



**HAL**  
open science

## Dynamique de fermeture des grandes trouées dans les forêts de montagne des Alpes du Nord

M. Fuhr, Joanna Weyant, Niels Durand, Catherine Riond

► **To cite this version:**

M. Fuhr, Joanna Weyant, Niels Durand, Catherine Riond. Dynamique de fermeture des grandes trouées dans les forêts de montagne des Alpes du Nord. *Rendez-vous Techniques de l'ONF*, 2015, 47, pp.3-10. hal-02602203

**HAL Id: hal-02602203**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02602203>**

Submitted on 11 Jul 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Dynamique de fermeture des grandes trouées dans les forêts de montagne des Alpes du Nord

La gestion sylvicole des peuplements alpins sur forte pente est soumise à de telles contraintes qu'elle s'envisage essentiellement par trouées, pour des raisons et dans des conditions qui ont été présentées dans notre numéro 45-46. Les modalités de cette gestion sylvicole résultent de travaux en partenariat avec divers organismes, et en particulier d'une étude d'Irstea sur la dynamique de fermeture des trouées, restituée ici.

La récolte par trouées est largement préconisée par le Guide des Sylvicultures de Montagne des Alpes du Nord (GSM; Gauquelin et Courbaud, 2006), en particulier dans les peuplements à rôle de production et/ou de protection situés en forte pente. Elle permet de concilier, dans un contexte de fortes contraintes, des objectifs de sylviculture et des opérations de récolte, plus rentables économiquement par la massification du prélèvement. Elle permet également de rationaliser les opérations d'exploitation (abattage, débardage), ce qui laisse espérer une limitation spatiale des dégâts aux tiges et une amélioration des conditions de travail des bûcherons, en limitant leurs déplacements. Elle est parfois justifiée écologiquement, en particulier pour les essences exigeantes en lumière (épicéa, mélèze, pins) qui trouvent dans la trouée les conditions favorables à leur régénération. Elle peut aussi être nécessaire d'un point de vue sylvicole, pour amorcer le renouvellement de peuplements dominés par des gros voire très gros bois.

Pour autant, si les observations de trouées anciennes suggèrent que ces trouées « finissent toujours par se refermer », la généralisation de la sylviculture par trouées nécessite :

- de préciser l'échelle de temps

du processus de fermeture des trouées, dans un contexte où la dynamique forestière est souvent lente (Brang, 1998; Schönenberger, 2002; Rammig *et al.*, 2005; Streit *et al.*, 2009), avec la question sous-jacente du maintien du rôle de protection de la forêt;

- de vérifier que l'ouverture localisée de trouées n'entraîne pas une déstabilisation du peuplement sur une surface beaucoup plus importante que celle de la trouée initiale (phénomène de *gap expansion*), en d'autres termes, que le gestionnaire forestier reste maître de la taille de la trouée créée;
- d'évaluer l'intérêt des interventions en travaux (crochetage, plantations) afin d'accélérer le processus de régénération.

Dans le cadre du projet Interreg franco-suisse « Forêts de Protection », Irstea Grenoble et l'ONF ont rétrospectivement reconstitué la fermeture de 33 grandes trouées d'origine naturelle ou sylvicole (figures 1 et 2), au sein des principaux types de peuplements distingués dans le GSM. Les analyses ont porté sur l'état initial des trouées, les vitesses de fermeture, estimées par comparaison de photographies aériennes, et les stades de développement de la végétation, selon que la fermeture s'est faite naturellement ou avec travaux

sylvicoles. L'effet de la trouée sur le peuplement de bordure a aussi été étudié. Quelques facteurs déterminants pour une sylviculture adaptée au prélèvement par trouées ont ainsi été mis en évidence.

## Une démarche en trois étapes

Les 33 trouées étudiées sont réparties sur 14 forêts dans les types de peuplement suivants, en référence au GSM (Gauquelin et Courbaud, 2006) : épicéa à l'étage subalpin (7 trouées), épicéa à l'étage haut montagnard (12 trouées), mélange d'épicéa et de sapin aux étages montagnards intermédiaire et interne (6 trouées), mélange d'épicéa, de sapin et de hêtre à l'étage montagnard externe (8 trouées). La taille des trouées (figure 2) est généralement comprise entre 0,1 et 2 ha mais quelques trouées naturelles, issues de chablis, atteignent une taille supérieure à 10 ha. En 2011, les trouées les plus récentes étaient âgées d'une vingtaine d'années; les trouées les plus anciennes, qui proviennent d'un important coup de vent en 1936, étaient âgées de 75 ans.

La reconstitution de la fermeture des trouées s'est faite en trois étapes. La première étape consiste à interpréter manuellement une séquence de photographies aériennes orthorectifiées,

espacées d'environ 10 ans (figure 3); soit 3 photographies, pour les trouées les plus jeunes, à 6 photographies pour les trouées les plus âgées, les photographies les plus anciennes datant de 1948. Chaque trouée est précisément délimitée à partir de la photographie aérienne la plus ancienne sur laquelle elle apparaît. Une zone de bordure d'une largeur de 25 m est également délimitée autour de la trouée. Une grille régulière de 5 m x 5 m est superposée sur chaque photo. Chaque élément du quadrillage est ensuite affecté à l'une des 4 classes de couvert prédéfinies (voir le détail des classes et typologie correspondante en encadré).

La deuxième étape est une étude approfondie des documents de gestion (sommiers), afin d'établir une typologie simple des interventions sylvicoles réalisées, ou pas, dans les trouées (voir typologie en encadré).

La troisième étape consiste à préciser le stade de développement actuel du jeune peuplement à l'intérieur de chaque trouée, à l'aide de relevés dendrométriques réalisés entre 2009 et 2011 sur des placeaux emboîtés disposés selon une grille régulière, en distinguant 5 stades de développement (voir le détail des stades en encadré). Des relevés dendrométriques complémentaires ont été réalisés dans la forêt mature à proximité des trouées âgées de moins de 30 ans (24 trouées) de manière à caractériser la structure diamétrique des peuplements dans lesquels les trouées ont été ouvertes. En considérant le stade adulte (voir encadré), les peuplements dont les structures diamétriques sont unimodales (dominance des BM ou des GB) ont été définis comme réguliers. Les peuplements dont les structures diamétriques sont bimodales (dominance des PB et GB) ou régulièrement décroissantes (des PB aux GB) ont été définis comme irréguliers.

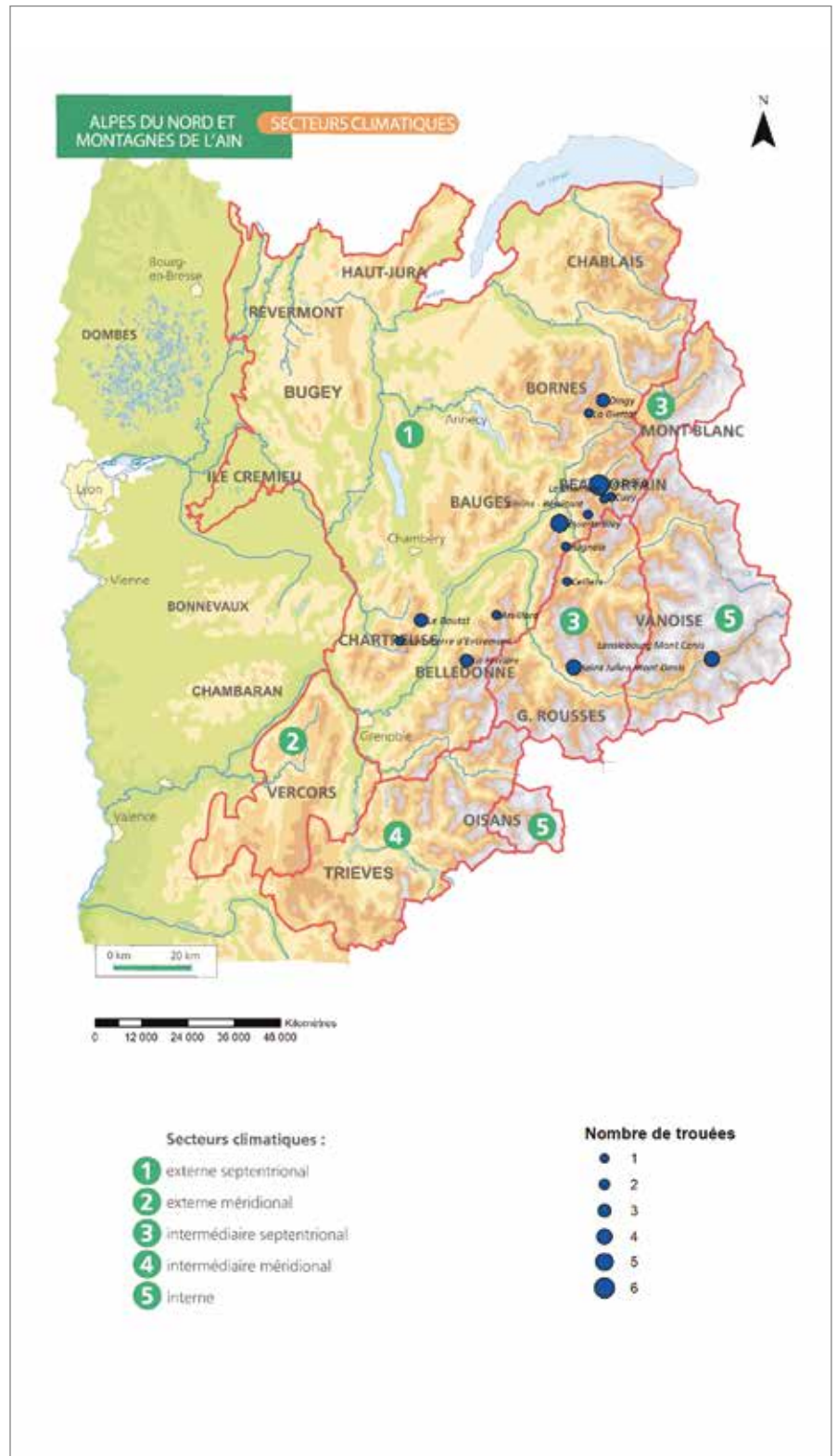


Fig. 1 : localisation des trouées étudiées

NB : les trouées du site du Boutat ne sont pas prises en compte dans l'article car trop récentes et trop petites pour en tirer des informations sur les peuplements du bas montagnard

### Éléments de caractérisation des trouées pour l'analyse

Classes de couvert (une classe affectée à chaque « maille » (5 m x 5 m) de chaque photo) :

- Classe 1 : peuplement haut, gros houppiers jointifs (résineux ou feuillus matures)
- Classe 2 : peuplement bas, petits houppiers jointifs, ou faiblement disjoints (recrus, souvent dominés par des essences feuillues)
- Classe 3 : surface sans couvert (trouée sensu stricto)
- Classe 4 : autres (pistes, parc à bois, zones rocheuses...)

### Typologie des interventions sylvicoles réalisées dans la trouée

- Pas d'intervention (évolution naturelle)
- Travaux de préparation du sol (crochetage)
- Plantation
- Travaux de dégagement ou dépressage
- Éclaircies

### Stades de développement de la végétation

- Stade **semis** :  $0,30 \text{ m} \leq H < 1,30 \text{ m}$
- Stade **régénération** acquise :  $H \geq 1,30 \text{ m}$  et  $d_{1,30 \text{ m}} < 5 \text{ cm}$
- Stade **bas** perchis :  $5 \text{ cm} \leq d_{1,30 \text{ m}} < 10 \text{ cm}$
- Stade haut **perchis** :  $10 \text{ cm} \leq d_{1,30 \text{ m}} < 17,5 \text{ cm}$
- Stade adulte : regroupe
  - les **Petits Bois** (PB :  $17,5 \text{ cm} \leq d_{1,30 \text{ m}} < 27,5 \text{ cm}$ ),
  - les **Bois Moyens** (BM :  $27,5 \text{ cm} \leq d_{1,30 \text{ m}} < 42,5 \text{ cm}$ )
  - les **Gros Bois** (GB :  $d_{1,30 \text{ m}} \geq 42,5 \text{ cm}$ )

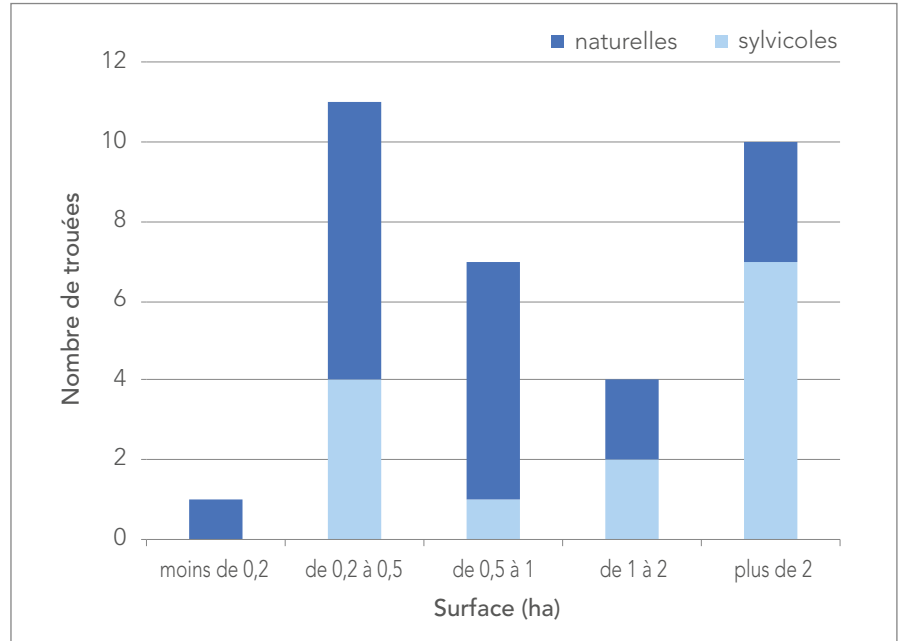


Fig. 2 : origine et taille des trouées

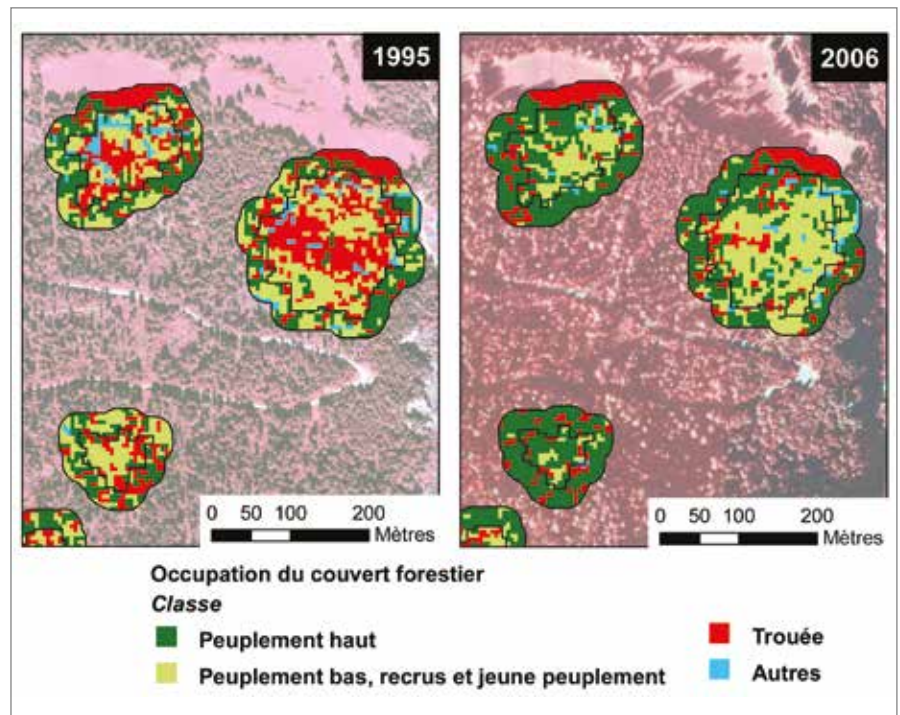


Fig. 3 : exemples d'orthophotos interprétées, site de Lanslebourg (73)  
NB : le contour noir interne délimite la trouée, le contour noir externe distant de 25 m délimite la zone de bordure

## État initial des trouées

Juste après la création des trouées, les parts relatives des surfaces interprétées « sans couvert » ou en « recré » sont très variables. Nos résultats soulignent que :

- la régénération préexistante (recrus) est en général plus abondante dans les trouées des peuplements irréguliers et dans les trouées d'origine naturelle, aux étages subalpin et haut montagnard ;
- les interventions sylvicoles (travail du sol et plantation) ont été ciblées sur les zones les plus ouvertes des trouées, c'est-à-dire sans régénération préexistante.

## Vitesses de fermeture

Les vitesses de fermeture (figure 4) sont estimées à partir de l'évolution des surfaces interprétées « sans couvert » sur les séquences de photographies aériennes, en calibrant un modèle de la forme  $A(t) = A_0 \exp(-\lambda t)$ ,  $A$  désignant le taux de surface sans couvert à l'âge  $t$ ,  $A_0$  le taux de surface sans couvert à la création de la trouée et  $t$ , l'âge de la trouée (son ancienneté). Le paramètre  $\lambda$  estime la vitesse de fermeture des surfaces sans couvert, sans information de composition ni de structure du couvert en cours d'installation.

## Évolution naturelle

En l'absence de régénération préexistante (figure 4a), dans les stations de fertilité moyenne à bonne des étages montagnard et haut montagnard, il faut environ 20 ans pour arriver naturellement à un taux de couverture équivalent à celui des peuplements adultes (surface sans couvert de l'ordre de 10 à 20 %). Cependant, avant 10 ans, les surfaces avec couvert représentent déjà la moitié de la surface initiale de la trouée, ce qui correspond, selon le critère de l'inventaire forestier national réalisé par l'IGN (seuil minimum de couvert = 40 %), à un couvert boisé fermé. La « cicatrisation visuelle » est donc assez rapide.

Le temps nécessaire est moins long dans les stations très fertiles : 10 ans pour un taux de couverture équivalent aux peuplements adultes et moins de 5 ans pour dépasser le seuil de couvert de 50 %. Il est par contre beaucoup plus long (40 ans) à l'étage subalpin, ainsi que dans les stations contraignantes, en particulier sur les sols secs superficiels où le GSM préconise d'ouvrir de petites trouées (hêtraies-sapinières sèches, sapinières-pessières peu humides, photo n° 1). Des observations similaires ont été faites dans des contextes très humides (mégaphorbiaies), en dehors de l'étude.

Le temps nécessaire est également plus long dans les trouées les plus grandes (de l'ordre d'une dizaine d'hectares), probablement en raison de l'éloignement des semenciers.

**Cependant, dans une gamme de taille de trouées s'étalant de 0,2 ha à 2 voire 3 ha (soit déjà au-delà des préconisations du GSM), on ne note pas d'effet notable de la taille de la trouée sur la vitesse de fermeture du couvert.**

Ces durées sont moindres si les trouées sont assises sur des taches de régénération préexistantes. Dans l'hypothèse d'une surface ouverte de l'ordre de 40 % lors de la création de la trouée (figure 4 b), il faut entre 25 et 30 ans pour refermer complètement (couvert > 80 %) une trouée au subalpin ou dans les stations contraignantes du haut montagnard et du montagnard, moins de 15 ans dans les autres situations.

## Effet des interventions sylvicoles

Le travail préparatoire du sol (crochetage) accélère notablement la fermeture des trouées. À l'étage subalpin, le temps nécessaire pour qu'une trouée se referme complètement, de l'ordre de 40 ans en conditions naturelles, n'est plus que de l'ordre de 25 à 30 ans en cas de travail du sol. On se rapproche alors des vitesses de fermeture constatées sur station de fertilité moyenne à l'étage haut montagnard. L'effet est moindre aux étages montagnard et haut montagnard mais le travail du sol permet aussi d'accélérer la fermeture (gain d'environ 10 ans).



Photo 1 : trouée âgée de 20 ans sans régénération dans une hêtraie-sapinière sèche : station contraignante – Arvillard (73)

M. Fuhr, Istea

Notre étude ne met pas en évidence d'effet notable de la plantation sur la vitesse de fermeture estimée par comparaison de photographies aériennes. Il faut cependant garder à l'esprit que les plantations ont été réalisées sur des zones au départ très ouvertes qui, si on les avait laissées évoluer naturellement, se seraient certainement refermées beaucoup plus lentement que les zones laissées en régénération naturelle; on peut donc penser que, en l'absence de régénération naturelle, la plantation est efficace pour compenser une vitesse de fermeture au départ très faible.

### Stades de développement et composition

#### Évolution naturelle

Aux étages montagnard et haut montagnard, en dehors des contextes stationnels contraignants, les trouées âgées de 20 ans sont dominées par un peuplement au stade bas-perchis ( $5 \text{ cm} \leq d_{1,30\text{m}} < 10 \text{ cm}$ , figure 5) dont la densité est de l'ordre de 1 000 tiges.  $\text{ha}^{-1}$ . À 30 ans, le peuplement est dominé par les hauts perchis ( $10 \text{ cm} \leq d_{1,30\text{m}} < 15 \text{ cm}$ ) et les Petits Bois ( $15 \text{ cm} \leq d_{1,30\text{m}} < 27,5 \text{ cm}$ ), ces deux catégories totalisant une densité de l'ordre de 800 tiges.  $\text{ha}^{-1}$ .

À l'étage subalpin, les trouées âgées de 20 ans en sont encore essentiellement au stade régénération acquise ( $H \geq 1,30 \text{ m}$  et  $d_{1,30\text{m}} < 5 \text{ cm}$ ).

La composition spécifique des jeunes peuplements est très différente selon les secteurs bioclimatiques. Dans le secteur externe, on observe une très forte concurrence des espèces pionnières et du sorbier (figure 6) qui constituent, dans les trouées âgées de 20 ans, le principal contingent du stade de développement dominant. Leur remplacement par les essences résineuses (épicéa, sapin) se dessine alors dans les stades de développement moins avancés (régénération) et, après 30 ans, la hauteur des essences résineuses rejoint celle des essences pionnières et du sorbier.

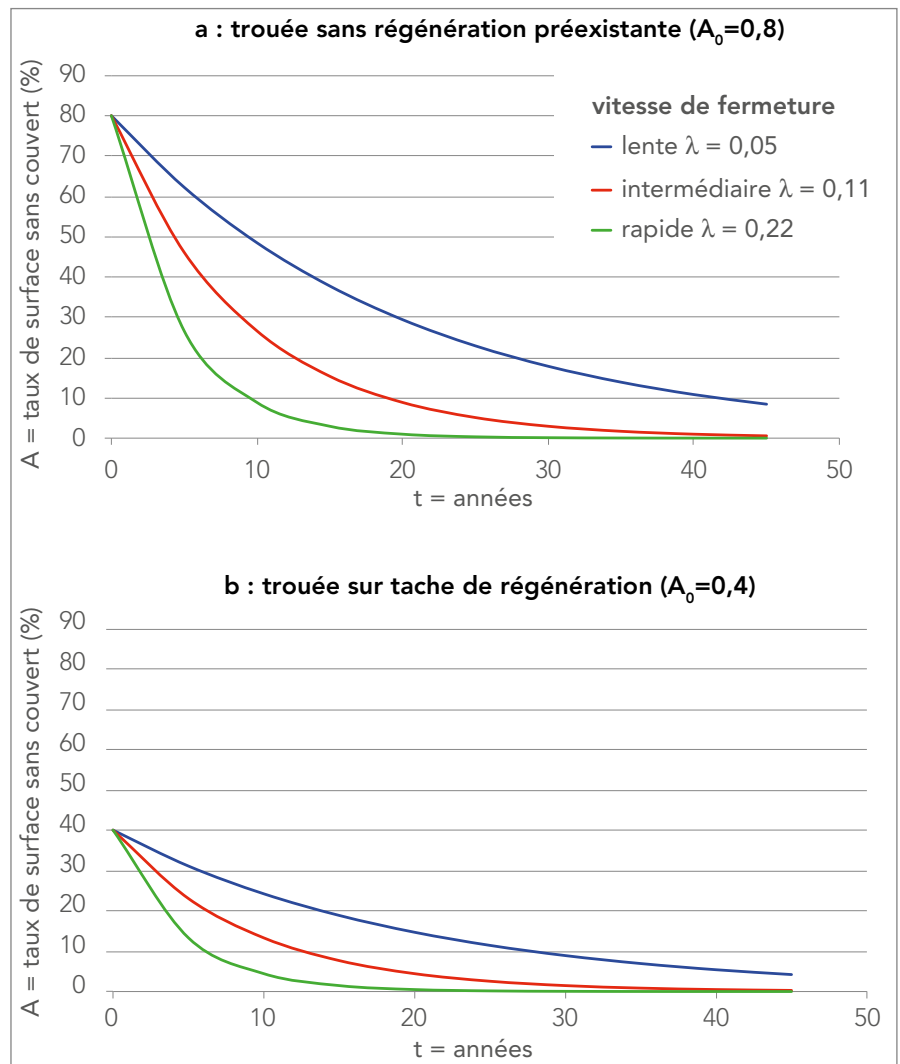


Fig. 4 : modélisation des vitesses de fermeture du couvert

La réduction du taux de surface sans couvert ( $A$ ) avec le temps ( $t$ ) répond à un modèle de type  $A = A_0 \exp(-\lambda t)$  où le paramètre  $\lambda$  traduit la vitesse de fermeture. La fermeture est

- **lente** pour les trouées du subalpin, haut montagnard ou montagnard sur stations sèches ou très humides, ou pour les très grandes trouées ( $> 10 \text{ ha}$ );
- **intermédiaire** pour les trouées au haut montagnard ou montagnard sur stations fertiles;
- **rapide** pour les trouées au haut montagnard ou montagnard sur stations très fertiles.

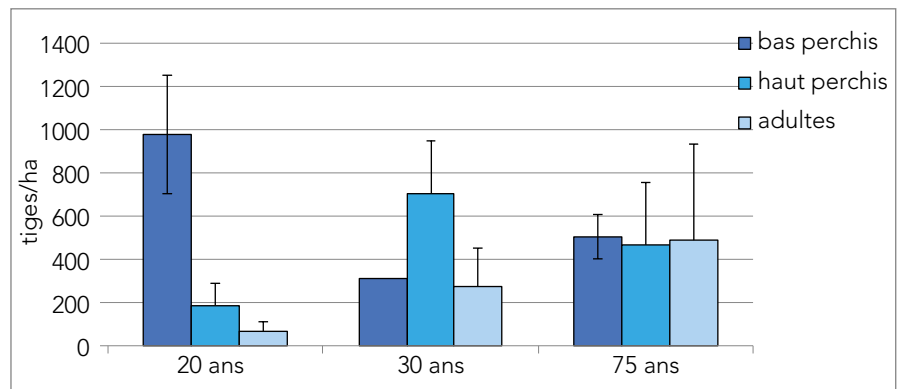


Fig. 5 : densités par stades de développement dans les trouées en évolution naturelle des étages montagnard et haut montagnard, âgées respectivement de 20 ans, 30 ans et 75 ans

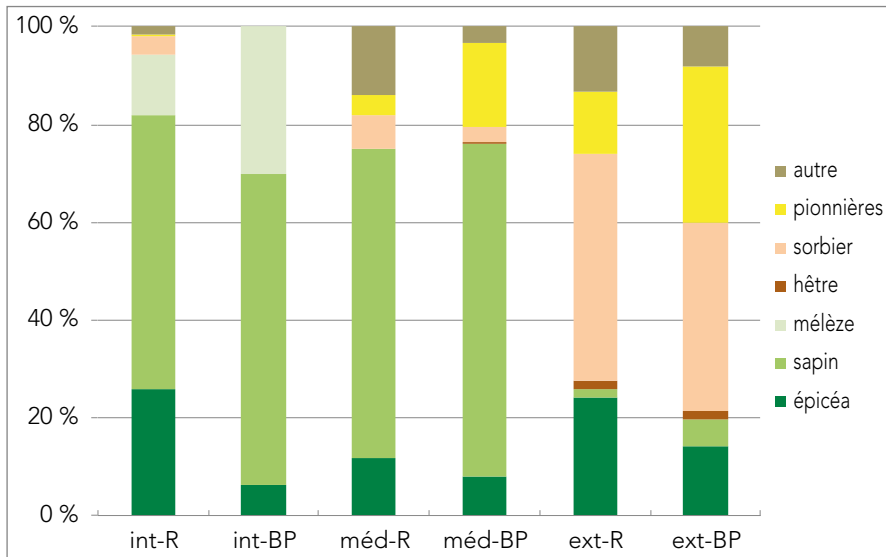


Fig. 6 : abondances spécifiques relatives, selon le secteur bioclimatique et le stade de développement dominant, dans les trouées en évolution naturelle des étages montagnard et haut montagnard, et âgées de 20 ans int : secteur interne, méd : secteur intermédiaire, ext : secteur externe; R : semis + régénération acquise; BP : bas perchis

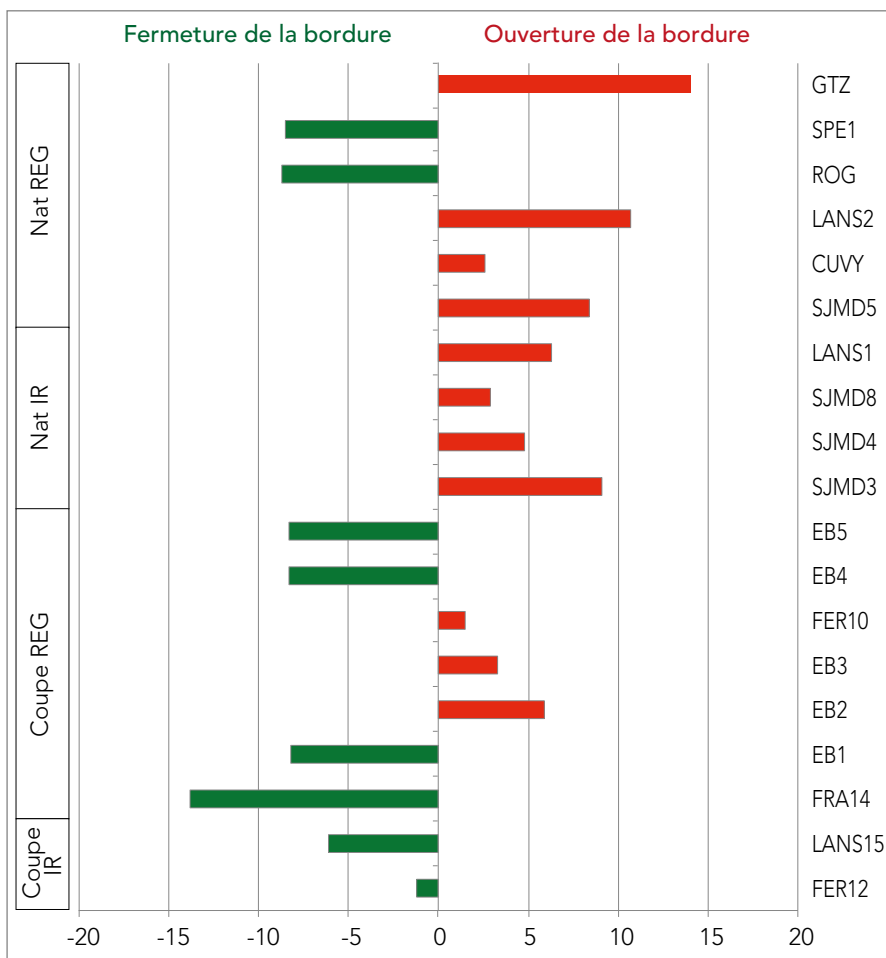


Fig. 7 : évolution des surfaces sans couvert dans le peuplement de bordure, au cours des premières années suivant la création de la trouée (en %) Coupe : trouée sylvicole; Nat : trouée naturelle; REG : peuplement de bordure régulier; IR : peuplement de bordure irrégulier. À droite, les codes des 19 trouées.

Notre étude ne permet cependant pas de trancher entre les deux scénarios suivants :

- installation concomitante des pionnières et des résineux (signalée par Camaret, 1997), croissance très rapide des pionnières qui se ralentit progressivement au profit de celle des résineux en sous-étage ;
- installation préalable des pionnières qui, par leur couvert léger, autorisent l'installation et la croissance des résineux et contrôlent la compétition avec les herbacées. Quoiqu'il en soit, l'importante concurrence des espèces pionnières et du sorbier conduit souvent à réaliser des travaux de dégagement.

Cette concurrence des essences pionnières ne s'observe pas (ou peu) dans les secteurs intermédiaires et internes; à 20 ans, les bas perchis sont largement dominés par l'épicéa ou le sapin (figure 4).

### Effet des interventions sylvicoles

Les trouées ou parties de trouées où le sol a été travaillé étaient, au départ du processus de fermeture, beaucoup moins riches en régénération préexistante que les trouées ou parties de trouées en évolution naturelle. Pourtant, au bout de 20 ans, elles sont dominées par les mêmes stades de développement : le stade bas perchis aux étages haut montagnard et montagnard (photo n° 2), le stade régénération acquise à l'étage subalpin. Le travail du sol a donc permis de rattraper le retard de régénération, ce qui confirme les résultats obtenus par analyse des photographies aériennes. En revanche, le travail du sol n'a pas d'effet sur la composition spécifique des jeunes peuplements, il favorise l'installation de toutes les espèces y compris celle des espèces pionnières et du sorbier.

Il est plus difficile de dégager une tendance générale sur l'effet des plantations à partir de nos résultats. Pour certaines trouées, la plantation a permis de rattraper (voire d'inverser)

le retard de régénération lié à l'état initial; pour d'autres, la végétation de la zone plantée est moins développée que celle de la zone laissée en régénération naturelle même si, d'après l'analyse des photographies aériennes, la trouée s'est refermée à la même vitesse pour les deux zones.

Notre étude ne permet pas de statuer sur l'efficacité des travaux de dégagement; en effet, nous n'avons pas trouvé de différences significatives entre la composition des trouées (ou parties de trouées) dégagées et celle des trouées (ou parties de trouées) non dégagées. On peut cependant supposer que les zones dégagées sont les zones où la concurrence était la plus forte et que, par conséquent, l'absence de différence de composition révèle un effet positif des travaux.

### Évolution du peuplement en bordure

L'évolution du peuplement sur la bordure extérieure de 25 m a été analysée pour les trouées pour lesquelles on disposait d'une photographie aérienne juste après la création de la trouée ainsi que d'une autre photographie aérienne environ 5-6 ans après la création de la trouée (19 trouées, figure 7).

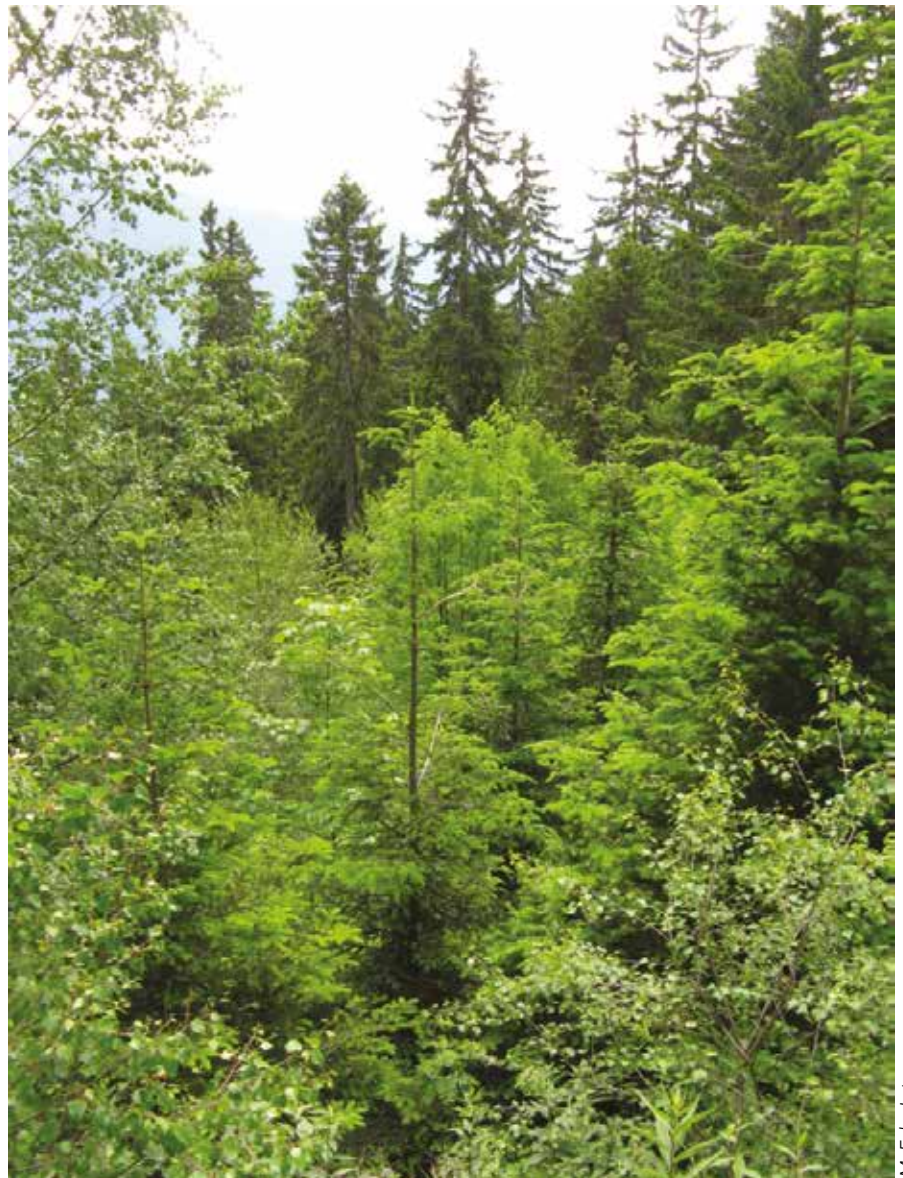
Sur cette période, une petite moitié (8 sur 19) des bordures de trouées a commencé à se fermer, l'autre moitié a continué à s'ouvrir (11 sur 19). L'augmentation de la taille des trouées semble plus fréquente pour les trouées d'origine naturelle (8 trouées sur 10) que sur les trouées d'origine sylvicole (3 trouées sur 9). Cependant, le taux d'agrandissement après ces quelques années ne dépasse pas 25 % de la surface des bordures, que ce soit pour des bordures complètement fermées à la création de la trouée, ou déjà un peu ouvertes. Cette valeur est très légèrement supérieure à celle des surfaces maximales sans couvert dans les peuplements adultes

entourant les trouées. Aussi, même si certaines bordures de trouées ont été fragilisées, **on ne peut pas considérer que le phénomène de « gap expansion » est significatif.**

### Conclusion et Perspectives

À partir de l'étude d'un ensemble d'anciennes trouées dans les Alpes du Nord, nous avons pu préciser certains facteurs importants pour la mise œuvre d'un itinéraire de sylviculture basé sur ce type de prélèvements. Le premier concerne la vitesse de

fermeture du couvert, sans intervention en travaux, qui doit s'envisager selon deux seuils de perception : la fermeture complète du couvert (à plus de 80 %) et la « cicatrisation visuelle », dont le seuil de taux de couvert est difficile à définir mais pourrait être basé sur le seuil IGN (IFN) du couvert boisé fermé, soit 40 %. La fermeture complète s'obtient après 10 ans dans les contextes les plus favorables mais ce délai peut dépasser 40 ans dans les contextes les plus contraignants (subalpin ou hêtraie-sapinière sèche). La cicatrisation visuelle est atteinte



M. Fuhr, Istea

Photo 2 : trouée âgée d'environ 20 ans, haut montagnard externe, sol travaillé – Esserts-Blay (73)

Noter l'importante régénération d'épicéa sous le couvert des bouleaux et des sorbiers



dans un délai de moins de 5 ans en contexte favorable et d'au moins 15 ans dans les contextes plus contraignants, sans travaux; précisons que dans ces contextes, l'installation de la régénération se fait plutôt par taches disjointes et l'ensemble de la trouée peut paraître encore très ouvert à 15 ans.

Quant aux autres facteurs, il s'agit de :

- l'effet positif des travaux préparatoires du sol (crochetage), qui permettent quasiment de compenser un retard de fermeture dans le contexte subalpin où la dynamique naturelle est très lente, et d'accélérer l'évolution dans les stations relativement fertiles du haut montagnard où la dynamique naturelle est déjà assez rapide;
- la forte concurrence exercée par les essences pionnières dans le secteur bioclimatique externe durant les 30 premières années;
- le risque apparemment assez marginal d'élargissement des trouées dans les premières années.

Dans le contexte particulier des coupes à câble, il est rarement envisageable, techniquement ou économiquement, d'intervenir pour réaliser des travaux sylvicoles afin de hâter ou de contrôler la fermeture des trouées. Cette contrainte pose question, en particulier dans deux contextes où nos résultats montrent que des interventions sont souhaitables :

- à l'étage subalpin, en raison de la lenteur du processus de fermeture sans travail du sol,
- en secteur externe, aux étages montagnard et haut montagnard, en raison de l'importante concurrence des espèces pionnières qui rend nécessaires les travaux de dégagement ou nettoyage.

L'extrapolation de nos résultats au cas particulier des coupes à câble (qui ne faisait pas partie de l'échantillon suivi dans cette première étude), reste donc à confirmer :

- parce que la taille des trouées préconisée ne correspond pas tout à fait à la gamme de taille de trouées analysée ici (cf. additif au GSM : trouées de 25 à 50 ares, pouvant aller jusqu'à 1 ha maximum, alors que 14 trouées sur 33 dépassent 1 ha dans notre étude), ce qui pourrait laisser présager une concurrence moindre des espèces pionnières;
- parce que le sol sur l'emprise de la ligne de câble peut être plus perturbé (peu de régénération préexistante, présence parfois de tas de rémanents), ce qui crée des conditions écologiques très particulières pour le développement de la régénération.

Un dispositif de suivi de la régénération dans des trouées récentes le long de lignes de câble vient d'être installé pour préciser le processus de fermeture dans ces conditions.

**Marc FUHR**

Irstea Grenoble

**Joanna WEYANT**

Irstea Grenoble

(aujourd'hui : ONF, agence Vesoul)

**Niels DURAND**

Irstea Grenoble

**Catherine RIOND**

ONF pôle R&D Chambéry

## Bibliographie

Brang P., 1998. Early seedling establishment of *Picea abies* in small forest gaps in the Swiss Alps. Canadian Journal of Forest Research vol. 28, pp. 626-639

Camaret S., 1997. Rôle des perturbations dans la dynamique des pessières d'altitude. Impact d'ouvertures artificielles et naturelles sur la régénération et le développement d'un peuplement forestier. Thèse de doctorat, Université de Savoie, 264 p. + annexes

Gauquelin X., Courbaud B., 2006. Guide des sylvicultures de montagne – Alpes du Nord françaises. Cemagref, CRPF Rhône-Alpes, ONF (Ed.), ISBN n° 2 – 84207 – 306 – 1

Rammig A., Fahse L., Bugmann H., Bébi P., 2005. Forest regeneration after disturbance: A modelling study for the Swiss Alps. Forest Ecology and Management vol. 222, pp. 123-136

Schönenberger W., 2002. Post wind-throw stand regeneration in Swiss mountain forests : the first ten years after the 1990 storm Vivian. Forest Snow and Landscape Research vol. 77, n° 1/2, pp. 61-80

Streit K., Wunder J., Brang P., 2009. Slit-shaped gaps are a successful silvicultural technique to promote *Picea abies* regeneration in mountain forests of the Swiss Alps. Forest Ecology and Management vol. 257, n° 9, pp. 1902-1909