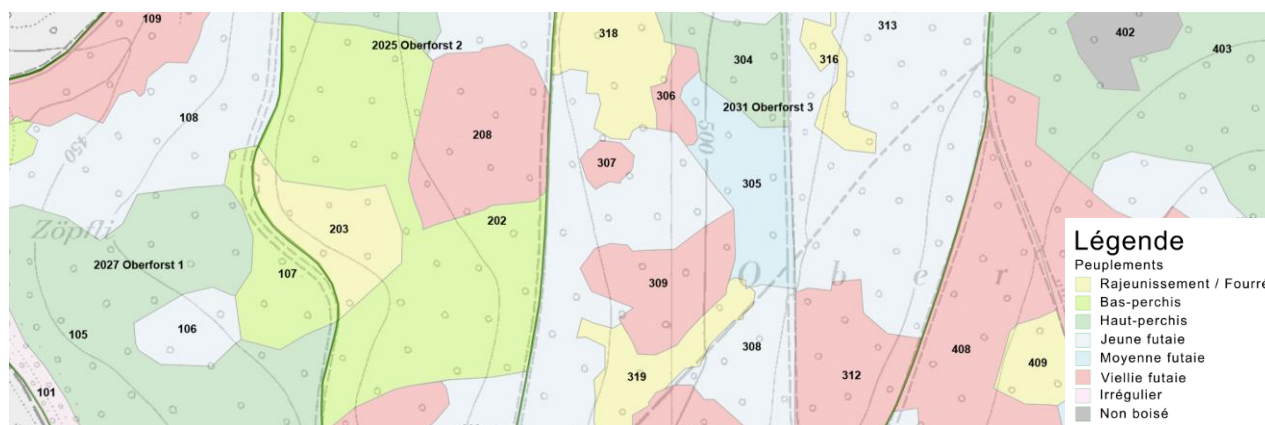


Étude de cas « Adaptation à l'échelle de l'entreprise », Baden AG

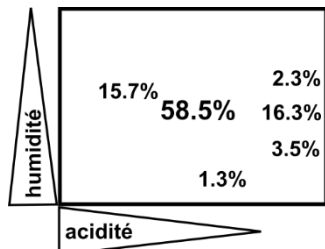
Mai 2025



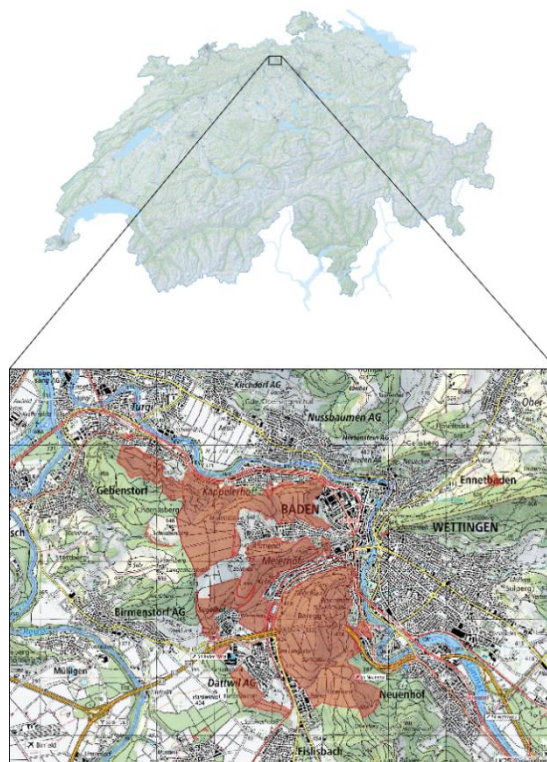
Les études de cas d'adaptation des forêts au changement climatique présentées jusqu'à présent traitent principalement de régénérations naturelles réussies sur quelques hectares. Or, pour préserver les prestations forestières, l'adaptation de l'ensemble de la forêt est déterminante : à quelle vitesse se déroule l'adaptation à l'échelle d'un propriétaire forestier d'environ 700 ha ? Dans cette étude, les changements forestiers sont documentés sur une période de 27 ans, sur la base des révisions des plans de gestion 1998 et 2025. La forêt de l'OGB Baden est sur la bonne voie ; les facteurs de succès sont mis en évidence.

Lieu Baden AG, total de l'entreprise
 Altitude 370 - 620 m s. m.
 Géologie Molasse, moraine rissienne, calcaire
 Sol principalement sol brun

Types de stations
 (Proportion de
 groupes de stations)



Type de régénération principalement naturelle
 Mode de traitement 93.2 % Coupe progressive
 5.7 % Forêt irrégulière
 1.1 % Taillis sous futaie
 Surface boisée 743.3 ha, dont
 596.5 ha de forêt exploitée
 Propriétaire forestier Commune de Baden
 Exploitant Service forestier de la ville
 de Baden



Valeurs climatiques moyennes (meteosuisse) et scénarios climatiques (CH2018)

| | Moyenne 1961-1990 | Moyenne 1991-2020 | Scénario RCP2.6 2070-2099 | Scénario RCP8.5 2070-2099 |
|--------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------|
| Précipitations annuelles | 1091 mm | 1036 mm | -60 à +116 mm | -56 à +110 mm |
| Température moyenne | 8,1 | 9,4 ° | +0,6 ° à +1,7 ° | +3,1 °C à +5,0 °C |

Légende de la carte de couverture : Le mode de traitement principal, la coupe progressive, permet une structure durable du massif, avec présence de tous les stades de développement. C'est le moteur d'un rajeunissement naturel riche en espèces et donc d'une adaptation rapide et peu coûteuse de la forêt de Baden.

Contenu

| | |
|--|----|
| 1. Objectif | 3 |
| 2. Périmètre d'étude | 3 |
| 2.1. Situation, sol, altitude | 3 |
| 2.2. Évolution de la forêt de Baden jusqu'en 1998 | 3 |
| 2.3. Base de données : plans d'exploitation 1998 et 2025 | 4 |
| 3. Évolution de l'adaptation 1998-2025 | 4 |
| 3.1. Diversité des essences 1925-1998 | 4 |
| 3.2. Diversité des essences en 2025 | 5 |
| 3.3. Comparaison 1998 - 2025 | 7 |
| 3.4. Proportion des essences par stade de développement | 8 |
| 4. Facteurs de réussite | 11 |
| 4.1. Bases naturelles | 11 |
| 4.2. Philosophie d'exploitation fondamentale | 11 |
| 4.3. Objectifs modifiés avant 1998 | 11 |
| 4.4. Tempête Lothar et scolytes 2000-2003, stratégie d'adaptation | 12 |
| 4.5. Entretien ciblé des jeunes forêts après la tempête Lothar | 12 |
| 4.6. Gestion forestière écologique, multifonctionnalité | 12 |
| 4.7. Sensibilisation accrue au changement climatique et à l'adaptation | 13 |
| 4.8. Incitations efficaces grâce aux subventions | 13 |
| 5. Coûts de l'adaptation à ce jour | 14 |
| Remerciements | 15 |
| Sources | 15 |

Mentions légales

| | |
|-----------------------|---|
| Auteurs : | Peter Ammann (Centre de compétence en sylviculture) Georg von Graefe, Pius Moser (Office forestier de Baden) |
| Projet : | <i>Projet « Études de cas sur l'adaptation des forêts au changement climatique »</i> |
| Mandant : | Office fédéral de l'environnement OFEV |
| Mandataire : | Centre forestier de formation CEFOR Lyss, Centre de compétence en sylviculture |
| Direction du projet : | Peter Ammann |
| Traduction : | Julian Muhmenthaler et Pascal Junod |

1. Objectif

Le changement climatique extrêmement rapide pose des défis majeurs à nos écosystèmes forestiers. Les études de cas d'adaptation au changement climatique documentent des situations exemplaires en matière de sylviculture, avec un rajeunissement naturel réussi, au sens de « *bonnes pratiques* » à imiter. Cependant, ce ne sont pas les peuplements individuels qui sont déterminants pour le maintien des prestations forestières, mais l'ensemble de la surface boisée.

Cette étude de cas traite de l'adaptation à l'échelle d'un propriétaire forestier, resp. d'une entreprise forestière. Les données utilisées proviennent d'une comparaison entre les plans de gestion de 1998 et 2025. À quelle vitesse les proportions d'essences ont-elles évoluées en un quart de siècle ? Quelle est la proportion actuelle d'essences d'avenir ? L'analyse de la proportion d'essences d'avenir par stade de développement permet de suivre le succès des mesures sylvicoles mises en œuvre au cours des dernières décennies. L'évolution de la forêt de Baden est sans aucun doute encourageante. Quels sont les facteurs qui ont contribué à ce succès ? L'étude de cas documente les mesures et les activités sylvicoles mises en œuvre ainsi que leurs coûts, dans la mesure où ceux-ci peuvent être retracés. Les perspectives sont déduites de la composition actuelle du peuplement.

2. Périmètre d'étude

2.1. Situation, sol, altitude

La forêt de Baden se trouve à l'étage submontagnard entre 370 et 620 m d'altitude, sur des sols variés. Sur le plan géologique, ce sont les molasses acides et les moraines rissiennes très acides qui dominent. Mais on trouve également des stations calcaires prononcées. Il en résulte une grande diversité de types de stations, condition favorable à la diversité des essences. Le type de station le plus fréquent est la hêtraie à aspérule 7a, qui couvre 254 hectares, soit 41.5%. Avec les types de stations similaires 7aa, 7aB et 7aS, le groupe des hêtraies acides représente environ les trois cinquièmes des stations forestières présentes.

2.2. Évolution de la forêt de Baden jusqu'en 1998

La forêt de Baden a longtemps été une forêt urbaine typique du plateau suisse, dont la fonction principale était la production de bois et l'accomplissement d'autres fonctions forestières dans le sillage de l'exploitation régulière. En conséquence, l'épicéa a été fortement encouragé. En tant qu'administration forestière technique disposant de son propre ingénieur forestier (ETH), on s'efforçait de gérer la forêt de manière particulièrement exemplaire et économique. On était toujours ouvert aux expériences. Depuis 1956, sous la direction de l'ingénieur forestier Peter Grünig, « *une attention particulière a été accordée à la promotion des feuillus indigènes dans toutes les mesures sylvicoles* ».

De 1978 à 2017, Georg Schoop a œuvré en qualité d'ingénieur forestier de la ville de Baden. Au cours de ces près de 40 années d'activité, de nombreux changements fondamentaux ont été apportés. La protection de la nature et la fonction récréative ont été développées et valorisées. Georg Schoop, économiste forestier, a réussi à promouvoir largement les multiples services rendus par la forêt, ce qui a permis à celle-ci de devenir largement indépendante de la production de bois et du marché du bois, soumis à des influences extérieures. À partir de 1993, les plantations d'épicéas et de sapins ont été complètement abandonnées. Depuis 1994, la récolte du bois est confiée à une entreprise forestière externe.

2.3. Base de données : plans d'exploitation 1998 et 2025

Le plan de gestion (PG) de 1998 (G. Schoop) et celui de 2025 (WALD+BAUm, P. Ammann) constituent des bases de données précieuses sur l'état de la forêt. Le PG de 1998 compte 176 pages, il est donc très complet. Un inventaire par échantillonnage avait été réalisé avec 687 échantillons. Cependant, seules les 8 essences principales ont été répertoriées : épicéa, sapin, pin, mélèze, hêtre, chêne, frêne et érable. Les autres essences, qui seraient particulièrement intéressantes à l'avenir du point de vue du changement climatique, ont été regroupées sous les termes « *autres conifères* » et « *autres feuillus* ». Cela montre qu'à l'époque, l'accent était encore fortement mis sur la production de bois et que le changement climatique n'était pas encore pris en compte.

Le PG de 2025, qui compte 79 pages, se base également sur un inventaire par échantillonnage, avec 484 échantillons. La deuxième base de données est la carte des peuplements. Toutes les essences présentes et leurs proportions ont été recensées, soit 45 essences au total. Un chapitre traite explicitement du « *caractère naturel et de l'adaptation au changement climatique* ».

Les surfaces forestières de 1998 et 2025 ne sont pas identiques. La propriété forestière a été agrandie de quelques parcelles ainsi que des 43.8 ha de la commune de Turgi (fusion de communes). En raison de la délimitation de diverses réserves forestières et îlots de vieux bois, la part de renonciation à l'exploitation de l'OBG Baden s'élève aujourd'hui à 144.6 ha, soit 19.5% de la surface forestière totale de 743.3 ha. Ainsi, l'état des forêts en 1998 se réfère à une superficie de 687 ha, tandis qu'en 2025, la forêt exploitée recouvre 596.5 ha. Environ 550 ha sont comparables entre les deux inventaires.

Les inventaires ont été effectués un à deux ans avant le début des périodes couvertes par les plans de gestion, ce qui correspond donc aux états de 1996-1997 et de 2023. Par souci de simplicité, nous parlerons ci-après de l'état en 1998 / 2025 (conformément à la désignation des plans de gestion).

3. Évolution de l'adaptation 1998-2025

3.1. Diversité des essences 1925-1998

Le PG 1998 contient des informations sur la répartition des essences (par rapport au volume sur pied). L'évolution depuis 1925 est présentée ci-dessous (vert = essences d'avenir) :

| | 1925 | 1935 | 1946 | 1956 | 1966 | 1976 | 1986 | 1998 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Épicéa | 35 | 36 | 39 | 40 | 42 | 42 | 38 | 39 |
| Sapin | 11 | 12 | 17 | 17 | 17 | 14 | 9 | 9 |
| Pin | 8 | 8 | 5 | 6 | 5 | 4 | 3 | 4 |
| Mélèze | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 |
| Autres résineux | | | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Hêtre | 13 | 20 | 22 | 20 | 21 | 23 | 27 | 24 |
| Chêne | 5 | 10 | 6 | 6 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| Frêne | | | | | | | 6 | 6 |
| Érable | | | | | | | 3 | 4 |
| Autres feuillus | 27 | 13 | 8 | 8 | 7 | 9 | 5 | 5 |
| Résineux | 55 | 57 | 64 | 66 | 67 | 64 | 54 | 56 |
| Feuillus | 45 | 43 | 36 | 34 | 33 | 36 | 46 | 44 |
| Essences d'avenir | 40 | 31 | 21 | 22 | 18 | 18 | 17 | 20 |

Tableau 1 : Proportion des essences en pourcentage du volume sur pied [%V] de 1925 à 1998.

Au fil des décennies, les changements ont été relativement faibles dans l'ensemble. La part maximale de résineux a été atteinte en 1966 avec 67%. Lors de la révision du plan de gestion en 1998, la part d'épicéas était encore relativement élevée, avec 39%.

À partir de 1986, les inventaires complets (seuil = 16 cm) ont été abandonnés et remplacés par un échantillonnage par placettes (seuil = 8 cm), ce qui a probablement entraîné une augmentation soudaine de la proportion de feuillus pour des raisons méthodologiques (stratum supplémentaire de jeune forêt avec une proportion plus élevée de feuillus).

En 1998, la proportion d'essences d'avenir (définition actuelle) était de 20%, en partant du principe que les « *autres feuillus et conifères* » sont des essences d'avenir. Il est intéressant de noter que cette proportion était deux fois plus élevée en 1925 (40%) elle a été réduite à 31% en 1935 et a oscillé entre 17 et 22% à partir de 1946. La culture des résineux s'est probablement intensifiée entre 1925 et 1946, les années de pénurie de la Seconde Guerre mondiale ayant également joué un rôle. C'est de cette époque que datent certaines plantations de douglas et de pin Weymouth (*Pinus strobus*), formant le 2% des autres conifères. Parallèlement, la proportion des autres feuillus a été fortement réduite, peut-être en raison de la conversion des taillis et des taillis sous futaie.



Illustration 2 : Première intervention entièrement mécanisée avec récolte de bois, près de 25 ans après la tempête Lothar. Des travaux de soins à la jeune forêt ont été effectués ici en 2007 et 2017, seuls les chênes, mélèzes, pins et les essences localement rares telles que le douglas ou le cerisier ayant été favorisés. La zone comprend 21 essences. Les bouleaux et les trembles, qui prédominaient jusqu'à présent, ont été favorisés pour la première fois. Ces essences fournissent déjà de bons produits (en tant que concurrentes).

3.2. Diversité des essences en 2025

Les informations relatives à la diversité des essences en 2025 proviennent d'une part de l'inventaire par échantillonnage (proportion de surface terrière [%G]). D'autre part, la carte des peuplements permet de tirer des conclusions (%V, degré de couverture [%]). Les parts de surface par stade de développement ont également été calculées à partir de la carte des peuplements. Cela permet d'évaluer l'évolution de la forêt dans le temps, ce qui constitue un paramètre de contrôle important. La présentation est alphabétique et séparée entre feuillus et conifères ; les essences d'avenir sont sur fond vert, les essences « *exotiques* » sur fond jaune et les néophytes potentiellement envahissantes sur fond orange. Lors de l'inventaire par échantillonnage, toutes les essences recensées ont été répertoriées, même si elles représentent moins de 0.05% (arrondi à « 0 »). Pour des raisons techniques (BKonline du canton d'Argovie), certaines essences, telles que le sorbier des oiseleurs ou le sapin de Vancouver (*Abies grandis*), n'ont pas pu être répertoriées spécifiquement. Elles sont incluses dans les catégories « *autres feuillus* » et « *autres résineux* ». (Remarque : les pourcentages des proportions d'essences par stade de développement se réfèrent à leur présence dans le stade de développement concerné (somme = 100%) ; ceux du total se réfèrent toutefois à l'ensemble de la forêt.) Abréviations : JW/D = rajeunissement/fourré ; S1 = bas-perchis ; S2 = haut-perchis ; B1 = jeune futaie ; B2 = futaie moyenne ; B3 = vieille futaie ; Irr. = irrégulier = lisières de forêt et végétation riveraine. Jaune : essences non-indigènes. Orange : essences non-indigènes présentant un potentiel invasif.

| Données en pourcentage | Inventaire | Cartographie des peuplements dans BKonline | | | | | | | |
|-------------------------------|------------|--|---------|----------|----------|----------|----------|--------|-------|
| Stade de développement | Tous | Total | JW/D | S1 | S2 | B1 | B2 | B3 | Irr. |
| Essence | | Tous | 0-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm | 30-40 cm | 40-50 cm | >50 cm | étagé |
| Tremble | 0.4 | 0.9 | 1.6 | 0.5 | 2.1 | 1.1 | 0.8 | 0.1 | 0.8 |
| Érable sycomore | 12.0 | 12.5 | 17.2 | 15.8 | 17.0 | 16.7 | 10.2 | 6.0 | 15.5 |
| Bouleau | 2.0 | 2.6 | 3.7 | 4.6 | 8.6 | 1.4 | 0.6 | 0.0 | 2.2 |
| Hêtre | 26.6 | 27.2 | 22.2 | 19.4 | 20.7 | 18.4 | 24.5 | 41.6 | 28.9 |
| Châtaignier | 0.0 | 0.1 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 |
| Chêne | 5.4 | 6.9 | 17.5 | 28.7 | 6.7 | 4.2 | 2.6 | 5.1 | 10.0 |
| Alisier torminal | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.5 |
| Frêne | 3.7 | 4.0 | 1.8 | 3.2 | 2.1 | 4.1 | 4.5 | 5.4 | 3.5 |
| Érable champêtre | 0.6 | 0.3 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.3 | 1.3 |
| Chêne pubescent | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Aulne blanc | 0.0 | | | | | | | | |
| Charme | 2.5 | 1.6 | 2.3 | 2.1 | 3.0 | 1.1 | 1.3 | 0.6 | 3.3 |
| Cerisier | 1.4 | 2.1 | 2.1 | 2.8 | 2.6 | 2.2 | 2.0 | 0.8 | 6.3 |
| Tilleul | 3.1 | 2.6 | 1.8 | 3.3 | 1.8 | 2.4 | 3.1 | 2.5 | 4.7 |
| Alisier blanc | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| Hêtre d'Orient | 0.0 | 0.2 | 4.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Paulownia | 0.0 | | | | | | | | |
| Robinier | 0.1 | 0.3 | 0.8 | 0.2 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 2.1 |
| Chêne rouge | 3.0 | 2.3 | 0.8 | 1.9 | 0.4 | 7.6 | 3.3 | 0.1 | 0.8 |
| Saule marsault | 1.4 | 1.6 | 2.3 | 3.7 | 5.0 | 0.8 | 0.2 | 0.0 | 3.0 |
| Saule blanc | 0.1 | | | | | | | | |
| Érable à feuilles d'obier | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Aulne noir | 0.7 | 1.3 | 0.8 | 1.2 | 3.2 | 1.0 | 0.3 | 0.4 | 4.1 |
| Noyer d'amérique | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Peuplier noir | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 |
| Cormier | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 |
| Érable plane | 0.2 | 0.3 | 0.0 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.5 | 0.8 |
| Orme de montagne | 0.4 | 0.4 | 0.8 | 0.9 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.0 | 0.6 |
| Sorbier des oiseleurs | 0.3 | | | | | | | | |
| Noyer | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 1.4 | 0.7 | 0.2 | 0.0 | 0.2 | 0.5 |
| Pommier sauvage | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Poirier sauvage | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.3 |
| Chêne chevelu | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Peuplier « artificiel » | 0.1 | | | | | | | | |
| Autres feuillus | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.6 |
| Autres feuillus non-indigènes | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.7 | 0.9 |

Tableau 2 : Proportions des essences feuillues en 2025 d'après l'inventaire par échantillonnage [%G] et la carte des peuplements (par stades de développement, proportions de la surface [%]).

Les proportions d'essences issues de l'inventaire par échantillonnage et de la carte des peuplements concordent remarquablement bien. L'essence principale et l'essence feuillue la plus fréquente est le hêtre avec 27%. La deuxième essence feuillue la plus fréquente est l'érable sycomore avec 12%. Le frêne a diminué pour atteindre 4%. La proportion de chênes, qui s'élève à 6%, est remarquable. La présence répandue d'essences d'avenir importantes telles que l'érable champêtre, le charme, le cerisier et le tilleul, ainsi que d'essences pionnières telles que le tremble, le bouleau, le saule marsault et l'aulne noir, est très réjouissante.

Le stade de développement « *bas-perchis* » reflète les surfaces touchées par Lothar, avec actuellement 18.8% d'essences pionnières. Les peuplements « *vielle futaie* » présentent la plus forte proportion de hêtres. Il convient de noter la proportion de chênes de 17.5% dans le stade de développement le plus jeune « *rajeunissements/fourrés* » et même de 28.7% dans le stade « *bas-perchis* » ; ce qui témoigne des efforts importants déployés. Les 7.6% de chênes rouges dans la « *jeune futaie* » reflètent la forte promotion de cette essence il y a environ 30 à 40 ans. Certaines essences, comme le hêtre d'Orient ou le cèdre de l'Atlas, n'apparaissent que dans le stade de développement le plus récent.

| Données en pourcentage | Inventaire | Carte des peuplements dans BKonline | | | | | | | |
|-------------------------------|------------|-------------------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|--------|-------|
| Stade de développement | | Total | JW/D | S1 | S2 | B1 | B2 | B3 | Irr. |
| Essence | | Tous | 0-10 cm | 10-20 cm | 20-30 cm | 30-40 cm | 40-50 cm | >50 cm | étagé |
| Cèdre de l'Atlas | 0.0 | 0.1 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Douglas | 1.4 | 1.3 | 0.5 | 0.2 | 0.5 | 0.4 | 2.0 | 2.5 | 0.2 |
| If | 0.6 | 0.3 | 0.0 | 0.4 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| Épicéa | 22.7 | 20.2 | 8.1 | 4.9 | 15.5 | 31.0 | 28.9 | 18.7 | 5.4 |
| Pin | 1.8 | 1.3 | 0.3 | 0.7 | 1.5 | 0.7 | 1.1 | 1.9 | 1.1 |
| Mélèze | 2.6 | 3.1 | 1.3 | 1.1 | 6.1 | 2.8 | 3.9 | 1.8 | 0.9 |
| Sapin de Vancouver | 0.3 | | | | | | | | |
| Séquoia | 0.1 | | | | | | | | |
| Sapin | 6.1 | 4.9 | 3.1 | 1.6 | 0.5 | 2.1 | 8.7 | 9.4 | 0.8 |
| Thuja | 0.1 | | | | | | | | |
| Pin Weymouth | 0.1 | | | | | | | | |
| Autres résineux non-indigènes | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.0 |

Tableau 3 : Proportions des résineux en 2025 d'après l'inventaire par échantillonnage [%G] et la carte des peuplements (subdivisée par stades de développement, [%G]).

Parmi les résineux, l'épicéa est de loin l'essence la plus fréquente (22%). Il est suivi par le sapin, le mélèze et le pin. Le douglas atteint 1,4%. La proportion d'if (0,6%) est remarquable. L'épicéa est très présent dans la jeune futaie et la futaie moyenne, ce qui entraîne des risques accrus. Dans les jeunes peuplements naturellement régénérés, il n'est plus présent qu'en faible proportion (moins de 10%) ; dans les zones touchées par Lothar, il représente encore 15%. Le mélèze est bien représenté dans le haut-perchis avec 6,1% ; il s'agit exclusivement de mélèzes naturellement régénérés sur des zones de chablis.

3.3. Comparaison 1998 - 2025

Le tableau suivant présente les proportions des essences en 1998 et 2025, les deux bases de données du PG 2025 étant indiquées (échantillonnages et carte des peuplements).

| | 1998 Échantillons | 2025 Échantillons | 2025 Carte des peuplements |
|---------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|
| Épicéa | 39 | 22.7 | 20.2 |
| Sapin | 9 | 6.1 | 4.9 |
| Pin | 4 | 1.8 | 1.3 |
| Mélèze | 2 | 2.6 | 3.1 |
| Autres résineux | 2 | 2.6 | 2.1 |
| Hêtre | 24 | 26.6 | 27.2 |
| Chêne | 5 | 5.4 | 6.9 |
| Frêne | 6 | 3.7 | 4.0 |
| Érable | 4 | 12.0 | 12.5 |
| Autres feuillus | 5 | 16.5 | 17.8 |
| Résineux | 56 | 35.8 | 31.4 |
| Feuillus | 44 | 64.2 | 68.8 |
| Essences d'avenir | 20 | 37.9 | 40.2 |
| Essences pionnières | ? | 4.9 | 6.5 |

Tableau 4 : Évolution des proportions d'essences entre 1998 et 2025 pour les essences principales, les feuillus et les conifères ainsi que les essences d'avenir et les essences pionnières.

La proportion des essences à risque que sont l'épicéa et le sapin a fortement diminué, elle a pratiquement été divisée par deux. Malheureusement, l'essence d'avenir qu'est le pin sylvestre a également fortement diminué. Parmi les feuillus, le frêne a diminué (de manière étonnamment faible) en raison du dépérissement du frêne. Le plus frappant est la multiplication par trois de la proportion d'érables sycomores. L'augmentation des autres feuillus est encore plus forte, passant de 5 à environ 17%, dont il s'agit d'essences d'avenir (avec des incertitudes concernant l'orme de montagne, qui ne représente toutefois que 0.4%). Une grande partie de ces espèces sont des essences pionnières (6%) qui ne représentaient probablement qu'une très faible proportion en 1998. Les changements observés en seulement un quart de siècle sont très positifs et encourageants. À titre de comparaison, selon l'inventaire forestier d'Argovie (2016), la forêt argovienne contient en moyenne 26.6% d'essences d'avenir.



Illustration 3 : Le problème supposé de cette trouée dans un peuplement de fougères aigles sur une surface dévastée par la tempête Lothar (au premier plan) s'avère de plus en plus, avec le temps, être une opportunité de préserver des essences de lumière avec peu d'entretien (photo 2019).

3.4. Proportion des essences par stade de développement

L'avenir réside dans les jeunes peuplements. En d'autres termes, les rajeunissements, les fourrés et les perchis reflètent l'activité sylvicole des dernières décennies. Cette évolution est impressionnante à Baden et une garantie pour l'avenir. Des informations supplémentaires par essence se trouvent dans les deux tableaux du chapitre 3.2. Le tableau suivant présente la situation en 1998 et la répartition des essences en 2025 selon les stades de développement. Les temps de passages (théoriques !) utilisés pour l'âge du peuplement ou la période de création (année de régénération) ont été calculés pour la classe de productivité « *bonne* » (épicéa, bonité 26, hêtre, bonité 24) avec une durée de révolution moyenne, pondérée en fonction de la surface, de 98 ans.

| Année | 1998 | 2025 | | | | | | |
|-------------------------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| | | JW/D | S1 | S2 | B1 | B2 | B3 | Irr. |
| Surface | | 22.9 | 34.0 | 117.2 | 112.9 | 107.5 | 164.1 | 37.8 |
| Temps de passage | | 11 | 11 | 13 | 16 | 23 | 24 | -- |
| Âge du peuplement | | 0 à 11 | 11 à 22 | 22 à 35 | 35 à 51 | 51 à 74 | 74 à 98 | -- |
| Année de rajeunissement | | 2013-2024 | 2002-2013 | 1989-2002 | 1973-1989 | 1950-1973 | 1926-1950 | -- |
| Épicéa | 39 | 8.1 | 4.9 | 15.5 | 31.0 | 28.9 | 18.7 | 5.4 |
| Sapin | 9 | 3.1 | 1.6 | 0.5 | 2.1 | 8.7 | 9.4 | 0.8 |
| Pin | 4 | 0.3 | 0.7 | 1.5 | 0.7 | 1.1 | 1.9 | 1.1 |
| Mélèze | 2 | 1.3 | 1.1 | 6.1 | 2.8 | 3.9 | 1.8 | 0.9 |
| Autres conifères | 2 | 1.9 | 0.6 | 0.7 | 1.2 | 2.7 | 3.5 | 0.6 |
| Hêtre | 24 | 22.2 | 19.4 | 20.7 | 18.4 | 24.5 | 41.6 | 28.9 |
| Chêne | 5 | 17.5 | 28.7 | 6.7 | 4.2 | 2.6 | 5.1 | 10.0 |
| Frêne | 6 | 1.8 | 3.2 | 2.1 | 4.1 | 4.5 | 5.4 | 3.5 |
| Érable sycomore | 4 | 17.2 | 15.8 | 17.0 | 16.7 | 10.2 | 6.0 | 15.5 |
| Autres feuillus | 5 | 26.6 | 24.0 | 29.2 | 18.8 | 12.9 | 6.6 | 33.3 |
| Résineux | 56 | 14.7 | 8.9 | 24.3 | 37.8 | 45.3 | 35.3 | 8.8 |
| Feuillus | 44 | 85.3 | 91.1 | 75.7 | 62.2 | 54.7 | 64.7 | 91.2 |
| Essences d'avenir | 20 | 63.9 | 69.9 | 55.1 | 41.6 | 29.6 | 23.0 | 60.7 |
| Essences pionnières | ? | 8.3 | 10.0 | 18.8 | 4.3 | 1.8 | 0.5 | 10.1 |

Tableau 5 : Évolution des proportions d'essences entre 1998 et 2025 pour les essences principales, les feuillus et les conifères ainsi que les essences d'avenir et les essences pionnières. L'état à chaque stade de développement et la durée de régénération permettent de déterminer la sylviculture de la période correspondante.

Les vieilles futaies, qui ne comptent que 23% d'essences d'avenir, seront rajeunies au cours des 24 prochaines années. Dans les jeunes futaies et les futaies moyennes la proportion d'essences d'avenir est progressivement plus élevée (29.6% et 41.6%). Cependant, la proportion d'épicéas y est également plus élevée (au détriment des hêtres), ce qui entraîne des risques non négligeables et empêchera certains de ces peuplements d'atteindre l'âge d'exploitation initialement prévu.

Les peuplements en haut-perchis reflètent l'activité sylvicole de 1989 à 2002 ; ils ont été créés pour la plupart par l'ouragan Lothar (1999). On y trouve déjà 55% d'essences d'avenir, dont une proportion très élevée (18.8%) d'essences pionnières et 6.7% de chênes. La tempête a donc été mise à profit de manière idéale et a elle-même créé de bonnes conditions pour la diversité des essences et pour les espèces d'avenir. Dans les peuplements de haut-perchis, ou l'épicéa était déjà partiellement pré-régénéré, sa proportion y est encore de 15.5%.

Dans les peuplements de bas-perchis, créés entre 2002 et 2013, la proportion d'essences d'avenir est encore nettement plus élevée, avec près de 70%. Il y a encore beaucoup d'essences pionnières (10%), mais la proportion de chênes, qui atteint 28.7%, est remarquable. Cette dernière est due à la plantation de chênes dans le cadre de la réserve forestière de chênes (à partir de 2007). La proportion d'épicéas est encore de 4.9%.

Au cours des 11 dernières années, on a principalement travaillé avec le rajeunissement naturel. Cela a également permis d'atteindre une proportion de 17.5% de chênes, qui sont mieux répartis sur la surface que les chênes issus de plantations. Il y a à nouveau un peu plus d'épicéas, mais les 8.1% (issus du rajeunissement naturel) ne représentent qu'un risque négligeable. Ainsi, la proportion d'essences d'avenir dans les rajeunissements et les fourrés s'élève à 63.9%.

En résumé, on peut dire qu'à partir du haut-perchis, les peuplements contiennent suffisamment d'essences d'avenir. Leur proportion peut être augmentée avec chaque éclaircie. Même des pertes prématurées d'épicéas, de sapins, de hêtres ou de frênes pourraient être compensées. Les peuplements hétérogènes (lisières de forêt avec beaucoup de lumière latérale) sont également riches en espèces.



Illustration 4 : *Plantation par cellules de chênes âgés de 17 ans. La réserve forestière de chênes, avec pour objectif le rajeunissement des chênes, a conduit à une proportion remarquablement élevée de chênes dans les peuplements actuels de bas-perchis. À l'époque, les groupes ont été plantés à des distances relativement faibles (environ 10 m de centre à centre), ce qui a nécessité l'élimination d'autres essences issues du rajeunissement naturel ; les leçons nécessaires en ont été tirées.*

Ainsi, selon les connaissances actuelles, un peu plus d'un tiers de la superficie de la forêt de Baden est déjà très bien adapté. En raison du passage de Lothar, le rajeunissement a été très prudent au cours des 25 dernières années, de sorte que l'état des bas-perchis et des jeunes peuplements (rajeunissement / fourrés) ne concerne malheureusement qu'une superficie relativement petite de 34 et 23 hectares respectivement.

À l'avenir, la forêt continuera d'être rajeunie de manière durable. Une sylviculture diversifiée et adaptative, basée sur la coupe progressive, doit garantir, sur la plus grande partie de la surface gérée, que la forêt du futur continue de se développer avec des chênes, des essences pionnières et d'autres essences d'avenir. Conformément au concept sylvicole, 34 des 596 hectares de forêt gérée sont traités en futaie irrégulière. L'analyse du PG 2025 a montré que presque seuls les hêtres se régénèrent ici. Le risque est toutefois acceptable compte tenu de la petite superficie concernée (5.7% de la forêt gérée).

La gestion par coupe progressive permet un bon suivi de l'adaptation au changement climatique, car la proportion des différentes essences par peuplement et donc par stade de développement est connue (mise à jour au minimum dans le cadre de la révision périodique des plans de gestion, dans le canton d'Argovie au plus tard après 15 ans). En revanche, en forêt irrégulière, les informations en dessous du seuil d'inventaire (16 ou 17.5 cm) font défaut et les « anomalies » ne se révèlent que tardivement, car les jeunes arbres, sous couvert, poussent lentement. Dans le canton d'Argovie, depuis 2022, la planification en futaie irrégulière exige également des relevés détaillés pour les trois strates (peuplement dominant, prétendants et jeunes arbres).

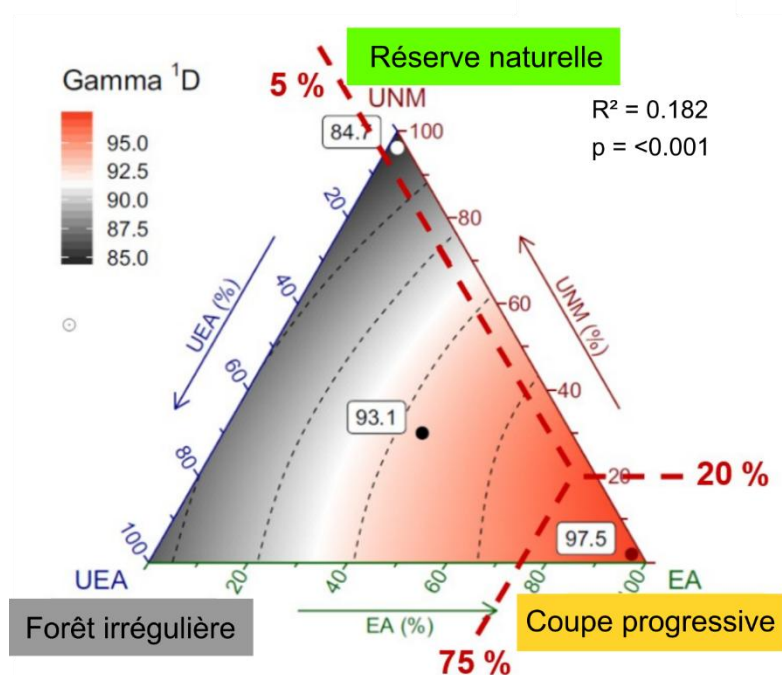
4. Facteurs de réussite

4.1. Bases naturelles

- Diversité géologique
- Diversité des types de stations

4.2. Philosophie d'entreprise

- Traitement en coupe progressive sur 93.2% de la superficie de la forêt gérée, complété par 1.1% de taillis-sous-futaie et 5.7% de forêt irrégulière
- Le concept sylvicole de 2022 (Office forestier de Baden et Ammann, 2022) postule une stratégie de diversité maximale à plusieurs niveaux avec (chiffres arrondis) 20% de renonciation à l'exploitation, 75% de coupe progressive et 5% de forêt irrégulière. Cela permet d'atteindre une biodiversité globale élevée, ce qui correspond à un profil de risque faible en matière de changement climatique.



Diversité "gamma" selon GOSSNER (2021)

Biodiversité régionale (à grande échelle) totale, en tenant compte du nombre d'espèces et de leur fréquence (indice exponentiel de Shannon).

UNM = unmanaged = réserve forestière (20 % de la forêt de Baden)

UEA = uneven-aged = forêt irrégulière (5 %)

EA = even-aged = coupe progressive (75 %).

La coupe progressive présente la biodiversité totale la plus élevée.

Illustration 5 : « Mix sylvicole » et biodiversité à Baden (Office forestier de Baden et al. 2022).

4.3. Objectifs modifiés avant 1998

- Promotion des feuillus (du moins sur le papier) depuis 1956
- Depuis 1993, abandon complet de la plantation d'épicéas et de sapins
- Par conséquent, passage généralisé au rajeunissement naturel, avec une diversité automatique plus grande et une forme de mélange naturellement plus fine
- Promotion des essences pionnières depuis les années 1990, ce qui a permis de disposer de semenciers précieux de ces espèces au moment de la tempête Lothar
- Des expériences individuelles de rationalisation biologique et d'entretien ciblé d'arbres de place ont déjà eu lieu avant Lothar

4.4. Tempête Lothar et scolytes 2000-2003, stratégie de lutte

- Diminution soudaine de la proportion de résineux, car de nombreux peuplements résineux âgés ont été touchés
- Création de plus de 100 hectares de jeunes peuplements forestiers présentant une grande diversité d'essences (écologie de régénération post chablis)
- Les arbres habitats / survivants de la tempête ont été systématiquement laissés sur pied. Cela a permis la création de peuplements riches en structures et précieux sur le plan écologique. Les arbres habitats ont contribué de manière significative à la préservation de toutes les fonctions forestières sur les secteurs disloqués et ont réduit la surface à soigner.
- « *Gestion des dommages* » principalement par régénération naturelle, malgré un fort envahissement par les ronces. Cette approche était nouvelle et a nécessité un certain courage
- Des incitations ont été mises en place sous forme de subventions par la division forêts du canton d'Argovie (« *régénération naturelle avec plantation complémentaire* », contribution de 5500 CHF/ha, la plantation complémentaire étant facultative, c'est-à-dire qu'il était possible de travailler entièrement avec la régénération naturelle). À Baden, presque uniquement des aulnes noirs ont été plantés sur des parcelles aux sols compactés.

4.5. Entretien ciblé des jeunes forêts après la tempête Lothar

- Sur les grandes surfaces touchées par Lothar, le manque de ressources n'a guère permis de procéder à un entretien traditionnel des jeunes forêts (dépressage, sélection négative, homogénéisation).
- À partir de 2007, entretien ciblé des arbres de place et rationalisation biologique. Sur les surfaces touchées par la tempête, seules les essences de lumière telles que le chêne, le mélèze, le pin, le cerisier ou le noyer ont été favorisées, et ce dès le stade du fourré, si possible uniquement à la distance finale. Aucune intervention n'a été effectuée dans le bourrage. Il n'y a plus eu de sélection négative, c'est-à-dire que toutes les qualités et toutes les essences, y compris les essences pionnières, ont été laissées dans le bourrage. Les rotations étaient souvent très longues, c'est-à-dire que beaucoup de choses ont été laissées aux processus naturels. Le premier cours sur la « *rationalisation biologique* » dans le canton d'Argovie a été dispensé à la demande de Georg Schoop pour l'entreprise forestière de Baden. À partir de 2008, ce cours est devenu obligatoire pour toutes les entreprises forestières argoviennes dans le cadre des subventions pour l'entretien des jeunes forêts (Ammann 2009).
- À partir de 2008, le nouveau système argovien de subventions pour les soins aux jeunes forêts encourage des mesures ciblées sur les arbres de place selon les principes de la rationalisation biologique (Ammann 2009).

4.6. Gestion forestière écologique, multifonctionnalité

- Promotion ciblée du chêne grâce à la réserve forestière de chênes (depuis le 1.10.2007). Chaque année, (au moins) 30 ares de chêne sont régénérés.
- Le périmètre de la réserve forestière de chênes couvre la majeure partie de la forêt gérée. Ici, tous les chênes sont systématiquement favorisés à chaque stade de développement, quelle que soit la qualité de leur tronc. Cela correspond de plus en plus à la prise de conscience des effets du changement climatique.
- Pour la biodiversité, mais aussi pour divers projets concrets d'écosponsoring, les essences pionnières et autres essences rares sont encouragées depuis longtemps ; les arbres de place de tremble, de bouleau ou de saules sont normaux et compatibles avec la production de bois.
- Du point de vue de la forêt récréative, qui joue un rôle important à Baden, une grande diversité d'essences est également souhaitable.

4.7. Sensibilisation accrue au changement climatique et à l'adaptation

- Au cours des dernières années, et plus particulièrement avec la révision du PG 2025, l'importance des essences secondaires existantes en tant qu'essences d'avenir est passée au premier plan. Cela concerne par exemple l'érable champêtre, l'érable plane, le tilleul à grandes feuilles, le tilleul à petites feuilles et l'if.
- Les essences non-indigènes telles que le douglas, le chêne rouge et le pin Weymouth sont également les bienvenues, mais elles ne sont pas plantées conformément au concept sylvicole, elles sont uniquement régénérées naturellement.
- Depuis 2022, d'autres essences d'avenir sont introduites à petite échelle dans des « îlots forestiers climatiques ». Il s'agit d'essences indigènes encore inexistantes ou très rares, ainsi que d'essences non-indigènes provenant de la région eurasiennne : châtaignier, hêtre d'Orient, cèdre de l'Atlas.
- Depuis 2025, lorsque cela est possible, on favorise délibérément les pins sylvestres plutôt que les mélèzes lors des soins aux jeunes forêts, même si le mélèze, en tant qu'essence à croissance rapide, est souvent un peu plus haut et plus gros en diamètre que le pin dans les perchis.

4.8. Incitations efficaces grâce aux subventions

Le rôle positif des subventions argoviennes a déjà été évoqué dans les chapitres précédents, mais il convient de le résumer ici :

- Les subventions accordées après Lothar étaient particulièrement remarquables et en avance sur leur temps : grâce aux contributions pour le rajeunissement naturel avec plantation complémentaire (facultative !), c'est-à-dire généralement sans plantation à Baden, des peuplements très diversifiés avec une forte proportion d'essences pionnières ont vu le jour.
- Subventionnement de l'entretien des jeunes forêts à partir de 2008, qui n'était plus axé sur les mesures mais sur les objectifs. Il fallait formuler des objectifs de régénération qui pouvaient être atteints avec un minimum d'efforts (ou sans aucune intervention, si possible).
- Promotion du chêne dans le cadre de la réserve forestière de chênes à partir de 2007.
- Promotion d'espèces rares par divers projets de protection de la nature (p. ex. fruitiers sauvages et alisier torminal dans la réserve forestière spéciale, promotion des ifs).



Illustration 6 : La forêt de Baden est souvent visitée à des fins de formation et de perfectionnement. Ici, un groupe de futurs forestiers (BZW Lyss) dans la partie de la forêt irrégulière Österliwald, dominée par les hêtres, au printemps.

5. Coûts de l'adaptation à ce jour

L'adaptation réalisée dans les peuplements plus jeunes s'est principalement appuyée sur des processus naturels (rajeunissement naturel, rationalisation biologique, autodifférenciation) et n'a donc pas été coûteuse. La diversité résultant de l'écologie du rajeunissement dans le traitement par coupe progressive (« *poursuite du modèle à succès des chablis à plus petite échelle* ») en est le fondement principal.

- Sur les surfaces touchées par Lothar, les coûts effectifs n'ont représenté qu'une fraction des subventions (gestion des dégâts causés par la tempête et entretien des jeunes forêts). De plus, des contributions pour les soins aux jeunes forêts ont pu être générées par le biais de l'écosponsoring (cf. Ammann 2019).
- Les plantations de chênes ont été très coûteuses, mais elles ont été financées par des contributions élevées au titre de la protection de la nature. Des leçons ont été tirées des groupes de chênes initialement plantés trop rapprochés et trop nombreux ; aujourd'hui, l'objectif de jeunes peuplements riches en chênes est poursuivi de manière beaucoup plus économique.
- Les îlots forestiers climatiques sont (comme toutes les plantations) coûteux. Certaines essences bénéficient de contributions issues du « *paquet de mesures* » cantonal, d'autres sont financées par l'écosponsoring.

| Type de peuplement | Superficie (ha) | Coûts/ha | Contribution/ha | Rendement/ha | Rendement total |
|--|-----------------|----------|--|--------------|------------------|
| Superficies touchées par la tempête Lothar | 115 | 2000.- | 5500.- (Lothar) 4000.- (Entretien des jeunes forêts) | 7500.- | 862'500.- |
| Chênes pour réserve | 8 | 30'000.- | 36'000.- | 6000.- | 48'000.- |
| Îlots forestiers climatiques | 2 | 20'000.- | 4000.- (ensemble de mesures) 20'000.- (écosponsoring) | 4000.- | 8000.- |
| Régénération naturelle régulière | 45 | 2000.- | 5000.- | 3000.- | 135'000.- |
| Total | 170 | | | | 1 053 500 |

Tableau 6 : Parts de surface, coûts, taux de subvention (montants connus ou estimés, en CHF) et résultat économique (en CHF) par type de peuplement (type de rajeunissement, objectif).

Les 10 hectares de plantations (chênes et îlots forestiers climatiques) représentent 6% de la surface forestière adaptée, mais représentent 47% des dépenses ! La sylviculture adaptative proche de la nature, en particulier sur les surfaces de régénération naturelle, a même généré des revenus considérables issus de la gestion forestière. L'adaptation ne doit pas nécessairement être coûteuse (cf. « *Sylviculture adaptative proche de la nature* », Ammann et al. 2024). Et les jeunes peuplements forestiers ne sont pas un risque, mais une chance ! Pour l'adaptation au changement climatique, c'est même **l'opportunité principale** !

« L'utilisation des processus naturels est la clé d'une gestion forestière réussie. Pour un secteur où la valeur ajoutée est si faible et les délais de production si longs, il est impératif de maintenir un profil de risque bas » (GEORG SCHOOP, 1952-2024).



Illustration 7 : Cône de régénération avec une forte proportion de douglas issus de la régénération naturelle. L'utilisation des processus naturels, combinée à une approche opportuniste, est déterminante pour réduire les coûts d'adaptation.

Remerciements

Ce projet « *Études de cas sur l'adaptation des forêts au changement climatique* » a été réalisé avec le soutien financier de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).

Sources

Ammann, P., 2024: Betriebsplan 2025 / 2039 für den Wald der Ortsbürgergemeinde Baden.

Ammann, P., Blanc, R., Brüllhardt, M. und Junod, P., 2024: Naturnaher adaptiver Waldbau. Umsetzungsprinzipien für die Anpassung an den Klimawandel.

Ammann, P., 2019: Dokumentation der Anpassung an den Klimawandel. Fallbeispiel Baden/Müseren.

Ammann, P., 2014: Checkkarten Jungwaldpflege. CODOC.

Ammann P. 2009: Jungwaldpflegebeiträge im Kanton Aargau. Systemwechsel von massnahmeorientiert zu zielorientiert. Wald und Holz 4/2009: 35-37.

Ammann P. 2009: 80 Forstbetriebe werden systematisch weitergebildet. Biologische Rationalisierung im Aargau. Wald und Holz 4/2009: 38-40.

Gossner, M., 2021: Welchen Beitrag leistet der Dauerwald für die Biodiversität in Buchenwäldern? - Neue Erkenntnisse aus der Biodiversitätsforschung. Montagskolloquium ETHZ.

Schoop, G., 1998: Waldwirtschaftsplan der Ortsbürgergemeinde Baden 1998 – 2010.

Stadtforstamt Baden und Ammann, P., 2022: Waldbaukonzept Baden.