

5 Processus liés aux cours d'eau

Profil d'exigences pour la forêt en rapport avec les processus liés au cours d'eau⁽¹⁾

Lieu	Effet potentiel de la forêt	Exigences en fonction du danger naturel Profil minimal	Exigences en fonction du danger naturel Profil idéal
Zone d'écoulement des laves torrentielles ou des crues (zone 1)	Grand à très faible	Les responsables des services forestiers et de l'aménagement des cours d'eau définissent ensemble les objectifs et en déduisent des mesures efficaces et proportionnées en orientant celles-ci sur les points faibles pertinents ⁽²⁾ .	
Pente bordant le cours d'eau (zone 2) ⁽³⁾	Grand à faible	<p>Longueur de la trouée : max 30 m dans la ligne de pente⁽⁴⁾</p> <p>Taille de la trouée : max. 12 a⁽⁵⁾</p> <p>Degré de couverture > 50 %⁽⁶⁾</p> <p>Tout au plus, peu d'arbres mobilisables et de bois menacés par les glissements de terrain</p> <p>Profil d'exigences minimal atteint (en fonction du type de station)</p>	<p>Longueur de la trouée : max 20 m dans la ligne de pente⁽⁴⁾</p> <p>Taille de la trouée : max. 6 a⁽⁵⁾</p> <p>Degré de couverture > 60 %⁽⁶⁾</p> <p>Pas d'arbre mobilisable et de bois menacé par les glissements</p> <p>Profil d'exigences idéal atteint (en fonction du type de station)</p>

(1) : Ce profil d'exigences couvre aussi les exigences relatives à l'effet hydrologique de la forêt.

(2) : Les points faibles sont des points ou des secteurs du cours d'eau d'où peut partir un danger. Les points faibles classiques sont : les voûtages trop petits, les rétrécissements, les rayons de courbure trop petits, les obstacles ou les ruptures de pente du profil en long.

(3) : Applicable lorsque les dangers de glissement de terrain et/ou d'avalanche sont déterminants pour la pente bordant le cours d'eau. Le profil d'exigences « chutes de pierres » doit être pris en considération dans des cas exceptionnels seulement.

(4) : Ouverture mesurée entre les bords des houppiers (perchis et futaies) (distance oblique)

(5) : Si utile d'un point de vue écologique pour le rajeunissement, des surfaces plus larges sont admises ; longueur de trouée dans la ligne de pente : 30 m au max. (distance oblique)

(6) : Degré de couverture des perchis et des futaies, trouées incluses.

5.1 Forêt protectrice pertinente pour les cours d'eau

Les forêts qui s'étendent le long de cours d'eau sont des habitats précieux pour la faune et la flore et offrent un espace de détente à la population. Or de nombreux ruisseaux représentent aussi un danger pour la population et les infrastructures lors de laves torrentielles, d'épandages d'alluvions et de crues. Les forêts peuvent constituer une protection efficace contre ces dangers naturels : elles stabilisent les berges, réduisent l'apport de matériaux dans le cours d'eau et augmentent la capacité de rétention d'eau dans le sol. En outre, les soins aux forêts protectrices diminuent l'apport de bois flottant.

Les exigences posées à la forêt protectrice diffèrent selon la position des forêts dans le bassin versant, leur proximité par rapport aux cours d'eau et la nature des processus de dangers naturels. Afin de réaliser les soins aux forêts protectrices de manière optimale eu égard à ces différentes exigences, deux zones sont différenciées (fig. 1) :

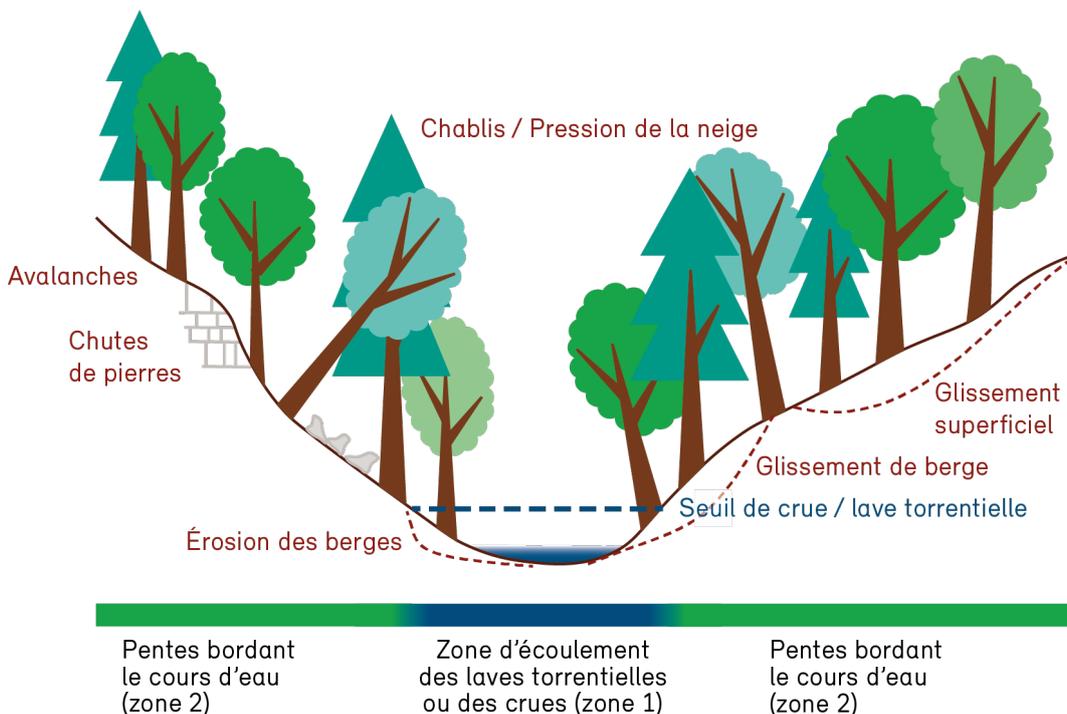
Zone d'écoulement des laves torrentielles ou des crues (zone 1) : zone d'écoulement des laves torrentielles et/ou des crues le long du cours d'eau¹.

Pente bordant le cours d'eau (zone 2) : secteur du bassin versant duquel des matériaux et/ou du bois flottant susceptibles de causer des dommages peuvent être amenés dans la zone d'écoulement des laves torrentielles ou des crues à la suite des processus suivants : érosion, glissements, avalanches, chutes de pierres, chablis et pression de la neige. La pente en bordure du cours d'eau correspond normalement à la forêt protectrice dans le bassin versant, excepté la zone d'écoulement des laves torrentielles ou des crues (zone 1).

¹ Le fait de prendre en considération ou non le processus de lave torrentielle et/ou de crue pour la délimitation de la zone dépend des caractéristiques du bassin versant et doit être décidé localement.

Figure 1 :

Profil transversal de la forêt protectrice liée à un cours d'eau avec la zone d'écoulement des laves torrentielles ou des crues (zone 1) et les pentes bordant le cours d'eau (zone 2). En rouge : processus possibles susceptibles de générer des matériaux ou de bois flottant. Le seuil de crue / lave torrentielle marque la limite entre les zones 1 et 2.



Forêts protectrices pertinentes pour les cours d'eau

Les cantons ont délimité les forêts protectrices pertinentes pour les cours d'eau selon les critères SilvaProtect-CH (Losey & Wehrli 2013).

Dans un premier temps, il s'agissait d'identifier les cours d'eau présentant un potentiel de dommages causés par lave torrentielle ou épandage d'alluvions. Ceux qui présentaient uniquement un danger de crues n'ont pas été pris en considération.

Les surfaces d'où des matériaux et du bois flottant pouvaient être transportés dans un cours d'eau ont été délimitées comme forêts protectrices pertinentes pour les cours d'eau. Les forêts qui ne font qu'influencer positivement le débit (effet hydrologique) ne répondent toutefois pas aux critères de la forêt protectrice définis par SilvaProtect-CH.

5.2 Délimitation des zones

La largeur de la zone d'écoulement (zone 1) varie selon la nature du processus de danger naturel, le relief et l'intensité de l'événement. Ainsi, la limite de la pente bordant le cours d'eau (zone 2) n'est pas définie de manière absolue.

C'est pourquoi les spécialistes de la forêt fixent la limite entre les deux zones en collaboration avec les responsables de l'aménagement des cours d'eau. L'intensité prise en considération correspond à une période de retour de 300 ans environ (HQ300²) ou résulte de l'appréciation locale par les responsables de l'aménagement des cours d'eau.

Limites des zones

Les limites de la zone 1 sont définies sur la base d'une expertise. S'il y a des incertitudes, celles-ci ne sont généralement pas déterminantes pour les décisions sylvicoles : souvent, la profondeur d'écoulement diffère peu entre un événement « HQ100³ » et un événement « HQ300 » dans les cours d'eau situés dans une forêt protectrice. Il est possible de lever l'incertitude en donnant des dimensions généreuses à la zone d'écoulement, à l'exception des lieux où le cours d'eau peut déborder des berges et s'écouler sur de grandes surfaces en cas d'événement ; dans de tels cas, il faut délimiter la zone 1 avec précision.

La limite supérieure de la pente bordant le cours d'eau (zone 2) correspond à la distance maximale de laquelle des processus de dangers naturels peuvent causer des dommages en amenant des matériaux ou du bois flottant dans le cours d'eau. Elle correspond en principe à la limite supérieure définie pour la forêt protectrice liée à un cours d'eau.

Coopération entre les responsables des services forestiers et de l'aménagement des cours d'eau :

Les responsables de l'aménagement des cours d'eau disposent des compétences requises pour évaluer les processus liés aux cours d'eau. En outre, ils sont chargés de la surveillance des processus de lave torrentielle et de crues dans de nombreux cantons.

Les responsables des services forestiers et de l'aménagement des cours d'eau évaluent ensemble le cours d'eau et sa situation en matière de dangers naturels afin d'adapter efficacement les soins aux forêts protectrices sur les pentes bordant des cours d'eau. Ils s'accordent aussi pour formuler les objectifs sylvicoles dans la zone d'écoulement des laves torrentielles ou des crues (zone 1).

La mise en œuvre de cette coopération est du ressort des cantons. Si, idéalement, la discussion entre responsables des services forestiers et de l'aménagement des cours d'eau a lieu pour chaque cours d'eau, il peut aussi être judicieux de caractériser plusieurs cours d'eau représentatifs et de se référer à ces descriptions pour élaborer des mesures sylvicoles relatives à d'autres cours d'eau.

² HQ300 : crues survenant en moyenne une fois tous les 300 ans.

³ HQ100 : crues survenant en moyenne une fois tous les 100 ans.

5.3 Zone d'écoulement de laves torrentielles ou des crues (zone 1)

5.3.1 Fonctions de la forêt dans la zone 1

La fonction première d'une forêt protectrice est la protection contre les dangers naturels. Toutefois, les arbres et le bois mort présents le long des ruisseaux ont aussi d'importantes fonctions écologiques. L'ombre des arbres permet de limiter le réchauffement de l'eau, ce qui est d'autant plus important que la température de l'eau est déterminante pour la survie de nombreux êtres vivants aquatiques. Quant au bois mort, il offre de petits espaces dans les eaux où la faune trouve un abri, un lieu de repos et des sources de nourriture. Par ailleurs, on peut trouver des essences ou associations forestières rares le long des cours d'eau. Enfin, les personnes en quête de détente apprécient souvent le paysage créé par les berges de ruisseau. Il faut prendre ces aspects en considération dans le cadre d'interventions en forêts protectrices, par exemple en impliquant les services compétents de la pêche et de la protection de la nature.

5.3.2 Caractéristiques du cours d'eau et situation en matière de dangers naturels

Les caractéristiques respectives des cours d'eau, des processus de dangers naturels dans le cours d'eau, des points faibles et des biens à protéger déterminent en grande partie de quelle manière une forêt protectrice efficace doit être structurée dans la zone d'écoulement des laves torrentielles ou des crues. C'est pourquoi une évaluation préalable de ces caractéristiques est centrale. Il convient alors de caractériser tant le bassin versant dans son ensemble que les caractéristiques locales de la zone 1 (étapes 1 à 2 dans le tableau 2).

Liste de contrôle

Une liste de contrôle a été élaborée pour aider les responsables dans les soins aux forêts protectrices le long des cours d'eau (tableau 2). Elle montre les étapes possibles d'évaluation afin de définir des exigences pour la forêt protectrice, d'en déduire la nécessité d'intervenir et d'évaluer leur proportionnalité.

La liste de contrôle comprend cinq étapes d'évaluation et tient compte de toute la chaîne de processus, de la surface d'intervention à la mise en danger du bien à protéger. Il est important d'évaluer la situation pour l'ensemble de la forêt protectrice liée au cours d'eau (zones 1 et 2). Toutefois, l'importance d'une étape dépend de la position de la surface d'intervention dans le bassin versant et de la situation locale (voir tableau 2).

Importance de la chaîne de processus

Dans la définition des objectifs sylvicoles, la probabilité que des matériaux et du bois provenant d'un endroit précis puissent provoquer des dommages est déterminante. Ainsi, un arbre qui tombe dans le cours d'eau ne pose problème que s'il est transporté vers des points faibles où il entraînera des dommages. Si, par exemple, un tronçon de dépôts existe entre la surface d'intervention et le point faible, du bois situé en amont ne sera probablement pas dangereux.

Pour définir des objectifs sylvicoles appropriés sur une zone d'intervention, en déduire le besoin d'intervention et évaluer sa proportionnalité, il faut donc impérativement tenir compte de l'ensemble de la chaîne de processus : de l'apport de matériaux et de bois flottant dans la zone d'intervention au danger propre dans les points faibles, en passant par le transport dans le cours d'eau (voir l'étape d'évaluation 2 dans le tableau 2).

Caractéristiques des laves torrentielles et des crues

Les objectifs dépendent fortement de la nature du processus de danger naturel déterminant pour le cours d'eau. Pour que les laves torrentielles se déclenchent, il faut au moins une déclivité de 25 à 30 %. S'il existe des facteurs favorables comme des rétrécissements, du bois flottant ou autre, alors une déclivité de 15 % suffit pour déclencher une lave torrentielle. En dessous d'une déclivité de 10 %, les laves torrentielles ne peuvent en principe plus se déplacer et s'immobilisent. Elles se déplacent aussi lorsque la déclivité se réduit fortement (p. ex. de moitié) à l'endroit d'un pli. Étant donné qu'elles présentent une concentration en matériaux solides, une granulométrie, une densité, un débit de pointe et un débit total plus élevés que ceux d'une crue avec charriage de matériaux, elles provoquent aussi une plus forte érosion. La profondeur d'érosion équivaut à 20 %, voire plus, de la largeur du cours d'eau, tandis qu'elle dépasse rarement 10 % dans le cas d'une crue avec charriage de matériaux. Néanmoins, ces valeurs sont uniquement des valeurs d'expérience, qui doivent être vérifiées localement.

5.3.3 Effet des arbres dans la zone 1

Selon les caractéristiques du bassin versant, des processus de dangers naturels et du peuplement, les arbres ont différents effets en matière de dangers naturels dans la zone 1. La végétation a par exemple les effets positifs suivants :

- Les racines des arbres stabilisent la berge et constituent à ce titre une protection contre l'érosion et les affouillements.
- Le bois présent dans le lit d'un cours d'eau fournit de petites structures et fait ainsi varier les profondeurs et les vitesses d'écoulement.
- Les arbres présents dans la zone d'écoulement des crues ralentissent le débit et peuvent réduire l'érosion et servir à retenir le bois flottant.

Néanmoins, à partir d'une certaine force de courant, les berges boisées ne résistent plus à l'érosion. La force de courant déclenchant l'érosion est appelée contrainte d'entraînement critique. Ce seuil dépend de la nature des matériaux de la berge (répartition granulométrique, p. ex.) et des propriétés de la végétation. La nature du système racinaire et la densité du peuplement jouent ici un rôle important. Étant donné que les matériaux de la berge et les propriétés du peuplement peuvent fortement varier, la contrainte d'entraînement critique est très différente d'une station à l'autre. En tombant dans l'eau, les arbres peuvent agir de manière défavorable lors de dangers naturels :

- Lors d'une crue, les arbres sont transportés sous forme de bois flottant et obstruent l'écoulement dans les endroits de resserrement (ponts, voûtages ou rétrécissements naturels d'un ruisseau).
- L'augmentation du niveau d'eau ainsi provoquée peut entraîner des inondations et des épandages d'alluvions.
- Ces embâcles, lorsqu'ils se rompent, peuvent causer temporairement une forte augmentation du débit.
- Les laves torrentielles peuvent emporter des arbres, ce qui accroît le danger pour la population et les biens matériels.

Lorsqu'un lit ne peut pas donner lieu à une lave torrentielle, l'effet protecteur des arbres l'emporte dans les petits ruisseaux, notamment parce que la capacité de transport de bois flottant est alors très réduite. En l'absence de déclivité, l'effet protecteur de la forêt l'emporte aussi lorsque les lits sont plus larges, à condition que les berges ne puissent pas s'effondrer et que la forêt soit en bon état. Lors de laves torrentielles, les arbres n'ont souvent

qu'un effet stabilisateur si le lit est étroit et si la surface du bassin versant en amont de la parcelle considérée est petite.

Glissements de berge

Les processus hydrauliques du ruisseau peuvent aussi déclencher des glissements à la limite de la pente bordant le cours d'eau (zone 2 ; glissements de berge, voir fig. 1). Les buissons stabilisent généralement bien les 50 premiers centimètres de la surface du sol. Néanmoins, à mesure que la couche de glissement augmente et que la déclivité de la berge s'accroît, l'effet protecteur des arbres diminue et le danger d'apport de bois flottant s'accroît.

Lorsque, en cas d'événement, une berge ou le fond du lit s'érode plus fortement que la zone racinaire principale, le risque d'affouillement et de glissement de berge augmente. Ces processus entraînent souvent un apport de bois flottant et de matériaux.

5.3.4 Gestion du bois jonchant le sol dans la zone 1

La gestion du bois jonchant le sol est réglée à l'annexe 7 (Utilisation du bois sur place). Le bois jonchant le sol dans la zone d'écoulement des laves torrentielles ou des crues doit être évacué s'il présente un danger et si son évacuation est proportionnée. Ces conditions dépendent des caractéristiques du cours d'eau, des points faibles et du bois. Parallèlement, il faut tenir compte de la dynamique fluviale ainsi que des groupes d'intérêts comme les organisations de pêche ou de protection de la nature. Il convient d'évacuer de la zone d'écoulement des laves torrentielles ou des crues autant de bois mort que nécessaire, mais le moins possible (pesée des intérêts entre protection contre les dangers naturels et pêche / protection de la nature).

Le bois évacué de la zone 1 doit être éloigné ou stocké hors de la zone 1. Il faut veiller à ce que le bois stocké ne puisse pas être ramené dans le cours d'eau par des processus comme le glissement de terrain ou le glissement de neige.

Mobilisation et transport de bois flottant

Le fait que le bois flottant soit transporté ou non et, si oui, à partir de quelle hauteur d'eau, dépend du régime d'écoulement, des caractéristiques du cours d'eau et de la forme et de la taille des troncs. Des essais sur modèle hydraulique ont montré que le transport de troncs « lisses » commence dès lors que la profondeur d'écoulement correspond au diamètre du tronc. Quant aux troncs pourvus de branches et aux souches, ils ne sont transportés que si la profondeur d'écoulement est plus importante. Lorsque l'événement donne lieu à un charriage, le seuil de transport est 20 à 30 % plus bas qu'en l'absence de charriage. En cas d'événement, les morceaux de bois flottant dont la longueur est supérieure à la largeur du cours d'eau sont considérés comme non mobilisables lors de processus de crues. Toutefois, ce bois peut devenir transportable ultérieurement par une fragmentation naturelle (poutrissement, p. ex.). Les laves torrentielles peuvent, elles, transporter de longs morceaux de tronc, des souches et même des arbres entiers dans les petits cours d'eau.

Embâcles

La longueur du bois flottant est un facteur important pour la probabilité que se créent des embâcles, les morceaux courts réduisant cette probabilité. Selon les recommandations générales, la longueur du bois flottant potentiel ne devrait pas dépasser la moitié de la largeur du fond du lit. Il faut néanmoins également tenir compte, dans cette évaluation, des caractéristiques des points faibles (p. ex. diamètre du voûtage, caractéristiques des grilles de rétention, distance entre les piles de pont, etc.). Les souches sont cruciales pour les embâcles : la probabilité qu'elles s'accrochent est nettement plus élevée que pour les troncs « lisses ».

Fragmentation du bois

Pour prévenir les embâcles, le bois couché présent dans les cours d'eau est souvent scié. Cependant, les morceaux de bois de même forme ont tendance à se mobiliser en même temps lors d'un événement, ce qui peut entraîner le transport d'un radeau de bois flottant, lequel favorise la formation d'embâcles. En outre, le bois fragmenté est transporté plus loin. C'est pourquoi les responsables doivent évaluer soigneusement les conséquences du sciage sur la situation de dangers. Il peut être plus judicieux de varier la longueur des tronçons sciés ou de stocker le bois à l'extérieur du profil du cours d'eau.

5.3.5 Exigences posées à la forêt protectrice dans la zone 1

Dans la pratique, il est difficile d'évaluer si un arbre précis contribue à la protection ou s'il peut, en prenant la forme de bois flottant, provoquer un danger. Il n'est donc pas possible de définir des exigences de portée générale en ce qui concerne la zone d'écoulement des laves torrentielles ou des crues dans une forêt de protection. Il s'agit plutôt, pour les responsables des services forestiers et de l'aménagement des cours d'eau, d'adapter les objectifs et les mesures à la situation locale. Les exigences sont fonction du danger naturel et du lieu. Il faut tenir compte, en définissant les objectifs et les mesures, de l'ensemble de la chaîne de processus, de l'effet local de l'arbre sur la stabilité de la berge jusqu'aux dommages que cet arbre peut causer. Les mesures sylvicoles renforcent l'effet protecteur des arbres et sa durabilité ; elles réduisent en outre le danger lié au bois flottant.

Exigences en fonction du danger naturel

La situation en matière de dangers naturels détermine en grande partie les exigences posées à la structure de la forêt. Lorsque l'effet stabilisateur des arbres l'emporte dans l'évaluation, des mesures sylvicoles doivent venir le renforcer et le garantir durablement. Ainsi, il peut être judicieux d'améliorer l'enracinement du sol, par exemple en favorisant des essences à enracinement profond ou en visant un diamètre plus large ou un degré de couverture plus élevé. Des arbres stables résistent mieux aux forces qui s'exercent sur eux. C'est pourquoi la stabilité et l'enracinement des arbres sont des critères essentiels pour déterminer s'il faut éliminer un arbre ou non en cas d'intervention.

Si, à l'inverse, le risque de production de bois flottant dangereux est le plus élevé, il convient de le réduire au moyen de mesures sylvicoles. La mesure dans laquelle les arbres peuvent stabiliser la berge dans la zone racinaire principale n'est alors pas le seul paramètre à prendre en considération. Si le cours d'eau présente une tendance à l'érosion linéaire en cas d'événement, c'est-à-dire qu'un affouillement de la berge se produit en dessous de la zone racinaire principale, des arbres peuvent être mobilisés par l'affouillement ou des glissements de berge en dessous du seuil d'effet des racines. Dans ces situations, il est opportun, par exemple, de réduire le diamètre final visé, de favoriser les buissons ou de viser une structure analogue aux lisières entre la zone d'écoulement dans le cours d'eau et la pente bordant celui-ci. Une transition semblable aux lisières est aussi appropriée lorsque des laves torrentielles ou des couloirs d'avalanche parcourent le lit du ruisseau, car elle réduit le volume potentiel de bois flottant tout en stabilisant la berge et en réduisant l'érosion.

Il faut aussi tenir compte du fait que les souches favorisent la formation d'embâcles. Les mesures sylvicoles doivent donc aussi empêcher les souches d'atteindre le cours d'eau et d'être transportées.

Exigences en fonction de la station

Pour garantir durablement la fonction protectrice de la forêt, un mélange d'essences indigènes et adaptées à la station est encouragé, également dans la zone d'écoulement des laves torrentielles ou des crues. Toutefois, les conditions stationnelles diffèrent souvent largement de la forêt environnante. Il n'est donc généralement pas possible de déduire les exigences simplement en se fondant sur la pente bordant le cours d'eau. Il faut les apprécier d'après les conditions spécifiques à la station :

- La zone d'écoulement des laves torrentielles ou des crues est périodiquement inondée et les sols sont fréquemment engorgés.
- Des processus de glissement se produisent en raison de l'érosion des berges et du charriage de matériaux et de bois flottant.
- Des arbres sont exposés à des charges considérables dans la zone affectée par les laves torrentielles et les crues. Ces charges comprennent les inondations, des sols saturés en eau ou à humidité variable ainsi que les effets mécaniques du charriage / bois flottant ou des racines dégagées.

Le plus souvent, ces particularités très localisées ne sont pas indiquées dans la cartographie de la station. Or elles sont essentielles pour définir les objectifs et déduire la nécessité d'intervenir.

5.3.6 Définition d'objectifs sylvicoles clairs dans la zone 1

Les responsables des forêts et de l'aménagement des cours d'eau définissent ensemble l'état visé, soit le profil d'exigences ainsi que les mesures, qui doivent être efficaces et proportionnées. Pour ce faire, ils tiennent compte de la situation en matière de dangers naturels, des caractéristiques du cours d'eau, de l'effet de la végétation et des exigences propres à la station (voir 5.3.2 à 5.3.5). Si d'autres intérêts existent, qui se rapportent à la pêche ou à la protection de la nature par exemple, ils doivent aussi faire partie des décisions. Pour la zone 1 également, les objectifs et les mesures, y compris leur déduction, doivent être documentés de manière claire. Les responsables sont libres de les présenter sous la forme qu'ils souhaitent. La liste de contrôle peut fournir une trame pour la documentation (tableau 2).

Le tableau 1 présente des caractéristiques du peuplement pour lesquelles il est possible de définir des objectifs sylvicoles.

Tableau 1 :

Caractéristiques du peuplement dans la zone d'écoulement des laves torrentielles ou des crues (zone 1) et critères possibles pour lesquels des objectifs sylvicoles peuvent être définis.

Caractéristiques du peuplement et des arbres	Critères possibles
Mélange	Type et degré du mélange
Structure	Degré de couverture, répartition des DHP, diamètre maximal
Stabilité	Coefficient d'élancement, stabilité, gestion des arbres fortement penchés et des racines affouillées
Rajeunissement	Nombre et répartition, essences, gestion de la végétation concurrente (néophytes compris)
Bois mort (debout ou couché)	Diamètre et/ou longueur maximal(e), situation, gestion du bois mort et des souches dans le cours d'eau, gestion des branches, etc.

5.4 Pente bordant le cours d'eau (zone 2)

5.4.1 Effet de la forêt dans la zone 2

Effet sur l'apport de charriage et de bois flottant

Les forêts protectrices sur les pentes bordant des cours d'eau font l'objet d'une délimitation parce qu'elles offrent une protection contre les processus de dangers naturels qui amènent des matériaux et du bois dans les cours d'eau (glissements de terrain, érosion, avalanches, chutes de pierres, voir encadré sous 5.1). Leur délimitation permet de réduire le volume de charriage et de bois flottant susceptible d'être transporté et de causer des dommages lors d'une lave torrentielle ou d'une crue.

L'effet de la forêt sur les glissements de terrain, l'érosion, les avalanches et les chutes de pierres est décrit de manière détaillée dans les profils d'exigences relatifs à chacun de ces dangers naturels (voir « Gestion durable des forêts de protection », annexe 1). Ces explications ne sont donc pas répétées ici.

Effet hydrologique

Les forêts exercent aussi une influence sur le cycle de l'eau. Grâce à leurs feuilles ou aiguilles, les arbres abritent le sol en cas de pluie ou de neige. Ainsi, une partie des précipitations n'atteint pas le sol, mais s'évapore directement (interception). Par le processus de transpiration, les arbres extraient l'eau du sol, augmentant la capacité de celui-ci de retenir l'eau. Les racines des arbres forment dans le sol un système poreux efficace qui améliore l'infiltration et peut réduire l'écoulement de surface.

Ainsi, la forêt augmente la capacité de rétention d'eau par rapport à d'autres formes d'utilisation du sol, mais dans une mesure qui dépend des caractéristiques de la station, de l'état de la forêt, des conditions météorologiques et du déroulement de chaque événement de précipitations.

5.4.2 Exigences posées à la forêt protectrice dans la zone 2

Situation particulière dans les bassins versants

Par rapport aux dangers naturels qui menacent directement la population et les valeurs matérielles, les processus qui se produisent dans les pentes bordant des cours d'eau présentent quelques particularités : lorsqu'ils entraînent du bois et du charriage dans un ruisseau, ces matériaux peuvent rester longtemps à un endroit et ne causer des dommages que plus tard. Par exemple, en hiver, une avalanche peut amener du bois dans le cours d'eau qui sera susceptible de causer des dommages seulement lors d'un événement de crue ultérieur. Des précipitations persistantes d'intensité moyenne peuvent déclencher des glissements de terrain, amenant du bois et des matériaux dans un ruisseau, qui ne les transportera que plus tard, lors de fortes précipitations. Cependant, les apports de matériaux et de bois flottant se produisent souvent en même temps que l'événement provoquant des dommages. Les fortes précipitations de l'été 2005, par exemple, ont causé de nombreux glissements de terrain, lesquels ont amené du bois dans les cours d'eau. Ces bois frais se sont transformés en bois flottant et ont immédiatement provoqué des dommages.

Exigences en fonction du danger naturel

Les principaux processus qui amènent des matériaux et du bois flottant dans les ruisseaux sont généralement les glissements de terrain et l'érosion, auxquels s'ajoutent, en altitude, les avalanches. Les chutes de pierres ne prédominent que dans de rares cas. Il arrive fréquemment que les pentes bordant des cours d'eau cumulent plusieurs processus de dangers naturels qui causent des apports plus ou moins importants de matériaux et de bois. Ainsi, il est parfois difficile, dans la pratique, de déterminer le processus de dangers naturels qui domine sur une surface d'intervention. C'est la raison pour laquelle il convient de viser, sur la pente bordant le cours

d'eau, une structure forestière qui offre la meilleure protection possible tant contre les glissements de terrain que contre l'érosion et les avalanches. Pour ce faire, il convient de combiner les profils d'exigences existants pour ces dangers naturels : les trouées ne doivent pas être trop grandes ni dépasser une certaine longueur dans la ligne de pente. Grâce à ces petites trouées, les racines renforcent le sol, et l'érosion du sol et le départ d'avalanches peuvent être réduits. Un degré de couverture minimal garantit le renforcement du sol sous l'action des racines et empêche une formation uniforme du manteau neigeux. Un degré de couverture élevé améliore la protection générale contre les dangers naturels. En même temps, ce degré visé ne doit pas être trop haut, afin de ne pas porter atteinte à la durabilité de l'effet protecteur ni à l'introduction du rajeunissement.

Dans les rares cas où les chutes de pierres sont la cause principale d'un apport de matériaux, il faut tenir compte du profil d'exigences qui se rapporte au danger « chutes de pierres ».

Exigences en fonction de l'effet hydrologique

Les exigences qui découlent de l'effet de la forêt sur le cycle de l'eau se recoupent avec les exigences relatives aux glissements de terrain, à l'érosion et aux avalanches : les grandes trouées sont à éviter, tandis qu'il faut viser un certain étagement et une diversité des essences pour garantir un enracinement solide du sol. Ainsi, les exigences définies optimisent dans le même temps l'effet hydrologique.

Exigences de stabilité

Un peuplement stable réduit le risque de perturbation majeure. Plus les arbres sont stables, plus le danger est faible qu'ils se renversent lors d'un orage ou d'un évènement de neige mouillée. Dans les pentes très raides, les arbres couchés ou cassés peuvent glisser sans qu'un danger naturel ne survienne. C'est pourquoi la stabilité des arbres et des peuplements est un objectif sylvicole important pour les pentes bordant des cours d'eau : elle garantit la durabilité de l'effet protecteur ainsi qu'une quantité réduite de bois et de matériaux entraînés dans le cours d'eau.

Les exigences de stabilité sont toutefois différentes selon la situation des arbres dans le bassin versant. La stabilité des arbres aux abords du ruisseau constitue un objectif essentiel. Néanmoins, s'ils se situent à un endroit où ils n'atteindraient guère le cours d'eau en se renversant, les arbres instables sont tolérés à condition qu'ils ne compromettent pas la stabilité du peuplement.

Abattages de décharge

Décharger la pente par des interventions d'envergure n'a aucun effet positif sur la stabilité de la pente. Le poids des arbres est négligeable en comparaison de la masse du sol. Les coupes de bois ont même souvent un effet déstabilisateur : lorsqu'on abat tous les grands arbres d'une surface, le renforcement du sol sous l'effet des racines s'amointrit, et le risque de glissements de terrain augmente.

5.5 Critères pour la proportionnalité des mesures prises dans une forêt protectrice liée à un cours d'eau

En définissant des mesures dans une forêt protectrice liée à un cours d'eau, les responsables locaux évaluent également la proportionnalité desdites mesures. Les bases à ce sujet se trouvent à l'annexe 4, chapitre 2, du document « Gestion durable des projets de protection » (mode d'emploi du formulaire 2). Une forêt protectrice liée à un cours d'eau présente quelques particularités :

- Elle protège les personnes et les valeurs matérielles non de manière directe, mais du fait qu'elle réduit l'apport de matériaux solides dans le cours d'eau.
- Les matériaux et le bois flottant provenant de la pente bordant le cours d'eau n'atteignent pas nécessairement ce dernier. En effet, la pente peut par exemple présenter des zones plus plates, qui ne peuvent donner lieu à un apport de matériaux dans le ruisseau.
- Le bois et les matériaux peuvent être déposés sur les tronçons plats des cours d'eau, ce qui réduit le danger que des matériaux situés en amont soient transportés vers des points faibles.
- Intervenir dans une forêt protectrice liée à un cours d'eau peut être très coûteux si la forêt est mal desservie. Aussi faut-il analyser soigneusement le rapport entre les coûts et l'utilité de l'intervention.
- La menace provient souvent de points faibles aux dimensions inadéquates (voûtages très étroits, p. ex.). Selon les circonstances, il peut être disproportionné de prendre des mesures sylvicoles pour y remédier.

En raison de ces particularités, il est important d'évaluer soigneusement la proportionnalité des mesures envisagées dans une forêt protectrice liée à un cours d'eau. Les critères déterminants sont notamment la situation locale sur la surface d'intervention, le tracé longitudinal du cours d'eau et les points faibles pertinents en matière de dommages. D'autres critères pouvant avoir de l'importance pour l'évaluation de la proportionnalité figurent dans la liste de contrôle (tableau 2).

Si une surface ne présente qu'un danger modeste de transport de bois et de matériaux dans le cours d'eau, elle se prête bien à la préservation de la biodiversité dans la forêt protectrice. Par exemple, il est possible de laisser davantage de bois mort (sur pied ou au sol) à cet endroit que dans le reste de la forêt protectrice (voir « Gestion durable des forêts protectrices », annexe 7).

Bibliographie

- Bezzola G. R., Hegg C. (éd.) (2007) : Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Office fédéral de l'environnement (OFEV), Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL). *Connaissance de l'environnement* n° 0707 : 215 p.
- Bezzola G.R., Hegg C. (éd.) (2008) : Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Office fédéral de l'environnement (OFEV), Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL). *Connaissance de l'environnement* n° 0825 : 429 p.
- Covi, S. (2008) : Nachhaltiger Schutzwald entlang von Fließgewässern. *Journal forestier suisse* 159 (7) : 198-204.
- Frei, M., Frick, E., Ammann, M., Jörg, P., Lanker, S., Bigger, T. (2017) : Beurteilung von Gerinneabhängungen. Fallbeispiel Schmittenbach. Rapport final à l'attention de l'OFEV, non publié. 134 p.
- Frick, E., Niederer, K., Zahner, F., Jörg, P., Amman, M., Lanker, S. (2018) : Überarbeitung NaiS Fallbeispiele Murgang. Rapport final à l'attention de l'OFEV, non publié. 134 p.
- Gasser, E., Perona, P., Dorren, L., Phillips, C., Hübl, J., Schwarz, M. (2020) : A New Framework to Model Hydraulic Bank Erosion Considering the Effects of Roots. *Water* 2020, 12, 893 ; doi:10.3390/w12030893
- Gertsch, E., Lehmann, C., Spreafico, M. (2012) : Methods for the Estimation of Erosion, Sediment Transport and Deposition in Steep Mountain Catchments. A contribution to the International Sediment Initiative of UNESCO/International Hydrological Programme. International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin, Report No II-21, 69 p.
- Hunziker, G., Berger, C., Berwert-Lopes, J. (2019) : Skript Modul WILDBÄCHE. Praxiskurs Gefahrenbeurteilung gravitative Naturgefahren. *Spécialistes des dangers naturels (FAN)*. V.0.1, 43 p.
- Ingenieure Bart AG (2016) : Beurteilung von Gerinneabhängungen – Weiterentwicklung von NaiS. Fallbeispiel Fluppibach, Kanton St. Gallen. Rapport final à l'attention de l'OFEV, non publié. 101 p.
- Lange, B., Lüscher, P., Germann, P., Bronstert, A. (2012) : Baumwurzeln und Infiltration. *Forum für Wissen* 2012 : 83-90.
- Lange, D., Bezzola G.R. (2006) : Schwemmholz. Probleme und Lösungsansätze. *Mitteilungen VAW*, 188, 135 p.
- Losey, S., Wehrli, A. (2013) : Forêt protectrice en Suisse. Du projet SilvaProtect-CH à la forêt protectrice harmonisée. Office fédéral de l'environnement, Berne. 29 p. et annexes.
- OFEV (éd.) 2019 : Bois flottant dans les cours d'eau. Un projet de recherche à vocation pratique. Office fédéral de l'environnement, Berne. *Connaissance de l'environnement* n° 1910 : 100 p.
- Rickenmann, D. (1995) : Beurteilung von Murgängen. *Schweizer Ingenieur und Architekt* 48, 1104-1108.
- Rickli, C., Bucher, H. (2006) : Einfluss ufernaher Bestockung auf das Schwemmholzvorkommen in Wildbächen. Rapport de projet du 22.12.2006 à l'attention de l'OFEV. 94 p.
- Schwarz, M., Hilfiker, K., Dazio, E., Soldati, M. (2018) : Was bringen Entlastungsschläge in rutschgefährdeten Hängen ? *Wald und Holz*, 2/18, 16-19.

Schwitzer, R., Bucher, H. (2009) : La forêt protège-t-elle contre les crues ou les arbres causent-ils eux-mêmes des inondations ? La forêt, 10/09, 21-25.

Spreafico, M., Lehmann, Ch., Naef, O. (1996) : Recommandations concernant l'estimation de la charge sédimentaire dans les torrents. Groupe de travail pour l'hydrologie opérationnelle, communication n° 4, Berne.

Wasser, B., Perren, B., Fehr, S. (2016) : Weiterentwicklung NaiS – Beurteilung von Gerinneabhängigkeiten. Bericht zum Fallbeispiel «Rickebach», Kanton Luzern. Rapport final à l'attention de l'OFEV, non publié. 48 p.

Tableau 2 :

Liste de contrôle pour la détermination de mesures sylvicoles relatives à une forêt protectrice liée à un cours d'eau. Le lieu de la surface d'intervention (zone 1 ou 2) et la situation locale déterminent la pertinence des étapes d'évaluation et l'importance des questions clés ou d'autres aspects.

Étape d'évaluation	Lieu	Questions clés possibles	Bases / information
1 Importance globale du bassin versant (pertinent pour les zones 1 et 2)	Tout le bassin versant	<ul style="list-style-type: none"> • Quelles exigences la protection de la nature, la pêche et autres posent-elles au cours d'eau ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Services spécialisés cantonaux Points 5.1 et 5.3.1 dans « Gestion durable des forêts de protection »
2 Caractéristiques du cours d'eau et situation en matière de dangers naturels (pertinent pour les zones 1 et 2) Analyse des processus de dangers naturels, des points faibles et des chaînes de processus pouvant se produire de la surface d'intervention aux points faibles	Bassin versant	<ul style="list-style-type: none"> • Quels processus de dangers naturels se produisent dans le cours d'eau (lave torrentielle, épandage d'alluvions, crues) ? • Quels sont les potentiels en matière de débit de crue, de bois flottant et de charriage ? • Quelle capacité de transport de matériaux et de bois flottant le cours d'eau présente-t-il ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Services spécialisés cantonaux • Cartes des dangers, y c. rapports • Cadastre des événements • Discussion avec le personnel de l'aménagement des cours d'eau • Lange & Bezzola 2006 • OFEV 2019 Points 5.3.2 et 5.3.4 dans « Gestion durable des forêts de protection »
	Points faibles	<ul style="list-style-type: none"> • Quels processus de dangers naturels sont susceptibles de causer des dommages (lave torrentielle, épandage d'alluvions, bois flottant) ? • Quels sont les points faibles où des dommages peuvent prendre naissance et quelles caractéristiques présentent-ils (profil d'écoulement, piles de pont, etc.) ? • Quel est le risque d'embâcle aux points faibles ? • Quelle est la longueur maximale du bois flottant tolérée aux points faibles ? • Quel bien à protéger est concerné ? 	
	Cours d'eau entre les surfaces d'intervention et les points faibles	<ul style="list-style-type: none"> • Quelle capacité de transport de matériaux et de bois flottant le cours d'eau présente-t-il de la surface d'intervention aux points faibles ? • Existe-t-il, entre la surface d'intervention et les points faibles, des tronçons de déviation et de dépôts empêchant le bois / les matériaux d'être transportés plus loin ? 	
	Surface d'intervention	<ul style="list-style-type: none"> • Quelle est la déclivité et la largeur du lit ? • À quelle hauteur se trouve le seuil de crue ou de lave torrentielle ? • Quelle est l'érosion du cours d'eau en cas de crue ou de lave torrentielle (érodibilité du fond du lit, érosion linéaire, érosion des berges) ? • À quelle profondeur se situe la couche de glissement en cas de glissement de berge ? Se trouve-t-elle dans la zone racinaire principale ou en dessous ? • Quels processus transportent des matériaux et du bois flottant dans le cours d'eau ? • Le bois flottant et les matériaux provenant de la surface d'intervention peuvent-ils arriver jusqu'au cours d'eau et, de là, atteindre un point faible pertinent pour les dommages (processus de dangers naturels, capacité de transport, tronçons de déplacement des matériaux, etc.) ? 	

Étape d'évaluation	Lieu	Questions clés possibles	Bases / information
3 Effet des arbres dans la zone 1	Surface d'intervention	<ul style="list-style-type: none"> • Quelle protection les arbres et les buissons de différentes tailles offrent-ils contre l'érosion, les glissements de berge et les affouillements ? • Quel est le danger que des arbres tombent dans le ruisseau (apport de bois flottant) en cas d'érosion, d'affouillement ou de glissement de berge lors d'un événement ? 	<ul style="list-style-type: none"> • OFEV 2019 • Discussion avec le personnel de l'aménagement des cours d'eau <p>Point 5.3.3 dans « Gestion durable des forêts de protection »</p>
4 Exigences, objectifs sylvicoles et nécessité d'intervenir dans la zone 1 Définition d'objectifs sylvicoles, évaluation de l'état de la forêt, identification d'une nécessité d'intervenir, évaluation de la proportionnalité	Surface d'intervention	<ul style="list-style-type: none"> • Quelles essences sont adaptées aux conditions de la station et doivent être favorisées ? • Quelles exigences sont posées par la situation en matière de dangers naturels (étapes d'évaluation 2 et 3) ? • Quelles sont les exigences de stabilité ? • Comment faut-il gérer le bois au sol dans la zone d'écoulement des laves torrentielles ou des crues (évacuation, tas de branches, sciage) ? • Quels problèmes les néophytes peuvent-ils causer et comment les prévenir ? • À quoi doit ressembler l'état visé (compte tenu des étapes d'évaluation 1 à 3) ? • Quel est l'état actuel de la forêt et comment évoluerait-il en l'absence de mesures ? • Quelles mesures efficaces et proportionnées permettraient d'atteindre l'état visé ? • Y a-t-il nécessité d'intervenir ? • L'intervention prévue est-elle proportionnée (compte tenu de la chaîne de processus pouvant se produire à partir de la surface d'intervention au bien à protéger, étape d'évaluation 2) ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Discussion entre les responsables des services forestiers et de l'aménagement des cours d'eau • Discussion avec les services cantonaux de la pêche et de la protection de la nature • Annexe 7 de « Gestion durable des forêts de protection » (bois jonchant le sol) • Lange & Bezzola 2006 • OFEV 2019 • Stratégies cantonales relatives à la gestion des néophytes <p>Points 5.3.5, 5.3.6, 5.5 et annexe 4 dans « Gestion durable des forêts de protection »</p>
5 Identification d'une nécessité d'intervenir dans la zone 2	Surface d'intervention	<ul style="list-style-type: none"> • Quelle est la nécessité d'intervenir d'après le formulaire 2 ? • Est-ce que l'intervention prévue est proportionnée (compte tenu de la chaîne de processus pouvant se produire de la surface d'intervention au bien à protéger, étape d'évaluation 2) ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Site Internet www.nais-form2.ch <p>Points 5.4, 5.5 et annexe 4 dans « Gestion durable des forêts de protection »</p>