées avant 1940 sont encore caractérisées par une forte présence de châtaigniers (35% du nombre d'arbres de l'IFN4), bien que ce pourcentage soit en nette diminution (figure 10a). On constate également une diminution des espèces pionnières au profit des espèces intermédiaires et finales, surtout dans les forêts qui se sont établies entre 1940 et 1985 (figure 10b). Ici, la proportion de châtaignier est plus faible et en général, il y a une répartition assez équilibrée entre les quatre catégories d'espèces, mais on observe aussi une tendance croissante vers les espèces intermédiaires et finales.

Dans les zones supérieures, les espèces intermédiaires sont principalement constituées d'épicéas, tant dans les forêts anciennes que dans celles établies après 1940. Dans ces dernières, les espèces pionnières sont encore les plus fréquentes, même si elles sont en nette diminution au profit des espèces intermédiaires (figure 10d). L'augmentation des espèces finales dans les forêts établies avant 1940 (figure 10c) est due notamment à la progression du hêtre.

Parmi les espèces intermédiaires dont la présence a le plus augmenté figurent le charme houblon et les feuillus nobles tels que les érables, le frêne et le merisier à basse altitude et les érables, le frêne et l'épicéa à haute altitude.

### Compétitivité des espèces

Les essences intermédiaires et, dans une légèrement moindre mesure, les essences finales sont les plus performantes, tandis que le châtaignier présente une faible compétitivité, presque similaire à celle des

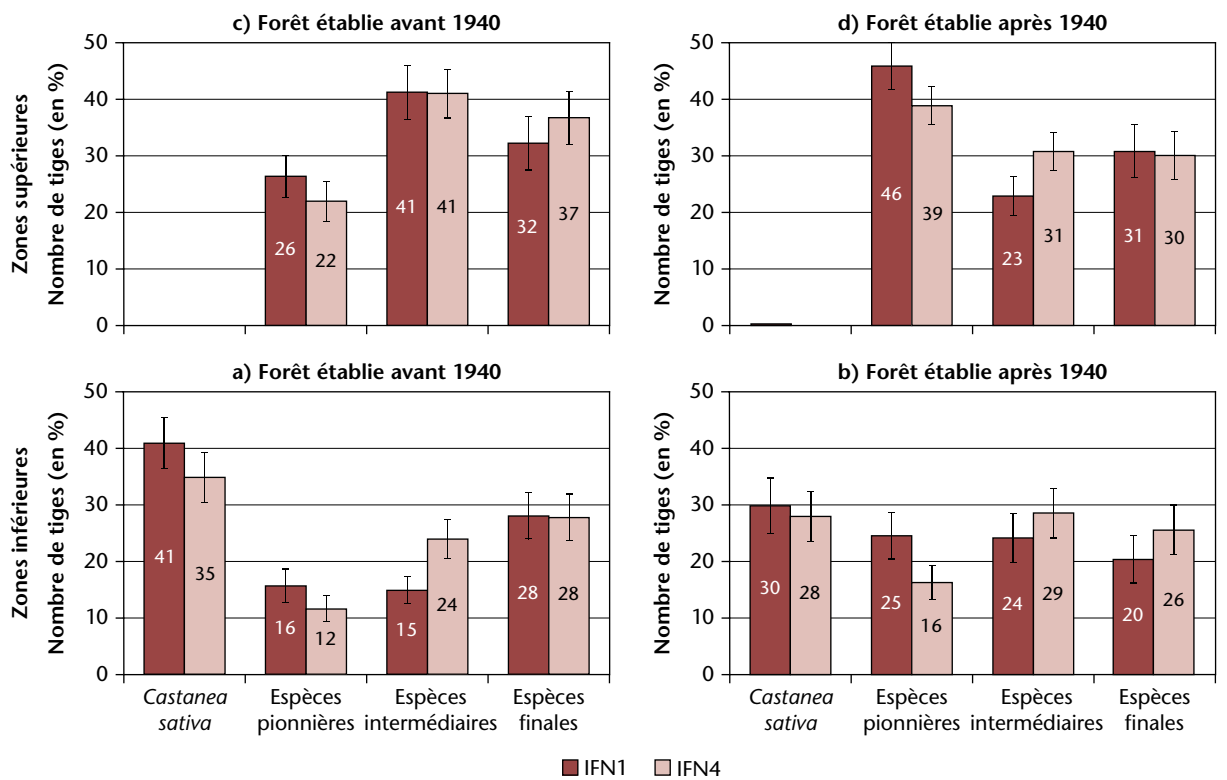


Fig. 10 Nombre de tiges (en %) dans les forêts sans intervention sylvicole, selon l'inventaire et les espèces classifiées par caractéristique écologique (pionnières, intermédiaires, finales et châtaignier), pour les zones inférieures (a, b) et supérieures (c, d) et en fonction de la période d'établissement de la forêt ± erreur standard.

essences pionnières (tableau 4). L'indice de compétitivité de 0.73 du châtaignier exprime le fait que, bien qu'il ait contribué dans l'IFN1 à 43% de la surface terrière totale dans les zones inférieures, il n'a apporté que 31% de l'augmentation globale en surface terrière produite entre l'IFN1 et l'IFN4. Parmi les espèces finales, le hêtre est l'espèce à la progression la plus rapide, avec un indice de compétitivité de 1.5. Parmi les espèces intermédiaires, les frênes et les érables ont les taux de production de surface terrière les plus élevés à toutes les altitudes, tandis que l'épicéa tend à rester stable sur la proportion de surface terrière qu'il avait dans l'IFN1.

#### Evolution du nombre d'arbres et de la mortalité

La majorité des espèces d'arbres a connu une augmentation du nombre d'arbres vifs au cours des trois décennies considérées (figure 11). Cependant,

si entre l'IFN1 et l'IFN2, toutes les espèces – à l'exception de l'aulne blanc – ont augmenté leur fréquence, on constate une diminution des châtaigniers et des bouleaux vifs depuis l'IFN2 dans les forêts plus anciennes, qui se sont constituées avant 1940. Dans ces zones boisées, on observe un taux de mortalité élevé, en particulier des espèces héliophiles comme les bouleaux et l'aulne, mais aussi de l'épicéa et surtout du châtaignier. Les chênes, en particulier le chêne rouvre, ont également enregistré une diminution en termes d'individus vifs, notamment entre l'IFN3 et l'IFN4. Une analyse complémentaire et différenciée selon l'altitude montre que dans les zones inférieures, les espèces qui ont connu l'augmentation la plus marquée au cours des 30 années considérées sont le charme houblon (de 22 à 46 tiges/ha) et le hêtre (de 92 à 119 tiges par hectare).

| Essence (classes de succession) | Pourcentage surface terrière IFN1 |                          | Accroissement en surface terrière IFN1–IFN4 |                          |  |                          | Indice de compétitivité |                   |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---|--------------------------|--|--------------------------|-------------------------|-------------------|
|                                 | zones inférieures (en %)          | zones supérieures (en %) | zones inférieures (en m <sup>2</sup> )      | zones inférieures (en %) | zones supérieures (en m <sup>2</sup> ) | zones supérieures (en %) | zones inférieures       | zones supérieures |
| Castanea sativa                 | 42.5                              | 0.1                      | 144 058                                     | 31.4                     | 0                                      | 0.0                      | 0.73                    | –                 |
| espèces pionnières              | 15.5                              | 33.3                     | 29 731                                      | 6.5                      | 168 720                                | 29.5                     | 0.42                    | 0.89              |
| espèces intermédiaires          | 17.9                              | 39.8                     | 138 371                                     | 30.2                     | 249 732                                | 43.7                     | 1.67                    | 1.10              |
| espèces finales                 | 24.1                              | 26.9                     | 146 188                                     | 31.9                     | 153 176                                | 26.8                     | 1.31                    | 1.00              |
| <b>Total</b>                    | <b>100.0</b>                      | <b>100.0</b>             | <b>458 348</b>                              | <b>100.0</b>             | <b>571 628</b>                         | <b>100.0</b>             | <b>1.00</b>             | <b>1.00</b>       |

Tab. 4 Augmentation de la surface terrière IFN1–IFN4 (en m<sup>2</sup> et en %) par rapport à la surface terrière que chaque groupe d'espèces (caractéristiques écologiques) avait dans l'IFN1, pour l'ensemble de la forêt sans intervention sylvicole, dans les zones inférieures et supérieures.



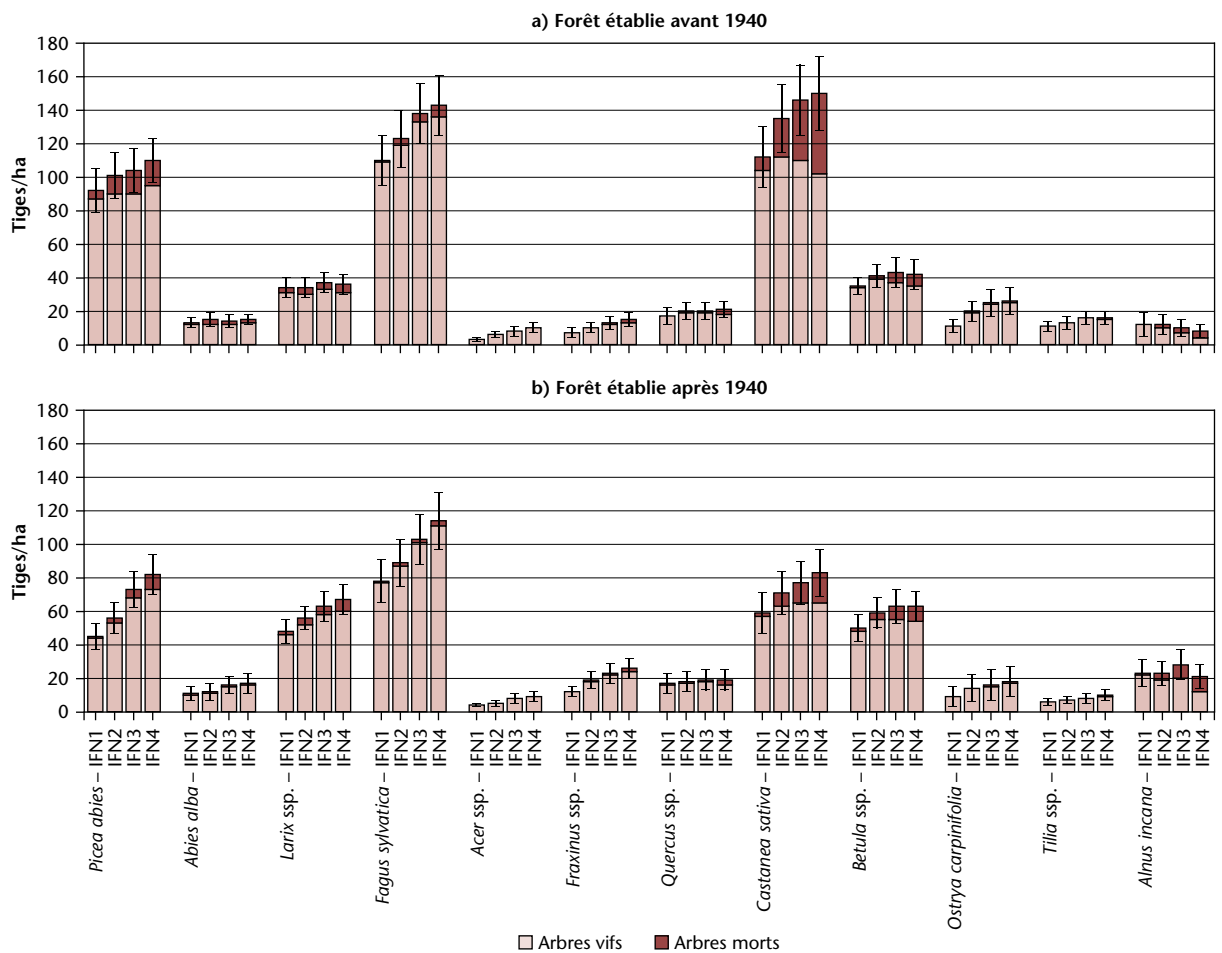


Fig. 11 Nombre de tiges des arbres vifs et morts (en tiges/ha) des espèces les plus fréquentes, dans la forêt sans intervention sylvicole depuis 1985, et en fonction de la période d'établissement (avant [a] ou après [b] 1940),  $\pm$  erreur standard.

En synthèse, sur l'ensemble de la surface forestière du Sud des Alpes (y compris les forêts gérées), le plus frappant est le déclin du châtaignier, qui a perdu un dixième de ses effectifs (moins 15 arbres/ha à basse altitude). Alors que dans l'IFN1, 40% des arbres vifs à basse altitude étaient des châtaigniers, dans l'IFN4, ce pourcentage est tombé à 32%, ce qui représente tout de même l'espèce la plus fréquente numériquement avec une moyenne de 172 châtaigniers/ha. Il convient de noter que la contraction la plus marquée s'est produite au cours de la dernière décennie (entre l'IFN3 et l'IFN4) et dans les forêts de basse altitude établies avant 1940, où le nombre de châtaigniers morts atteint 93 arbres/ha en moyenne sur un total de 140 arbres morts/ha (figure 12).

La forte progression du hêtre (en moyenne +22 tiges/ha) est encore plus importante à haute altitude où il atteint le nombre considérable de 112 tiges/ha, une densité supérieure à celle de cette espèce à basse altitude. L'espèce la plus répandue à haute altitude est l'épicéa, qui compte en moyenne 143 tiges/ha, avec une augmentation de 21 unités au cours des trois décennies en question. Le mélèze (+12 tiges/ha) a également accru sa présence durant cette période. En pourcentage cependant, l'avancée la plus marquée a été celle du frêne commun et de

l'érable sycomore, mais en partant d'une densité relativement basse dans l'IFN1. L'aulne blanc est la seule espèce qui a vu sa part numérique diminuer à haute altitude, de 19 à 12 tiges/ha.

En outre, on constate aussi qu'au cours des trois décennies séparant l'IFN1 de l'IFN4, toutes les espèces sauf l'aulne blanc ont considérablement augmenté leur surface terrière et donc leur volume, tant à basse qu'à haute altitudes et indépendamment de l'évolution du nombre d'arbres vifs par hectare. Conformément à la tendance nationale, l'augmentation progressive de la surface terrière va de pair avec celle des arbres des classes de diamètre supérieures, en particulier la densité des arbres de 52 cm de DHP et plus a presque doublé en trois décennies. En outre, le Sud des Alpes est la région avec la densité la plus forte d'arbres dits géants (DHP >80 cm): dans les zones supérieures 2.6 arbres/ha, principalement des épicéas et des mélèzes, resp. 3.1 arbres/ha dans les zones inférieures, surtout des vieux châtaigniers.

## Discussion et conclusions

La surface forestière du Sud des Alpes a plus que doublé en 120 ans, avec une accélération impor-



Fig. 12 Versant sud de la plaine de Magadino (TI). Châtaigniers morts en raison de l'action combinée de la sécheresse estivale, des maladies (chancre et encre) et des dégâts du cynips. Photo: Marco Conedera

tante de cette croissance après la Seconde Guerre mondiale (Ginzler et al 2011), en particulier dans les zones éloignées et inaccessibles. En raison de difficultés structurelles et environnementales, la forêt a évolué de manière naturelle depuis plusieurs décennies sans véritable gestion planifiée et régulière. Les interventions sylvicoles, généralement occasionnelles et sans continuité dans le temps, sont limitées à une zone très restreinte, de sorte que la grande majorité de la zone boisée évolue progressivement vers de véritables «réserves latentes» (Portier et al 2020). En outre, par rapport à d'autres régions de Suisse, le Sud des Alpes a été jusqu'à présent épargné par les perturbations et les catastrophes de grande ampleur (Usbeck et al 2010, Engesser et al 2008).

L'effet le plus évident de cette évolution est le vieillissement progressif des forêts de plus en plus denses et sombres. Selon Brändli et al (2020a), l'indice de densité du peuplement (SDI) dans les forêts du Sud des Alpes a augmenté de manière significative entre l'IFN3 et l'IFN4 dans tous les étages de végétation. Les résultats de cette étude le confirment, en montrant l'augmentation de la surface terrière par hectare en trois décennies ainsi que la forte présence d'arbres «géants» autant à basse qu'à haute altitude. Ces spécimens offrent des habitats importants pour de nombreuses espèces animales et végétales typiquement forestières (Bütler et al 2013). D'autre part, les très faibles effectifs du rajeunissement sont problématiques car ils ne fournissent pas les conditions nécessaires au renouvellement générationnel des forêts. Cette évolution est préoccupante si l'on considère qu'environ 70% de la surface forestière totale dans la région Sud des Alpes a une fonction protectrice selon les critères SilvaProtect

(Brändli et al 2020b). En plus des difficultés causées par le manque de lumière dans les forêts non gérées, la pression du gibier et localement le pâturage jouent également un rôle important dans la limitation de l'établissement et de la croissance d'une régénération abondante, un aspect qui n'a cependant pas été exploré en profondeur dans ce travail.

Sans interventions sylvicoles «régulatrices», la dynamique des forêts évolue vers une densification des peuplements qui finit par favoriser les essences intermédiaires et surtout finales, en particulier le hêtre. Avec le hêtre, les frênes et l'érable sycomore font aussi partie des espèces gagnantes, une tendance qui avait déjà été constatée il y a dix ans pour l'ensemble de la Suisse par Duc et al (2011). D'autres espèces sciaphiles typiques de basse altitude comme le charme houblon et les tilleuls ont également vu leur part augmenter. Dans les étages altitudinaux dominés par les conifères, l'épicéa a progressé autant en nombre d'arbres qu'en volume, tandis que le sapin blanc est assez stable. Dans les zones supérieures, l'épicéa est souvent l'espèce dominante qui n'est pas remplacée par d'autres, même à long terme et confirme donc dans ce cas son caractère d'espèce finale plutôt qu'intermédiaire. Les espèces pionnières, en revanche, sont en fort déclin et pour elles – les bouleaux et le mélèze en particulier – les zones boisées de formation récente semblent représenter un refuge important. Les extrêmes climatiques tels que les sécheresses de plus en plus fréquentes (à partir de la très forte sécheresse de 2003) intensifient encore la concurrence entre les espèces. Dans ces circonstances, les essences hors station sont les moins bien armées et les premières à succomber. Le châtaignier en est un exemple frappant étant donné qu'il est particulièrement en difficulté dans les stations fortement exposées au soleil et à la pénurie d'eau, comme l'a démontré la sécheresse de l'été 2003 (Barthold et al 2004). Le résultat extrême et définitif de la compétition interspécifique est la mortalité, qui concerne actuellement le châtaignier de façon prononcée, encore aggravée par le manque de traitements sylvicoles dans ces peuplements d'origine anthropique (Conedera et al 2001). Alors qu'en moyenne 89% des arbres en Suisse sont vifs et seulement 11% morts, au Sud des Alpes jusqu'à 27% des châtaigniers recensés sont des arbres morts (Abegg et al 2020). La mortalité des châtaigniers est très élevée dans les forêts les plus anciennes et les plus denses, qui se sont établies avant 1940. Parmi les différentes causes de la réduction drastique du nombre de châtaigniers vifs, on peut citer le chancre cortical (Rigling et al 2014), la sécheresse de 2003 (Conedera et al 2010), la recrudescence de la maladie de l'encre (*Phytophthora* spp.; Prospero et al 2012) et l'impact du cynips du châtaignier accidentellement importé d'Asie, qui a lui aussi mis les châtaigniers sous une forte pression dans toutes les régions et tous les types de forêts

(Gehring et al 2018). Sur une période de 30 ans, la population de châtaigniers a ainsi diminué d'un dixième de ses effectifs, une perte qui s'est particulièrement accélérée au cours de la dernière décennie, qui a vu coïncider des années plutôt sèches avec de forts dégâts du cynips (Gehring et al 2020).

Le cadre général est loin d'être encourageant et pose aux autorités, aux gestionnaires et aux sylviculteurs des défis majeurs pour les décennies à venir, accentués par le déficit sylvicole qui s'accumule de plus en plus. D'une part, il y a le besoin urgent de réorienter et de renouveler l'étage des châtaigniers, et d'autre part, il y a les problèmes non négligeables des néophytes invasifs (Conedera et al 2018, Conedera et al 2014) et du gibier. Bien que les interventions effectuées entre l'IFN1 et l'IFN4 aient été pour la plupart sporadiques et plutôt faibles, elles montrent clairement les effets potentiels bénéfiques en termes d'abondance de la régénération. Toutefois, nous ne pouvons pas ignorer les conditions-cadres existantes, caractérisées par des difficultés financières et structurelles qui ont ralenti et ralentissent encore les interventions en faveur du rajeunissement des forêts anciennes et les soins culturels aux jeunes forêts. Ceux-ci seraient particulièrement importants afin de garantir la nécessaire stabilité à moyen et long terme dans les forêts de protection. Outre la promotion de la récupération des sèves de châtaigniers, à valoriser d'un point de vue culturel et paysager, il faut également prendre en compte le potentiel des châtaigneraies (principalement les taillis) pour la production d'assortiments de qualité (Manetti et al 2020, Manetti et al 2010).

Des défis considérables donc, avec en plus les inconnues du changement climatique, qui mettent les spécialistes du secteur devant des choix difficiles, par exemple en ce qui concerne les espèces les plus appropriées pour l'avenir, ou encore les problèmes liés aux nouveaux agents pathogènes importés capables de mettre en danger certaines espèces, comme dans le cas de l'orme dans les années 1960 ou de la maladie actuelle du dépérissement des pousses de frêne (*Hymenoscyphus fraxineus*; Rigling et al 2016).

En conclusion, à cause des difficiles conditions dans lesquelles les forestiers du Sud des Alpes doivent opérer, ils sont souvent contraints à «réagir» à l'adversité plutôt que de pouvoir planifier et «agir» de manière constructive dans le cadre d'une véritable gestion forestière. Il faudra donc trouver des stratégies sylvicoles prévoyantes et peut-être même courageuses, non pas à appliquer de manière généralisée, mais plutôt de manière ciblée lorsque la fonction de protection de la forêt l'exige ou quand les conditions stationnelles sont prometteuses (production de bois et services écosystémiques). ■

*Soumis: 10 décembre 2020, accepté (avec comité de lecture): 12.7.2021*

## Références

- ABEGG M, BRÄNDLI UB, CIOLDI F, FISCHER C, HEROLD A ET AL (2020) Inventaire forestier national suisse IFN. Tableaux et cartes des résultats des relevés IFN 1983–2017 (IFN1, IFN2, IFN3, IFN4) disponibles sur internet. Birmensdorf: Institut fédéral de recherches WSL. doi: 10.21258/1382822
- BARTHOLD F, CONEDERA M, TORRIANI D, SPINEDI F (2004) Welkesymptome an Edelkastanien im Sommer 2003 auf der Alpensüdseite der Schweiz. *Schweiz Z Forstwes* 155: 392–399. doi: 10.3188/szf.2004.0392
- BRÄNDLI UB, ABEGG M, DÜGGELIN C (2020A) Diversité biologique. Dans: Brändli UB, Abegg M, Allgaier Leuch B, editors. Inventaire forestier national suisse. Résultats du quatrième inventaire 2009–2017. Birmensdorf: Institut fédéral de recherches WSL. pp. 189–237.
- BRÄNDLI UB, HUBER M, FISCHER C (2020B) Forêt protectrice. Dans: Brändli UB, Abegg M, Allgaier Leuch B, editors. Inventaire forestier national suisse. Résultats du quatrième inventaire 2009–2017. Birmensdorf: Institut fédéral de recherches WSL. pp. 238–263.
- BÜTLER R, LACHAT T, LARRIEU L, PAILLET Y (2013) Habitatbäume: Schlüsselkomponenten der Waldbiodiversität. In: Kraus D, Krumm F, editors. Integrative Ansätze als Chance für die Erhaltung der Artenvielfalt in Wäldern. Freiburg i.Br.: European Forest Institute. pp. 86–94.
- CESCHI I (2014) Il bosco del Cantone Ticino. Bellinzona: Dipartimento del territorio, Divisione dell'ambiente. 407 p.
- CIOLDI F, BRÄNDLI UB, DIDION M, FISCHER C, GINZLER C ET AL (2020) Ressources forestières. Dans: Brändli UB, Abegg M, Allgaier Leuch B, editors. Inventaire forestier national suisse. Résultats du quatrième inventaire 2009–2017. Birmensdorf: Institut fédéral de recherches WSL. pp. 34–119.
- CONEDERA M, STANGA P, OESTER B, BACHMANN P (2001) Different post-culture dynamics in abandoned chestnut orchards and coppices. *For Snow Landsc Res* 76: 487–492.
- CONEDERA M, BARTHOLD F, TORRIANI D, PEZZATTI GB (2010) Drought sensitivity of *Castanea sativa*: case study of summer 2003 in the southern Alps. *Acta Hort* 866: 297–302.
- CONEDERA M, SCHOENENBERGER N (2014) Wann werden gebietsfremde Gehölze invasiv? Ein methodologischer Ansatz. *Schweiz Z Forstwes* 165: 158–165. doi: 10.3188/szf.2014.0158
- CONEDERA M, BRÄNDLI UB (2015) Essences exotiques. Dans: Rigling A, Schaffer HP, editors. Rapport forestier 2015. Etat et utilisation de la forêt suisse. Berne: Office fédéral de l'environnement. pp. 78–79.
- CONEDERA M, WOHLGEMUTH T, TANADINI M, PEZZATTI GB (2018) Drivers of broadleaved evergreen species spread into deciduous forests in the southern Swiss Alps. *Reg Environ Chang* 18: 425–436.
- CONEDERA M, KREBS P, GEHRING E, WUNDER J, HÜLSMANN L ET AL (2021) How future-proof is Sweet chestnut (*Castanea sativa*) in a global change context? *For Ecol Manage* 494: 119320 (11 pp.).
- DUC P, BRÄNDLI UB, CIOLDI F, LANZ A, ULMER U (2011) Entwicklung der Baumarten im Schweizer Wald – methodische Überlegungen. *Schweiz Z Forstwes* 162: 326–336. doi: 10.3188/szf.2011.0326
- DÜGGELIN C, KELLER C, CIOLDI F (2019) Field assessment. In: Fischer C, Traub B, editors. Swiss National Forest Inventory – methods and models of the fourth assessment. Cham: Springer. pp. 159–186.
- ENGESSER R, FORSTER B, MEIER F, WERMELINGER B (2008) Forstliche Schadorganismen im Zeichen des Klimawandels. *Schweiz Z Forstwes* 159: 344–351. doi: 10.3188/szf.2008.0344
- FISCHER C, FRAEFEL M (2019) Interview survey with the local forest service. In: Fischer C, Traub B, editors. Swiss National Forest Inventory – methods and models of the fourth assessment. Cham: Springer. pp. 299–336.



- GEHRING E, BELLOSI B, QUACCHIA A, CONEDERA M (2018) Assessing the impact of *Dryocosmus kuriphilus* on the chestnut tree: branch architecture matters. *J Pest Sci* 91: 189–202.
- GEHRING E, BELLOSI B, REYNAUD N, CONEDERA M (2020) Chestnut tree damage evolution due to *Dryocosmus kuriphilus* attacks. *J Pest Sci* 93: 103–115.
- GINZLER C, BRÄNDLI UB, HÄGELI M (2011) Waldflächenentwicklung der letzten 120 Jahre in der Schweiz. *Schweiz Z Forstwes* 162: 337–343. doi: 10.3188/2011.0337
- KELLER W (1978) Einfacher ertragskundlicher Bonitätsschlüssel für Waldbestände in der Schweiz. *Mitt Eidgenöss Forsch.anst Wald Schnee Landsch* 54: 3–98.
- KREBS P, TINNER W, CONEDERA M (2014) Del castagno e della castanicoltura nelle contrade insubriche: tentativo di una sintesi eco-storica. *Archivio Storico Ticinese* 155: 4–37.
- LANZ A, ABEGG M, FISCHER C (2019) Sampling design and estimation procedures. In: Fischer C, Traub B, editors. *Swiss National Forest Inventory – methods and models of the fourth assessment*. Cham: Springer. pp. 39–92.
- MANETTI MC, AMORINI E, BECAGLI C, PELLERI F, PIVIDORI M ET AL (2010) Quality wood production from chestnut (*Castanea sativa* Mill.) Coppice forests – comparison between different silvicultural approaches. *Acta Hort* 866: 683–692.
- MANETTI MC, MARCOLIN E, PIVIDORI M, ZANUTTINI R, CONEDERA M (2020) Coppice woodlands and chestnut wood technology. In: Beccaro G, Alma A, Bounous G, Gomes-Laranjo J, editors. *The chestnut handbook. Crop and forest management*. London: CRC Press. pp. 275–295.
- PORTIER J, WUNDER J, STADELMANN G, ZELL J, ABEGG M ET AL (2020) ‘Latent reserves’: A hidden treasure in National Forest Inventories. *J Ecol* 109: 369–383.
- PROSPERO S, VETTRAINO AM, VANNINI A (2012) *Phytophthora* on *Castanea* (Mill.). Quedlinburg: Julius Kühn Institut, JKI Data Sheets Plant Diseases and Diagnosis 6. 13 p.
- RIGLING D, SCHÜTZ-BRYNER S, HEINIGER U, PROSPERO S (2014) Der Kastanienrindenkrebs. Schadsymptome, Biologie und Gegenmassnahmen. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL, *Merkbl Prax* 54. 8 p.
- RIGLING D, HILFIKER S, SCHÖBEL C, MEIER F, ENGESSER R ET AL (2016) Le dépérissement des pousses du frêne. Biologie, symptômes et recommandations pour la gestion. Birmensdorf: Institut fédéral de recherches WSL, *Notice pour le praticien* 57. 8 p.
- TRAUB B, MEILE R, SPEICH S, RÖSLER E (2019) The Swiss National Forest Inventory analysis system. In: Fischer C, Traub B, editors. *Swiss National Forest Inventory – methods and models of the fourth assessment*. Cham: Springer. pp. 299–336.
- USBECK T, WOHLGEMUTH T, DOBBERTIN M, PFISTER C, BÜRGI A ET AL (2010) Increasing storm damage to forests in Switzerland from 1858 to 2007. *Agric For Meteorol* 150: 47–55.

## Entwicklungsdynamik in den Wäldern auf der Alpensüdseite der Schweiz

Die Waldfläche auf der Alpensüdseite der Schweiz hat sich in 120 Jahren mehr als verdoppelt, mit einer deutlichen Beschleunigung der Waldflächenzunahme nach dem Zweiten Weltkrieg. Anhand der Daten des Landesforstinventars (LFI) beschreibt der Artikel die Struktur, die Zusammensetzung und die Entwicklung der Wälder in dieser Region und unterscheidet dabei zwischen Wäldern, die vor 1940, zwischen 1940 und 1985 sowie nach 1985 entstanden sind. Aufgrund von strukturellen und umweltbedingten Schwierigkeiten hat sich der Wald auf der Alpensüdseite über mehrere Jahrzehnte natürlich entwickelt, eine regelmässige Bewirtschaftung blieb weitgehend aus. Das führt dazu, dass die Wälder zunehmend älter, dichter und dunkler werden, wodurch intermediäre und insbesondere Schlusswaldbaumarten, im Speziellen die Buche, begünstigt werden. Im Gegenzug ist in den vor Langem entstandenen Wäldern ein starker Rückgang der Pionierbaumarten zu verzeichnen. Für sie – insbesondere die Birke und die Lärche – stellen die neu eingewachsenen Waldflächen ein wichtiges Refugium dar. Darüber hinaus zeigen die Analysen, dass in den Wäldern kaum Verjüngung vorhanden ist (was aber wichtig wäre, um die Stabilität der Wälder mittel- und langfristig aufrechtzuerhalten), dass sich jedoch waldbauliche Eingriffe positiv auf die Verjüngung auswirken. Klimatische Extreme, insbesondere die immer häufiger auftretenden Dürreperioden, verschärfen die Konkurrenz unter den Baumarten zusätzlich. In diesem Kontext ist die Kastanie – die Charakterart der Alpensüdseite – in grossen Schwierigkeiten, besonders in Gebieten mit hoher Sonneneinstrahlung und mit Wassermangel. So belegen die Daten des LFI eine hohe Mortalität der Kastanie in den letzten drei Jahrzehnten.

## Development dynamics in the forests in Switzerland’s Southern Alps

The forest area in the Southern Alps in Switzerland has more than doubled over the past 120 years, with a particularly marked increase after the Second World War. This paper uses data from the Swiss National Forest Inventory (NFI) to describe the structure, composition and development of forests established in this region during the three time periods: before 1940, between 1940 and 1985, and after 1985. Over several decades the forests there were left, for structural and environmental reasons, to develop naturally without any regular management. As a result, the forests have become increasingly older, denser and darker, which favours intermediate and, in particular, climax tree species, especially beech. At the same time, in long-established forests pioneer tree species are in sharp decline. For these species – especially birch and larch – the newly established forest areas provide an important refuge. The analyses also indicate that the forests are undergoing hardly any regeneration (although this would be desirable to maintain the stability of the forests in the medium and long term), but silvicultural interventions are having a positive effect on the abundance of regeneration. Climatic extremes, especially increasingly frequent droughts, are further intensifying the competition among tree species. In this context, the chestnut tree, a flagship species in the Southern Alps, is in great difficulty, particularly in areas with high solar radiation and water shortages. According to NFI data, chestnut mortality has been high during the past three decades.