

> Aide à la décision en cas de dégâts de tempête en forêt

Aide à l'exécution pour le choix du traitement par peuplement

Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête 2008, partie 3

Impressum

Valeur juridique de cette publication

La présente publication est une aide à l'exécution élaborée par l'OFEV en tant qu'autorité de surveillance. Destinée en premier lieu aux autorités d'exécution, elle concrétise des notions juridiques indéterminées provenant de lois et d'ordonnances et favorise ainsi une application uniforme de la législation. Si les autorités d'exécution en tiennent compte, elles peuvent partir du principe que leurs décisions seront conformes au droit fédéral. D'autres solutions sont aussi licites dans la mesure où elles sont conformes au droit en vigueur. Les aides à l'exécution de l'OFEV (appelées jusqu'à présent aussi directives, instructions, recommandations, manuels, aides pratiques) paraissent dans la collection «L'environnement pratique».

Editeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)
L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Auteur

Christoph Angst, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL)

Groupe d'accompagnement

Walter Beer (Amt für Wald des Kantons Bern), Silvio Covi (Landwirtschaft und Wald, Luzern), Beat Forster (WSL), Evelyn Kamber, Marcus Ulber (Pro Natura), Felix Lüscher (Oberallmeindkorporation Schwyz), Rolf Manser (div. Forêts, OFEV), Roland Métral (Dienststelle für Wald und Landschaft, Wallis), Walter Schönenberger (WSL), Markus Thommen (div. Nature et paysage, OFEV), André Wehrli (div. Forêts, OFEV), Jürg Zinggeler (Abteilung Wald, Aargau)

Conseiller OFEV

Richard Volz, div. Forêts, OFEV

Traduction

Claude Gassmann

Graphisme, mise en page

Christoph Angst, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL)

Référence bibliographique

OFEV 2008: Aide à la décision en cas de dégâts de tempête en forêt. Aide à l'exécution pour le choix du traitement par peuplement. Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête 2008, partie 3. L'environnement pratique no 0801. Office fédéral de l'environnement, Berne. 132 p.

Téléchargement du fichier PDF

www.environnement-suisse.ch/uv-0801-f

(il n'existe pas de version imprimée)

Cette publication existe aussi en allemand et en italien (UV-0801-D, UV-0801-I).

© OFEV 2008

Table des matières

Introduction	5	B-7.6 Contributions de tiers	35
		B-7.7 Coûts supplémentaires non pris en compte	35
A Processus de décision à l'aide de la liste de contrôle	7	C Bases relatives aux arguments	37
A-1 Liste de contrôle pour la comparaison des variantes «laisser» et «évacuer»	8	C-1 Dangers naturels	37
A-2 Exemple de liste de contrôle	9	C-1.1 Éviter le déclenchement d'avalanches	39
A-3 Unité d'appréciation	10	C-1.2 Éviter les chutes de pierres et de bois	50
A-4 Options d'intervention	11	C-1.3 Éviter les glissements de terrain, les coulées de boue et l'érosion	56
A-4.1 Chablis laissés sur place	11	C-1.4 Éviter les embâcles et les laves torrentielles	64
A-4.2 Chablis partiellement évacués	11	C-2 Dégâts secondaires	66
A-4.3 Chablis (entièrement) évacués	11	C-2.1 Protéger les peuplements voisins contre les attaques de bostryches	66
A-5 Instructions pour la pesée des intérêts à l'aide de la liste de contrôle	12	C-3 Sécurité au travail	77
A-6 Aide relative à l'analyse des coûts	15	C-3.1 Garantir la sécurité lors du façonnage des chablis	77
B Arguments relatifs à la décision	17	C-4 Entreprise forestière	82
B-1 Dangers naturels	17	C-4.1 Tenir compte du marché du bois et de la logistique	82
B-1.1 Éviter le déclenchement d'avalanches	18	C-4.2 Créer de bonnes conditions pour le peuplement suivant	85
B-1.2 Éviter les chutes de pierres et de bois	19	C-4.3 Conserver la fertilité du sol	96
B-1.3 Éviter les glissements de terrain, les coulées de boue et l'érosion	20	C-4.4 Gérer l'influence des ongulés sauvages	99
B-1.4 Éviter les embâcles et les laves torrentielles	21	C-5 Environnement	104
B-2 Dégâts secondaires	22	C-5.1 Favoriser la conservation et la diversité des espèces, l'évolution naturelle	104
B-2.1 Protéger les peuplements voisins contre les attaques de bostryches	22	C-6 Société	110
B-3 Sécurité au travail	23	C-6.1 Favoriser l'attractivité pour les loisirs et la découverte de la nature	110
B-3.1 Garantir la sécurité lors du façonnage des chablis	23	D Critères non pris en compte	115
B-4 Entreprise forestière	24	D-1 Éviter les crues	115
B-4.1 Tenir compte du marché du bois et de la logistique	24	D-1.1 Définitions	115
B-4.2 Créer de bonnes conditions pour le peuplement suivant	25	D-2 Prévenir les incendies	118
B-4.3 Conserver la fertilité du sol	26	D-3 Conserver la qualité des eaux souterraines	121
B-4.4 Gérer l'influence des ongulés sauvages	27	D-3.1 Modifications du cycle de l'azote par les chablis ou les attaques de bostryches	121
B-5 Environnement	28	D-3.2 Le bois mort – une source d'azote	122
B-5.1 Favoriser la conservation et la diversité des espèces ainsi que l'évolution naturelle	28	D-4 Récolte prématurée	122
B-6 Société	29	D-5 Evacuation retardée	122
B-6.1 Attractivité pour les loisirs, la découverte de la nature et l'éducation à l'environnem.	29	D-6 Maintien des emplois dans la région	122
B-7 Bilan des coûts	30	D-7 Importance de l'exploitation des chablis pour la réduction des émissions de CO ₂	123
B-7.1 Produit probable de la vente des bois	30	Remerciements	124
B-7.2 Coûts de la récolte des bois	30	Bibliographie	125
B-7.3 Coûts supplémentaires pour garantir la sécurité au travail	33		
B-7.4 Desserte	33		
B-7.5 Mesures d'appoint	34		

Introduction

Objectifs de l'aide à la décision

Dans la complexité de notre société, le gestionnaire forestier est confronté de manière accrue à des revendications les plus diverses. Cette situation va à l'encontre de la liberté de décision du propriétaire forestier qui doit de plus en plus souvent justifier ses choix auprès du public. Le gestionnaire doit être conscient des avantages et des inconvénients quant à l'opportunité d'intervenir ou non et pouvoir expliquer avec compétence et conviction ses décisions. Ces situations impliquent que le processus de décision soit clair et compréhensible.

En vue de soutenir une remise en état compétente des forêts en cas de dégâts étendus de tempête, la Confédération met à disposition, comme base d'information et de travail, l'«Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête» et la présente «Aide à la décision en cas de dégâts de tempête en forêt». Le premier ouvrage fournit des renseignements pratiques quant à la marche à suivre administrative, organisationnelle et technique en cas de réparation des dégâts de tempête et contient des stratégies générales, applicables à grande échelle. L'aide à la décision se rapporte au chapitre 2.4 «choix du traitement des dégâts» (voir aussi 2.5.1) de l'aide-mémoire et sert d'instrument de décision permettant de déterminer si les chablis doivent être «évacués» ou «laissés sur place» dans une surface donnée et pourquoi cela est nécessaire.

L'aide à la décision permet de répondre aux questions suivantes à l'aide d'une liste de contrôle:

- Faut-il «laisser» ou «évacuer» les bois d'une surface de chablis donnée?
- L'«évacuation partielle» pourrait-elle s'avérer préférable?
- Quels sont les avantages et les inconvénients des options d'intervention quant aux objectifs du propriétaire forestier et de la collectivité publique?
- Où faut-il prévoir des mesures d'appoint lorsque la décision consiste à «laisser», à «évacuer» ou à «évacuer partiellement» les chablis?

L'aide à la décision offre une méthode et des connaissances spécifiques pour une pesée des intérêts reproductible à long terme et étayée scientifiquement. Elle présente une décision aussi objective que possible *au niveau de la surface de chablis concernée*. Une analyse d'utilité permet d'évaluer qualitativement 13 critères au cours du processus de décision proposé. Dans la liste de contrôle, les critères sont groupés en 7 critères principaux:

1. Dangers naturels
2. Dégâts secondaires
3. Sécurité au travail
4. Entreprise forestière
5. Environnement
6. Société
7. Analyse des coûts

Une analyse simple des coûts permet en outre d'estimer à court terme les coûts et les avantages financiers découlant des options «laisser», «évacuer» ou «évacuer partiellement» les chablis.

L'unité d'appréciation correspond en général à la surface de chablis (voir A-3, p. 10). La période considérée peut se limiter à la durée de la récolte des bois (en ce qui concerne la sécurité au travail par exemple) ou couvrir plusieurs décennies comme dans le cas des dangers naturels ou de la reforestation.

Les considérations économiques et technologiques ne sont prises en compte que lorsqu'elles jouent un rôle essentiel dans la décision d'évacuer ou non les chablis.

Il faut considérer l'aide à la décision comme un guide s'adressant en premier lieu aux organes forestiers de décision, c'est-à-dire les propriétaires et le service forestier local. Ce document peut également intéresser d'autres milieux concernés par la problématique du traitement des surfaces de chablis.

Lorsqu'aucun intérêt public prépondérant n'exige de procédure particulière, le propriétaire forestier peut en principe choisir librement de laisser ou d'évacuer les bois de sa surface de chablis. L'aide à la décision lui offre alors, en tant que guide, une assistance technique pour étayer sa réflexion.

Structure de l'aide à la décision

Partie A	Processus de décision à l'aide de la liste de contrôle Pages 7–16	Liste de contrôle pour la pesée des intérêts offrant un aperçu visuel des arguments (voir partie B) des différents critères qui permettent de prendre une décision. L'en-tête de la liste de contrôle contient également des informations générales relatives à la surface endommagée qu'il s'agit d'évaluer. La partie inférieure du formulaire permet de définir la décision prise sur la base de la liste de contrôle et de décrire les principales mesures d'appoint.
Partie B	Arguments relatifs à la décision Pages 17–35	Enumération des arguments relatifs aux critères importants pour l'appréciation des options «laisser» et «évacuer». Les arguments s'appuient sur les bases fournies dans la partie C.
Partie C	Bases relatives aux arguments Pages 37–114	Description détaillée des acquis de la science et de la pratique relatifs aux critères importants pour la prise de décision. Cette partie sert d'ouvrage de référence permettant une utilisation efficace des critères énumérés dans la partie B.

A Processus de décision à l'aide de la liste de contrôle

A-1 Liste de contrôle pour la comparaison des variantes «laisser» et «évacuer»

Arrondissement forestier: _____ Triage: _____ Zone de protection des forêts¹: _____

Propriétaire forestier: _____ Urgence²: _____

Altitude (m): _____ Pente (%): _____ Exposition: _____ Surface (ha): _____ Nom de la surface, no*: _____

Fonction prioritaire: _____ Type de station: _____

But sylvicole: _____ ☐ Rajeunissement naturel ☐ Regarnissage ☐ Plantation

Collaborateur: _____ Date: _____

Analyse de la rentabilité des coûts		non déterminant	décisif	Parle en faveur de			évacuer partiellem.			
				laisser	évacuer					
Critère principal	Critère, objectif			fort	moyen	faible	faible	moyen	fort	favorable
1 Dangers naturels	1.1 Eviter le déclenchement d'avalanches									
	1.2 Eviter les chutes de pierres et de bois									
	1.3 Eviter les glissements de terrain, les coulées de boue et l'érosion									
	1.4 Eviter les embâcles et les laves torrentielles									
2 Dégâts secondaires	2.1 Protéger les peuplements voisins contre les attaques de bostryches									
3 Sécurité au travail	3.1 Garantir la sécurité lors de la récolte des bois									
4 Entreprise forestière	4.1 Tenir compte du marché du bois et de la logistique									
	4.2 Créer de bonnes conditions pour le peuplement suivant									
	4.3 Conserver la fertilité du sol									
	4.4 Gérer l'influence des ongulés sauvages									
5 Environnement	5.1 Favoriser la conservation et la diversité des espèces, l'évolution naturelle									
6 Société	6.1 Favoriser l'attractivité pour les loisirs et la découverte de la nature									
7 Analyse des coûts Appréciation qualitative du bilan										
Analyse des coûts – voir aide (p. 15) (+ = utilité, - = coûts)										
7.1 Produit probable de la vente des bois										
7.2 Coûts de la récolte des bois (méthode conventionnelle)										
7.3 Coûts supplémentaires pour garantir la sécurité au travail										
7.4 Desserte (construction, extension, réparations)										
7.5 Mesures d'appoint Remarques:										
7.6 Contributions de tiers (sans reforestation) Remarques:										
Bilan:										

Justification des critères décisifs:

Décision pour la surface de chablis

- ☐ Laisser sur place
- ☐ Evacuer partiellement
- ☐ Evacuer³
- ☐ _____

Mesures d'appoint

- ☐ Mesures pour la protection du sol
- ☐ Ecorcer et laisser sur place
- ☐ Stabilisation des souches et des troncs
- ☐ Nett. du parterre de coupe / plantation
- ☐ Mesures cynégétiques
- ☐ Mesures contre les dangers naturels
- ☐ Prévention des incendies
- ☐ Relations publiques
- ☐ _____

Remarques:

*Annexe(s): extrait de carte 1: 25'000

¹ Selon délimitation des zones de protection des forêts au niveau régional, cantonal ou national, voir Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête, chapitre 2.4.3.

² L'urgence des mesures visant à éviter les attaques consécutives de bostryches est déterminée sur la base du chapitre B-2.1, p. 22.

³ Voir autres informations et guides dans l'Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête.

A-2 Exemple de liste de contrôle

Arrondissement forestier: Val des pessières Triage: Forêt modèle Zone de protection des forêts⁴: contrainte
 Propriétaire forestier: Corporation de la Forêt modèle Urgence⁵: III
 Altitude (m): 1450 Pente (%): 80 Exposition: 0 Surface (ha): 0,6 Nom de la surface, no*: Div. 12
 Fonction prioritaire: Forêt de prot. contre les avalanches (route cantonale) Type de station: Pessière-sapinière à hautes herbes
 But sylvicole: Ep-sa, structure par collectifs ☐ Rajeunissement naturel ☐ Regarnissage ☒ Plantation
 Collaborateur: H. Forestier Date: 5.2.2000

Analyse de la rentabilité des coûts		non déterminant	décisif	Parle en faveur de						évacuer partiellem.
Critère principal	Critère, objectif			laisser			évacuer			
				fort	moyen	faible	faible	moyen	fort	favorable
1 Dangers naturels	1.1 Eviter le déclenchement d'avalanches		j						jk	
	1.2 Eviter les chutes de pierres et de bois									
	1.3 Eviter les glissements de terrain, les coulées de boue et l'érosion					f	g			
	1.4 Eviter les embâcles et les laves torrentielles	a				def				
2 Dégâts secondaires	2.1 Protéger les peuplements voisins contre les attaques de bostryches							d		
3 Sécurité au travail	3.1 Garantir la sécurité lors de la récolte des bois			b	d					
4 Entreprise forestière	4.1 Tenir compte du marché du bois et de la logistique							c		c
	4.2 Créer de bonnes conditions pour le peuplement suivant					c		gj		c
	4.3 Conserver la fertilité du sol									
	4.4 Gérer l'influence des ongulés sauvages	a								
5 Environnement	5.1 Favoriser la conservation et la diversité des espèces, l'évolution naturelle					c	i			
6 Société	6.1 Favoriser l'attractivité pour les loisirs et la découverte de la nature	a								
7 Analyse des coûts Appréciation qualitative du bilan						X				X
Analyse des coûts → voir aide (p. 15)		(+ = utilité, - = coûts)								
7.1 Produit probable de la vente des bois										
7.2 Coûts de la récolte des bois (méthode conventionnelle)										
7.3 Coûts supplémentaires pour garantir la sécurité au travail										
7.4 Desserte (construction, extension, réparations)										
7.5 Mesures d'appoint										

Justification des critères décisifs:

Décision pour la surface de chablis

- ☐ Laisser sur place
☒ Evacuer partiellement
☐ Evacuer⁶
☐

Remarques:

Le bois d'industrie et de feu est laissé sur place

Mesures d'appoint

- ☐ Mesures pour la protection du sol
☐ Ecorcer et laisser sur place
☐ Stabilisation des souches et des troncs
☐ Nett. du parterre de coupe / plantation
☐ Mesures cynégétiques
☐ Mesures contre les dangers naturels
☐ Prévention des incendies
☐ Relations publiques
☐

Rassembler les rémanents en tas / plantation par collectifs sur la surface entière
Clôturer la surface
Râteliers en bois (env. 500 m')

* Annexe(s): extrait de carte 1: 25'000

⁴ Selon délimitation des zones de protection des forêts au niveau régional, cantonal ou national, voir Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête, chapitre 2.4.3.

⁵ L'urgence des mesures visant à éviter les attaques consécutives de bostryches est déterminée sur la base du chapitre B-2.1, p. 22

⁶ Voir autres informations et guides dans l'Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête.

A-3 Unité d'appréciation

L'aide à la décision se rapporte avant tout aux dégâts étendus. La limite entre les dégâts épars et les dégâts étendus n'est pas clairement définie dans la littérature. Cette distinction varie en fonction de l'usage. Lors du recensement de l'étendue des dégâts causés par «Vivian» et «Lothar», les surfaces de chablis inférieures à 0,2 ha ou dont le degré de recouvrement résiduel dépassait 20% ont été taxées de dégâts épars (SCHERRER 1993). Lors de l'appréciation du critère 2.1 «protéger les peuplements voisins contre les attaques de bostryches», les surfaces couvrant moins de 0,2 ha sont qualifiées de «petites surfaces» ou de «dégâts épars» (voir B-2.1, p. 22 et C-2.1.5a, p. 72). D'autres différenciations sont également envisageables, comme la définition d'une surface minimale à partir de laquelle il faut craindre le déclenchement d'avalanches ou l'apparition d'autres dangers naturels (voir p. ex. C-1.1.3c, p. 40).

La surface de chablis correspond en général à l'unité d'appréciation. Si les grandes surfaces totalement endommagées présentent des inégalités manifestes, une subdivision en plusieurs unités d'appréciation s'avère par conséquent indiquée. Celles-ci peuvent ensuite être évaluées séparément (voir tableau 1). À l'inverse, il est possible de réunir en une seule unité d'appréciation des surfaces de chablis voisines de même nature.

Les limites de propriété à l'intérieur d'une surface de chablis peuvent également impliquer une subdivision. En présence de petites parcelles de forêt privée, il s'avère pourtant préférable d'opter pour une stratégie commune plutôt que pour un découpage de la surface en de nombreuses petites unités d'appréciation.

Lors de la définition des unités d'appréciation, il s'agit de tenir compte du fait que les surfaces peuvent encore s'agrandir à court terme. Ainsi, les quelques épicéas ou hêtres qui ont persisté dans la surface de chablis vont probablement dépérir en l'espace de deux à trois ans (attaques de bostryches, coups de soleil) et ne devraient par conséquent pas être comptabilisés dans le degré de recouvrement résiduel. De plus, le long des lisières franches récentes et exposées au soleil, les essences particulièrement sensibles risquent encore de subir de nouvelles pertes.

Tableau 1:
Différences, à l'intérieur de la surface, susceptibles d'impliquer une subdivision en plusieurs unités d'intervention.

Caractéristique de différenciation	Conduit à une appréciation différente
<i>Topographie</i> p. ex. pente, lit de cours d'eau marqué	Avalanches, chutes de pierres, glissements de terrain, laves torrentielles, embâcles, coûts de la récolte des bois
<i>Nature du sol</i> p. ex. proportion de terre fine, couches géologiques	Chutes de pierres, glissements de terrain, laves torrentielles, protection du sol
<i>Peuplement renversé</i> p. ex. stades de développement, proportion de résineux, qualité du bois	Bostryches, coûts de la récolte des bois, produit de la vente des bois
<i>Favoriser la biodiversité par une différenciation des interventions au sein d'une même surface</i>	Conservation et diversité des espèces, évolution naturelle

A-4 Options d'intervention

En principe, trois options d'intervention sont envisageables: les chablis sont soit laissés tels quels sur place, soit évacués partiellement, soit évacués entièrement.

A-4.1 Chablis laissés sur place

Dans les surfaces laissées en l'état, les bois ne sont pas exploités et les structures offertes par l'enchevêtrement des troncs à terre sont conservées. Pour des raisons de sécurité, des interventions s'avèrent tout au plus ponctuellement nécessaires et n'engendrent pas de frais importants. Les mesures «ponctuelles» servent à dégager ou à protéger des chemins, des routes, des lignes de chemin de fer ou des bâtiments. Elles couvrent les opérations suivantes: enlever, stabiliser, déplacer, déposer correctement, écorcer ou découper *quelques* troncs jugés critiques.

A-4.2 Chablis partiellement évacués

Une partie des chablis est évacuée. L'appellation «évacuation partielle» se rapporte à

- a) une partie des chablis dont seuls certains assortiments sont évacués ou exploités sur une grande partie de la surface, ou
- b) une partie de la surface dont certains secteurs sont laissés tels quels, alors que dans d'autres les chablis sont évacués.

L'évacuation partielle fait disparaître les propriétés fondamentales des surfaces laissées telles quelles. Les troncs restants ne sont en général plus entrecroisés et la surface est plus facile d'accès.

Différentes réflexions peuvent conduire à une évacuation partielle des chablis:

- *Rentabilité*: l'exploitation se limite au bois facile à écouler sur le marché. Les assortiments de moindre valeur ne sont pas vidangés. La récolteuse est l'engin le mieux approprié pour réaliser une exploitation de bois de qualité. Les troncs laissés sur place entravent d'autant plus la mobilité durant la récolte des bois que le degré de mécanisation est faible.
- *Réduction des dégâts au sol*: afin d'observer un espacement maximal entre les layons de débardage, seuls les arbres situés à portée de grue seront récoltés.
- *Sécurité au travail*: il se peut que les chablis difficiles d'accès, comme ceux situés sur les versants très raides, ne soient pas évacués. En effet, seul l'engagement de moyens disproportionnés permet d'assurer la sécurité au travail à de tels endroits.

A-4.3 Chablis (entièrement) évacués

Il s'agit du prélèvement de l'ensemble des chablis. L'évacuation des bois a pour conséquence une modification drastique de l'aspect de la zone endommagée, supprimant de ce fait les propriétés caractéristiques des surfaces laissées en l'état (enchevêtrement, accessibilité réduite, ombrage du sol, microstructures diversifiées, bois mort, bois en décomposition, etc.). Toutefois, l'évacuation totale des chablis laisse en général beaucoup de bois dans la surface. Afin de faciliter l'accès, le matériel restant (courtes billes de pied, cimes, branches) est fréquemment découpé en petites pièces ou rassemblé en tas et en andains.

A-5 Instructions pour la pesée des intérêts à l'aide de la liste de contrôle

Marche à suivre:

- | | |
|---|---|
| 1. Définition des unités d'appréciation | La pesée des intérêts, effectuée au moyen de la liste de contrôle, se rapporte à une unité d'appréciation donnée. En général, une surface de chablis continue correspond à une unité d'appréciation. Il peut cependant s'avérer opportun de procéder à d'autres subdivisions (voir chapitre A-3, p. 10). |
| 2. Pesée des intérêts à l'aide de la liste de contrôle | Le formulaire de la liste de contrôle est un instrument de travail permettant d'effectuer la pesée des intérêts point par point: |
| a) Inscription des données dans l'entête | <ul style="list-style-type: none">• L'en-tête du formulaire, situé dans la partie supérieure de la liste de contrôle (voir p. 8), contient les principales données techniques concernant la surface à évaluer.• Il faut également tenir compte du concept général visant à éviter les dégâts consécutifs causés par les bostryches. Inscrire la catégorie de classement de la zone dans «zone de protection des forêts» (voir Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête, chapitre 2.4.3). L'appréciation découlant du chapitre B-2.1 (p. 22) ou C-2.1 (p. 66) fournit les indications à noter dans le champ «urgence». |
| b) Analyse d'utilité | <ul style="list-style-type: none">• L'analyse d'utilité permet d'évaluer qualitativement, pour chaque critère, les effets des options d'intervention: chablis «laissés sur place», «évacués» et «évacués partiellement». |

Choix des arguments correspondants

- Dans la partie B, un tableau mentionne les arguments possibles pour chaque critère. Les arguments décrivent des situations réelles, susceptibles de correspondre à la surface de chablis à apprécier. Il arrive fréquemment que plusieurs arguments se rapportent à un critère.
- Les renvois indiqués à la suite des arguments reportent aux chapitres correspondants des éléments d'information (partie C). Ils servent à l'interprétation correcte des arguments présentés sous une forme plutôt succincte dans la partie B.

Inscription des arguments appropriés dans la liste de contrôle, en fonction de leur importance

- La colonne de droite du tableau des arguments indique si les arguments choisis parlent en faveur d'«**évacuer**» ou de «**laisser**» les chablis, ou si le critère est «**non déterminant**» pour le cas à évaluer. L'option «**évacuer partiellement**» peut également s'avérer adéquate.
- On a attribué une lettre minuscule à chaque argument du tableau (voir figure 1). Ces caractères sont inscrits, dans la liste de contrôle, sur la ligne du critère respectif, en fonction de leur importance (voir point suivant et figure 2). Si l'argument peut également parler en faveur d'une «**évacuation partielle**», on inscrit aussi la lettre minuscule de l'argument dans la colonne «**évacuer partiellement**».

- Les arguments menant à la conclusion que le critère est «non déterminant» ont la plus grande importance. Lorsqu'un argument de ce type entre en ligne de compte, il n'est pas nécessaire de vérifier, pour le critère concerné, les autres arguments qui parlent en faveur de laisser ou d'évacuer les chablis. Dans ce cas, il faut inscrire la lettre correspondant à l'argument ou simplement un «X» dans la colonne «non déterminant» de la liste de contrôle.
- Les arguments pour «laisser» ou «évacuer» les chablis peuvent parler «**faiblement**», «**moyennement**» ou «**fortement**» en faveur de l'option indiquée. La pondération repose sur l'appréciation de l'organe de décision et doit correspondre aux conditions réelles. Il est important que cette opération soit exécutée dans le cadre restreint du critère, c'est-à-dire sans tenir compte des autres critères. À cet effet, il est utile de se représenter les situations extrêmes possibles afin d'estimer ensuite l'importance des arguments pour la surface de chablis à analyser. Ainsi, dans le cas des dangers naturels, l'argument est pondéré en fonction de l'importance des dégâts et des dangers potentiels.

c) Estimation des coûts et des recettes prévisibles au moyen de l'analyse des coûts

- Une feuille annexe est consacrée à l'analyse des coûts. Elle permet d'estimer séparément les différents coûts (voir A-6, p. 15). Les résultats sont ensuite reportés dans le tableau de l'analyse des coûts figurant sur le formulaire de la liste de contrôle. Ces coûts (nombres négatifs) et recettes (nombres positifs) sont estimés pour chacune des trois options «laisser», «évacuer» et «évacuer partiellement» les chablis.
- La somme des coûts et de l'utilité escomptés est inscrite sur la ligne «bilan», située tout en bas.

d) Interprétation de l'analyse d'utilité

- L'ensemble des lettres minuscules inscrites dans la liste de contrôle forme un «diagramme de points» qui met en évidence de façon plus ou moins claire l'option valorisée par l'analyse. La colonne «évacuer partiellement» indique en outre si une telle opération entre en ligne de compte.
- La représentation graphique ne convient parfois pas pour rendre compte de la situation particulière d'une surface de chablis. Un argument peut avoir un intérêt tel, pour le propriétaire forestier ou la collectivité publique, que le critère correspondant supplante toutes les autres attentes et détermine, à lui seul, le choix d'une option. Dans ce cas, on inscrit la lettre correspondant à l'argument dans la colonne «**décisif**» du critère respectif (voir figure 2) et on justifie de manière succincte les raisons de cette décision en base de la liste de contrôle. Les critères décisifs devraient essentiellement découler de la fonction prioritaire de la forêt concernée.

e) Interprétation de l'analyse des coûts

- Une appréciation qualitative permet d'évaluer le bilan des coûts en relation avec l'ampleur des dégâts et l'utilité (collectivité publique, entreprise forestière). Elle est intégrée dans l'analyse de la rentabilité des coûts au point 7 «analyse des coûts». Des coûts relativement élevés devraient parler assez fortement en faveur de l'option «laisser» les chablis, alors qu'un gain inciterait plus ou moins à les «évacuer». Ce critère peut également devenir un «critère décisif».

3. Décision

La décision résulte de la synthèse de tous les critères ou des critères qualifiés de «décisifs». Elle peut être arrêtée et justifiée par écrit dans la partie inférieure du formulaire de la liste de contrôle.

4. Réflexions quant à la nécessité de mesures d'appoint

L'analyse de la rentabilité des coûts permet aussi de mettre en évidence les critères pour lesquels la décision de laisser ou d'évacuer les chablis pourrait avoir des conséquences préjudiciables. Les mesures d'appoint sont susceptibles d'éviter ou d'atténuer les effets négatifs. Elles peuvent être inscrites dans la partie inférieure du formulaire.

Arguments relatifs aux chutes de pierres et de bois	Conclusion des arguments	Chaque argument s'accompagne d'une conclusion: «critère non déterminant», «laisser», «évacuer» ou «évacuer partiellement» les chablis.
a) Il n'y a pas de dégâts potentiels sérieux, c'est-à-dire que la zone dangereuse ne menace pas la population et des objets des catégories A et B. → C-1.2.2, p. 51; tableau 2, p. 38 b) Il n'y a pas de dangers potentiels. - Aucune zone de déclenchement de chutes de pierres. - Pente inférieure à 30° (58%), c'est-à-dire que des chutes de pierres ou de souches ne sont pas possibles. → C-1.2.3, p. 52 - La surface de chablis ne se situe pas dans une zone de passage ou d'atterrissement de chutes de pierres. → C-1.2.2a, p. 51; C-1.2.2b, p. 51	Critère non déterminant	
c) La surface de chablis se trouve dans une zone de déclenchement, de passage ou d'atterrissement de chutes de pierres. Les troncs à terre préviennent ou arrêtent la majeure partie des pierres dévalant la pente. → C-1.2.5, p. 53 d) Les chablis sont efficaces contre les chutes de pierres parce que la plupart des troncs reposent en biais par rapport à la ligne de plus grande pente. → C-1.2.5, p. 53 e) Les souches pourraient dévaler la pente après la récolte des bois parce qu'elles ont été coupées trop près de leur base. → C-1.2.5, p. 53	Laisser les bois	
f) Les bois laissés sur place sont susceptibles de chuter et de causer des dégâts parce que la surface est plus raide que 45° (100%). → C-1.2.3, p. 52; C-1.2.5, p. 53	Evacuer entièrement / évacuer partiellement les bois	

Figure 1: Exemple d'un tableau d'arguments de la partie B.

Dans cet exemple, l'argument «1» revêt une importance telle que le critère 1.1 est jugé «décisif». C'est pourquoi la décision penchera probablement pour l'évacuation des bois.

Analyse de la rentabilité des coûts

Critère principal	Critère, objectif	Non déterminant	décisif
1 Dangers naturels	1.1 Eviter le déclenchement d'avalanches 1.2 Eviter les chutes de pierres et de bois 1.3 Eviter les glissements de terrain, les coulées de boue et l'érosion 1.4 Eviter les embâcles et les laves torrentielles	a	j
2 Dégâts secondaires	2.1 Protéger les peuplements voisins contre les attaques de bostryches		
3 Sécurité au travail	3.1 Garantir la sécurité lors de la récolte des bois		
4 Entreprise forestière	4.1 Tenir compte du marché du bois et de la logistique 4.2 Créer de bonnes conditions pour le peuplement suivant 4.3 Conserver la fertilité du sol 4.4 Gérer l'influence des ongulés sauvages	a	
5 Environnement	5.1 Favoriser la conservation et la diversité des espèces, l'évolution naturelle		
6 Société	6.1 Favoriser l'attractivité pour les loisirs et la découverte de la nature	a	
7 Analyse des coûts	Appréciation qualitative du bilan		

Analyse des coûts → voir aide (p. 15) (+ = utilité, - = coûts)

7.1	Produit probable de la vente des bois	
7.2	Coûts de la récolte des bois (méthode conventionnelle)	
7.3	Coûts supplémentaires pour garantir la sécurité au travail	
7.4	Desserte (construction, extension, réparations)	
7.5	Mesures d'appoint	Remarques: <u>paravalanches temporaires</u>
7.6	Contributions de tiers (sans reforestation)	Remarques: <u>paravalanches temporaires</u>
Bilan:		

Parle en faveur de						évacuer partiellem.
laisser			évacuer			
fort	moyen	faible	fort	moyen	faible	favorable
		f	g	j		
		def				
				d		
b	d					
		c		c		c
				g		c
		c	i			
		X				X

laisser	évacuer	évacuer partiellem.
0	+28'000	+18'000
0	-36'000	-22'000
0	-3'000	-2'000
0	-4'500	-3'500
-10'000	-270'000	-270'000
0	+270'000	+270'000
-10'000	-15'500	-9'500

Selon la conclusion exprimée dans le tableau des arguments du critère 1.2, l'argument correspondant à la lettre «g» parle en faveur de l'«évacuation» des chablis. La personne en charge de l'appréciation a jugé l'argument «faible».

Figure 2: Exemple d'appréciation d'une surface de chablis au moyen de la liste de contrôle. Le choix des arguments et leur pondération dépendent des conditions locales, propres à la surface de chablis.

A-6 Aide relative à l'analyse des coûts

7.1 Produit probable de la vente des bois (selon offres d'entrepreneurs ou estimations ↪ B-7.1, p. 30)

		Evacuer	Evacuer partiellement
Grumes de sciage	Résineux:	m ³ à fr. = + fr.	m ³ à fr. = + fr.
	Feuillus:	m ³ à fr. = + fr.	m ³ à fr. = + fr.
Bois d'industrie	Résineux:	m ³ à fr. = + fr.	m ³ à fr. = + fr.
	Feuillus:	m ³ à fr. = + fr.	m ³ à fr. = + fr.
Bois-énergie	Résineux:	m ³ à fr. = + fr.	m ³ à fr. = + fr.
	Feuillus:	m ³ à fr. = + fr.	m ³ à fr. = + fr.
		m ³ à fr. = + fr.	m ³ à fr. = + fr.
Produit probable de la vente des bois (total):		+ fr.	+ fr.
Liste de contrôle 7.1		Liste de contrôle 7.1	Liste de contrôle 7.1

7.2 Coûts de la récolte des bois (selon offres d'entrepreneurs ou estimations ↪ B-7.2, p. 30)

		Evacuer	Evacuer partiellement
☐ Séparation de la souche / ☐ démêlage / ☐ façonnage / ☐ débusquage:		m ³ à fr. = - fr.	m ³ à fr. = - fr.
☐ Débardage / ☐ façonnage:		m ³ à fr. = - fr.	m ³ à fr. = - fr.
Surcoût pour protection du sol: _____		m ³ à fr. = - fr.	m ³ à fr. = - fr.
Transport jusqu'au ☐ lieu de prise en charge ou jusqu'au ☐ dépôt de bois:		m ³ à fr. = - fr.	m ³ à fr. = - fr.
Entreposage: (☐ route forestière / ☐ dépôt à l'état humide ☐ _____)		m ³ à fr. = - fr.	m ³ à fr. = - fr.
Coûts de la récolte des bois (total):		- fr.	- fr.
Liste de contrôle 7.2		Liste de contrôle 7.2	Liste de contrôle 7.2

7.3 Coûts supplémentaires pour garantir la sécurité au travail (↪ B-7.3, p. 33)

		Evacuer	Evacuer partiellement
Supplément pour méthode de récolte des bois plus sûre:		m ³ à fr. = - fr.	m ³ à fr. = - fr.
Instructions / cours (p. ex. cours de bûcheronnage dans les chablis):		pers. à fr. = - fr.	pers. à fr. = - fr.
Dispositions de sécurité: _____		- fr.	- fr.
Système d'appel d'urgence: _____		- fr.	- fr.
Contrôles: _____		- fr.	- fr.
Coûts supplémentaires pour garantir la sécurité au travail (total):		- fr.	- fr.
Liste de contrôle 7.3		Liste de contrôle 7.3	Liste de contrôle 7.3

7.4 Desserte (→ B-7.4, p. 33)

☐ Construction / ☐ extension: ☐ route forestière; ☐ piste; ☐ layon Réparation: ☐ route forestière; ☐ piste; ☐ layon	Evacuer _____ m' (m³) à _____ fr. = - _____ fr. _____ m' (m³) à _____ fr. = - _____ fr.	Evacuer partiellement _____ m' (m³) à _____ fr. = - _____ fr. _____ m' (m³) à _____ fr. = - _____ fr.
Coûts de desserte (total):	- _____ fr.	- _____ fr.

Liste de contrôle 7.4 Liste de contrôle 7.4 Liste de contrôle 7.4

7.5 Mesures d'appoint (→ B-7.5, p. 34)

	Laisser	Evacuer	Evacuer partiellement
Mesures pour la protection du sol:	_____ - _____ fr.	_____ - _____ fr.	_____ - _____ fr.
Ecorcer et laisser sur place:	_____ m³ à _____ fr. = - _____ fr.	_____ m³ à _____ fr. = - _____ fr.	_____ m³ à _____ fr. = - _____ fr.
Stabilisation des souches et des troncs:	_____ pce à _____ fr. = - _____ fr.	_____ pce à _____ fr. = - _____ fr.	_____ pce à _____ fr. = - _____ fr.
Mesures contre les dangers naturels:	_____ - _____ fr.	_____ - _____ fr.	_____ - _____ fr.
Relations publiques, information:	_____ - _____ fr.	_____ - _____ fr.	_____ - _____ fr.
¹ _____ :	_____ - _____ fr.	_____ - _____ fr.	_____ - _____ fr.
_____ :	_____ - _____ fr.	_____ - _____ fr.	_____ - _____ fr.
Mesures d'appoint (total):	_____ fr.	_____ fr.	_____ fr.

¹ autres mesures d'appoint, p. ex. prévention des incendies, nettoyage du parterre de coupe, mesures cynégétiques, etc.

Liste de contrôle 7.5 Liste de contrôle 7.5 Liste de contrôle 7.5

7.6 Contributions de tiers (seulement pour les mesures concernant la surface → B-7.6, p. 35)

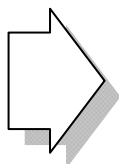
Subventions ou indemnités pour	Laisser	Evacuer	Evacuer partiellement
Récolte des bois:	_____ + _____ fr.	_____ + _____ fr.	_____ + _____ fr.
Entreposage des bois:	_____ + _____ fr.	_____ + _____ fr.	_____ + _____ fr.
Ecorcer et laisser sur place:	_____ + _____ fr.	_____ + _____ fr.	_____ + _____ fr.
Mesures contre les dangers naturels:	_____ + _____ fr.	_____ + _____ fr.	_____ + _____ fr.
Indemnités pour réserve forestière:	_____ + _____ fr.	_____ + _____ fr.	_____ + _____ fr.
_____ :	_____ + _____ fr.	_____ + _____ fr.	_____ + _____ fr.
_____ :	_____ + _____ fr.	_____ + _____ fr.	_____ + _____ fr.
Contributions de tiers (total):	+ _____ fr.	+ _____ fr.	+ _____ fr.

Liste de contrôle 7.6 Liste de contrôle 7.6 Liste de contrôle 7.6

B Arguments relatifs à la décision

La partie B est un recueil des arguments possibles relatifs aux critères qui doivent être appréciés à l'aide de la liste de contrôle. Les arguments – dont la composition varie en fonction de la situation de la surface de chablis à évaluer – peuvent suggérer de laisser ou d'évacuer les bois. Chaque argument est identifié par une lettre minuscule destinée à être inscrite dans la liste de contrôle.

B-1 Dangers naturels



Les arguments relatifs aux critères «dangers naturels» (B-1.1 à B-1.4) sont valables pour autant que **des dangers⁷ et des dégâts⁸ potentiels existent**. Les dégâts potentiels se répartissent en trois catégories (voir tableau 2, p. 38). La décision quant à l'opportunité de laisser ou d'évacuer les chablis doit avant tout tenir compte de la population et des biens de valeur qui, selon la circulaire n° 8, s'avèrent importants même en cas d'urgence. Cela concerne les catégories A et B.

⁷ Définition des dangers potentiels: somme des facteurs qui constituent une menace et entraînent des dommages dans une région donnée (LATELTIN 1997).

⁸ Définition des dégâts potentiels: ensemble des objets potentiellement menacés dans le temps et l'espace par des phénomènes naturels (HEINIMANN *et al.* 1998).

B-1.1 Eviter le déclenchement d'avalanches

But:

éviter des dégâts pour la population et les biens en raison du déclenchement d'avalanches dans la surface de chablis

Arguments relatifs au déclenchement d'avalanches (voir aussi le schéma de décision pour l'évaluation des dangers potentiels: figure 6, p. 42)	Conclusion des arguments
a) Il n'y a pas de dégâts potentiels sérieux, c'est-à-dire que la zone dangereuse ne menace pas la population et des objets des catégories A et B. ↳ C-1.1.2, p. 39 et tableau 2, p. 38	Critère non déterminant
b) Il n'y a pas de dangers potentiels, c'est-à-dire que la surface de chablis se situe au-dessous de 800 à 1200* m d'altitude (selon région climatique⁹). ↳ C-1.1.3a, p. 40	
c) Il n'y a pas de dangers potentiels, c'est-à-dire que la pente de la surface est inférieure à 30° (58%) (et inférieure à 35° (70%) au-dessous de 1200 m d'altitude). ↳ C-1.1.3b, p. 40	
d) Il n'y a pas de dangers potentiels, c'est-à-dire que les trois conditions suivantes sont simultanément remplies (tenir compte des éventuels dégâts consécutifs dus aux bostryches) ↳ C-1.1.3c, p. 40: • Degré de recouvrement > 50%¹⁰ dans la surface de chablis et les environs (unité considérée: au moins 1 ha; concerne le peuplement voisin, trouées comprises). • Longueur des trouées¹⁰ dans la ligne de plus grande pente • inférieure à 50 m pour une pente de 30 à 40° (58 à 84%) ou • inférieure à 40 m pour une pente de 40 à 45° (84 à 100%) ou • inférieure à 30 m pour une pente supérieure à 45° (>100%). • Largeur des trouées¹⁰ perpendiculairement à la ligne de plus grande pente • inférieure à 15 m (dans les forêts à feuillage persistant) ou • inférieure à 5 m (dans les forêts à feuillage caduc).	
e) La pente est supérieure à 30° (58%) (supérieure à 35° (70%) au-dessous de 1200 m d'altitude). En renonçant à l'évacuation des chablis, il ne faut pas craindre le déclenchement d'avalanches dangereuses (même à long terme) à cause de l'obstacle constitué par les bois à terre. ↳ C-1.1.4, p. 42; C-1.1.5b, p. 44 ss.	Laisser les bois
f) Les troncs constituent une bonne protection contre le déclenchement d'avalanches en raison d'un ancrage suffisant et d'un positionnement généralement en biais par rapport à la ligne de plus grande pente. Ils parviennent de ce fait à stopper rapidement les petits mouvements de la neige. ↳ C-1.1.5b, p. 44 ss.	
g) Le rajeunissement préétabli est suffisant en nombre et au niveau de la répartition. Le peuplement suivant est susceptible de reprendre l'effet protecteur d'ici à ce que les bois perdent leur capacité de prévenir le déclenchement d'avalanches. ↳ C-1.1.7, p. 48	
h) Les coûts entraînés par l'évacuation des chablis et par la construction d'ouvrages sont élevés et s'avèrent disproportionnés quant au gain de sécurité, par rapport à la solution de laisser la surface telle quelle.	Evacuer les bois et construire des ouvrages
i) Les couches de neige d'une période de retour de 30 ans peuvent cependant dépasser la hauteur d'action de plus de 1 m. C'est pourquoi le danger d'avalanches est grand, même si les arbres à terre sont stables en raison de la pente oscillant entre 35 et 45° (70 et 100%). ↳ C-1.1.4, p. 42; b), p. 44 ss.	
j) La pente de la surface de chablis dépasse 45° (100%). Le poids supplémentaire de la neige risque par conséquent de faire glisser la couche entière, bois compris. ↳ C-1.1.5b, p. 44 ss. et tableau 4, p. 46	

⁹ Dans certains cas, cette limite peut aussi se situer plus bas.

¹⁰ Le degré de recouvrement, la longueur et la largeur des trouées peuvent encore se modifier au cours des années suivantes, avant tout en raison des épicéas et des hêtres restés sur pied à l'intérieur et en bordure de la surface (bostryches, coups de soleil). L'appréciation doit tenir compte de ces constatations, notamment si les arbres dépérissants sont évacués.

B-1.2 Eviter les chutes de pierres et de bois

But:

éviter des dégâts pour la population et les biens en raison de chutes de pierres et de bois

Arguments relatifs aux chutes de pierres et de bois	Conclusion des arguments
a) Il n'y a pas de dégâts potentiels sérieux, c'est-à-dire que la zone dangereuse ne menace pas la population et des objets des catégories A et B. ↳ C-1.2.2, p. 51; tableau 2, p. 38	Critère non déterminant
b) Il n'y a pas de dangers potentiels. - Aucune zone de déclenchement de chutes de pierres. - Pente inférieure à 30° (58%), c'est-à-dire que des chutes de pierres ou de souches ne sont pas possibles. ↳ C-1.2.3, p. 52 - La surface de chablis ne se situe pas dans une zone de passage ou d'atterrissement de chutes de pierres. ↳ C-1.2.2a, p. 51; C-1.2.2b, p. 51	
c) La surface de chablis se trouve dans une zone de déclenchement, de passage ou d'atterrissement de chutes de pierres. Les troncs à terre préviennent ou arrêtent la majeure partie des pierres dévalant la pente. ↳ C-1.2.5, p. 53	Laisser les bois
d) Les chablis sont efficaces contre les chutes de pierres parce que la plupart des troncs reposent en biais par rapport à la ligne de plus grande pente. ↳ C-1.2.5, p. 53	
e) Les souches pourraient dévaler la pente après la récolte des bois parce qu'elles ont été coupées trop près de leur base. ↳ C-1.2.5, p. 53	
f) Les bois laissés sur place sont susceptibles de chuter et de causer des dégâts parce que la surface est plus raide que 45° (100%). ↳ C-1.2.3, p. 52; C-1.2.5, p. 53	Evacuer entièrement / évacuer partiellement les bois

B-1.3 Eviter les glissements de terrain, les coulées de boue et l'érosion

But:

éviter des dégâts pour la population et les biens en raison de glissements de terrain, de coulées de boue et de l'érosion

Arguments relatifs aux glissements de terrain, aux coulées de boue et à l'érosion	Conclusion des arguments
a) Il n'y a pas de dégâts potentiels sérieux, c'est-à-dire que la zone dangereuse ne menace pas la population et des objets des catégories A et B. ↳ C-1.3.2, p. 56; tableau 2, p. 38	Critère non déterminant
b) Il n'y a pas de dangers potentiels. ↳ C-1.3.3b, p. 57 - Aucune indication sur la carte des dangers. - Pente (les glissements de terrain sont rares au-dessous de 20°, fréquents entre 30 et 45°). - Absence d'indices d'anciens glissements de terrain. - Sols peu menacés (sont particulièrement menacés les matériaux meubles peu perméables contenant une proportion élevée de terre fine, p. ex. les éboulis de pente ou limons de pente à grains fins, les moraines argileuses).	
c) La récolte des bois nécessiterait la construction d'une route ou d'une piste. Cette solution s'avérerait problématique en raison des propriétés du sol ou de l'hydrologie. ↳ C-1.3.6a, p. 62	Laisser les bois
d) Les chablis à terre peuvent contribuer à freiner sensiblement les masses en glissement et les coulées de boue et raccourcir de ce fait la distance de glissement (voir cependant argument h). ↳ C-1.3.6b, p. 63	
e) L'évacuation des bois accroîtrait le danger d'érosion de surface et, dans une moindre mesure, le risque de glissements de terrain et de coulées de boue. En effet, les travaux de récolte causeraient, dans ces conditions, des atteintes supplémentaires au sol (p. ex. treuil, câble-grue, notamment pour les lignes parallèles à la ligne de plus grande pente) ou la compaction du sol. ↳ C-1.3.6a, p. 62	Laisser / évacuer partiellement les bois
f) Les bois à terre contribuent à la réduction de l'érosion de surface, par exemple en freinant l'écoulement superficiel ou en réduisant partiellement l'énergie d'impact des précipitations. ↳ C-1.3.6b, p. 63	
g) Les dépressions laissées par les souches renversées causent une infiltration localement concentrée des eaux de surface. Le fait de redresser les souches lors de l'évacuation des bois est susceptible de réduire le danger de glissements superficiels. ↳ C-1.3.5, p. 60	Evacuer entièrement / évacuer partiellement les bois
h) Les glissements de terrain ou les coulées de boue mêlés de bois ont un effet dévastateur accru et sont difficiles à évacuer (voir cependant argument d). ↳ C-1.3.6a, p. 62; C-1.3.6b, p. 63	

B-1.4 Eviter les embâcles et les laves torrentielles

But:

éviter des dégâts pour la population et les biens en raison d'embâcles et de laves torrentielles dans le lit de cours d'eau

Arguments relatifs aux embâcles et aux laves torrentielles	Conclusion des arguments
a) Il n'y a pas de dégâts potentiels sérieux, c'est-à-dire que la zone dangereuse ne menace pas la population et des objets des catégories A et B. ↳ C-1.4.2, p. 38; tableau 2, p. 38	Critère non déterminant
b) Il n'y a pas de dangers potentiels; les chablis ne risquent pas d'aboutir dans le lit et d'y causer des embâcles. ↳ C-1.4.3; p. 64 • Pente inférieure à 9–14°. • Absence de bois à terre dans la zone d'influence directe du lit.	
c) La probabilité est grande que les bois à terre aboutissent dans le lit et provoquent, sur place ou plus en aval, des embâcles ou des laves torrentielles à effet dévastateur sérieux., ↳ C-1.4.3; p. 64	Evacuer les bois

B-2 Dégâts secondaires

B-2.1 Protéger les peuplements voisins contre les attaques de bostryches

But:
réduire les dégâts secondaires dans les forêts protectrices et productives avoisinantes

La nécessité des mesures de protection des forêts pour la surface de chablis à évaluer dépend de:	Niveau de décision:
1. La catégorie de la zone de protection des forêts dans laquelle se trouve la surface.	Confédération, canton, région (voir Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête, chapitre 2.4.3)
2. L'urgence et le poids des mesures de protection des forêts prévues dans la surface afin d'éviter les dégâts secondaires dans la zone.	Propriétaire forestier, service forestier (arguments et liste de contrôle de l'aide à la décision)

Arguments relatifs aux attaques de bostryches

(comme alternative à la liste ci-dessous, il est également possible de définir les arguments correspondants, au moyen du schéma de décision de la page 75 (figure 16)).



- L'**évaluation technique** au moyen de l'aide à la décision ne dépend pas de la délimitation générale des zones de protection des forêts selon l'Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête (chapitre 2.4.3).
- L'urgence est reportée dans l'en-tête du formulaire de la liste de contrôle.
- **Urgence ≠ poids** (faible, moyen, fort). L'aspect temporel occupe le premier plan pour les degrés d'urgence 1–3, alors que l'efficacité constitue l'élément principal pour la pondération.

Exemples: • Lorsqu'une zone ne présente pas d'autres dégâts de tempête hormis une grande surface de chablis (> 2 ha) riche en épicéas, l'évacuation de ces bois peut s'avérer très efficace pour prévenir des dégâts secondaires, malgré le degré d'urgence 3. La pondération «parle fortement en faveur de l'évacuation» serait indiquée dans ce cas, même si le degré d'urgence n'est pas élevé.

• En présence de deux surfaces de chablis comparables dans la même zone, l'évacuation peut être pondérée différemment malgré le degré d'urgence identique, par exemple si l'une des deux surfaces se situe nettement plus près de la forêt protectrice menacée.

	Conclusion des arguments
a) Une évacuation des bois pour des raisons de protection des forêts ne s'impose pas, lorsqu'au moins une des quatre conditions suivantes est remplie: • Moins de 80% des chablis d'épicéas peuvent être évacués ou écorcés à temps dans la zone de protection des forêts (dégâts épars compris). ➔ C-2.1.5, p. 72 • La proportion d'épicéas (DHP > 30 cm) dans les peuplements avoisinants (rayon d'environ 1000 m) est inférieure à 20%. ➔ C-2.1.5b, p. 74 • Le nombre d'épicéas à protéger dans les peuplements avoisinants (rayon d'environ 1000 m) est sensiblement inférieur aux chablis à évacuer des secteurs de dégâts épars et étendus. ➔ C-2.1.3b, p. 69 • La proportion d'épicéas (DHP > 30 cm) est inférieure à 20% dans la surface de chablis. ➔ C-2.1.3a, p. 69	Critère non déterminant
b) La surface de chablis est petite (< 0,1 ha) ou correspond à des dégâts épars. ➔ C-2.1.3a, p. 69; C-2.1.5a, p. 73	Evacuer les bois (ou écorcer et laisser sur place) Urgence 1, c'est-à-dire immédiatement
c) La surface de chablis est moyennement grande (0,1 à 2 ha). ➔ C-2.1.3a, p. 69; C-2.1.5a, p. 73	Evacuer les bois (ou écorcer et laisser sur place) Urgence 2, c'est-à-dire dans les meilleurs délais
d) La surface de chablis est grande (> 2 ha); le façonnage des chablis peut être ajourné dans cette surface, au profit de plus petites (voir degrés d'urgence 1 et 2) et les bois de cette surface ne seront peut-être plus attractifs pour les bostryches d'ici à l'automne. ➔ C-2.1.3a, p. 69; C-2.1.5a, p. 73	Evacuer les bois (ou écorcer et laisser sur place) Urgence 3 , c'est-à-dire jusqu'au printemps suivant, pour autant que l'intervention soit encore nécessaire
e) Danger d'attaque des résineux par d'autres espèces de coléoptères dans les peuplements voisins (rarement important). ➔ C-2.1.6, p. 75	Evacuer les bois (ou écorcer et laisser sur place)

B-3 Sécurité au travail

B-3.1 Garantir la sécurité lors du façonnage des chablis

But:
éviter des accidents lors
du façonnage des chablis

Outre l'appréciation qualitative de la sécurité au travail, il faut encore estimer – dans l'analyse des coûts de la liste de contrôle – les coûts supplémentaires nécessaires pour garantir la sécurité lors des travaux de récolte des bois (➔ B-7.3, p. 33). La liste de contrôle (critères 1.1 à 1.4; chapitres B-1 et C-1) contient des réflexions relatives à la sécurité face aux dangers naturels.

Arguments relatifs à la sécurité lors du façonnage des chablis	Conclusion des arguments
a) La récolte des chablis est prévue essentiellement à l'aide de machines (processeurs); sont notamment concernés les travaux dangereux de séparation de la souche et de démêlage. ➔ C-3.1.2, p. 78; tableau 15, p. 78	Critère non déterminant
b) Il existe un danger de chutes de pierres et de souches pendant la récolte des bois; pente supérieure à 30° (60%). ➔ C-3.1.3, p. 79	Laisser / évacuer partiellement les bois, c'est-à-dire ne pas évacuer dans les secteurs critiques
c) Les troncs sont enchevêtrés et par conséquent très dangereux.	
d) Les coûts pour garantir la sécurité au travail sont trop élevés ou l'évacuation des chablis n'est pas concevable pour des raisons de sécurité.	
e) Le danger d'accident est élevé lors des travaux de bûcheronnage. Le terrain ou certaines parties de la surface de chablis sont tellement raides ou complexes (p. ex. parois rocheuses, éboulis de blocs) que la liberté de mouvement en est fortement réduite.	

B-4 Entreprise forestière

B-4.1 Tenir compte du marché du bois et de la logistique

But:
commercialisation aisée
et prix raisonnables

La «connaissance du passé» ne suffit pas pour apprécier ce critère de manière réaliste. Les principales sources d'information sur les possibilités techniques actuelles (p. ex. au sujet de la récolte des bois) et sur la situation du marché du bois sont les suivantes:

- entretiens avec les forestiers de triage, les clients et les entrepreneurs forestiers,
- pages internet de l'ASEFOR, l'IBS, l'OFEV et du service forestier cantonal,
- «tables rondes» régionales.

Arguments relatifs au marché du bois et à la logistique	Conclusion des arguments
a) Un déroulement correct du processus de production s'avère difficile en raison de la composition probable de l'équipe de façonnage et de son équipement (p. ex. à cause du manque d'expérience ou de formation, de difficultés linguistiques, de la composition de l'équipe, des équipements déficients, etc.). ↳ C-4.1.2, p. 83	Laisser les bois
b) Le transport et la vente des bois ne sont pas garantis en raison du très grand volume de chablis sur le plan régional et du suremploi de la logistique de distribution. ↳ C-4.1.1, p. 82	
c) Le déroulement au sein de la chaîne de production est bien planifié (façonnage, débardage, commercialisation ou entreposage des chablis façonnés) pour les raisons suivantes: • les chablis sont vendus sur pied ou • l'ensemble de la chaîne de production est gérée par une organisation interentreprises ou • le gestionnaire y prête une attention particulière. ↳ C-4.1.2, p. 83	Evacuer entièrement / évacuer partiellement les bois
d) Les bois peuvent être entreposés vivants jusqu'à ce qu'ils soient transportés et vendus efficacement (résineux disposant encore de contacts racinaires actifs, au-dessus de 900 m d'altitude, expositions nord et est). ↳ C-4.1.2, p. 83	

B-4.2 Créer de bonnes conditions pour le peuplement suivant

But:
reforestation et
peuplements suivants
aussi naturels que
possible afin qu'ils
puissent remplir leur
fonction prioritaire

Arguments relatifs aux bonnes conditions pour le peuplement suivant	Conclusion des arguments
a) La surface n'est pas une forêt protectrice ou productive, c'est pourquoi le déroulement de la reforestation n'est pas essentiel. → C-4.2.5, p. 90	Critère non déterminant
b) La première intervention n'est prévue que dans 20 à 60 ans parce que le rajeunissement entre les bois à terre est suffisant au niveau de la quantité et de la qualité pour abandonner à la nature – au sens de la «rationalisation biologique» – le développement de la jeune forêt pendant les premières décennies. → C-4.2.6, p. 91	
c) Le bois en décomposition est important dans ce cas pour le rajeunissement de l'épicéa. → C-4.2.7, p. 93; tableau 21, p. 94	Laisser / évacuer partiellement les bois
d) Une surface de chablis laissée telle quelle offre de nombreuses microstations avantageuses, p. ex. fonte des neiges précoce, souches et dépressions laissées par les souches, microclimat tempéré. → C-4.2.3b, p. 86; C-4.2.3c, p. 86	
e) Le rajeunissement présent serait menacé par l'évacuation des chablis, p. ex. en raison de la forte circulation des engins ou du treuillage au sol. → C-4.2.4a, p. 87	
f) Des soins aux recrûs ou aux fourrés s'avèrent nécessaires, p. ex. à cause de la forte concurrence de la végétation. L'exploitation des chablis facilite considérablement ces travaux. → C-4.2.6, p. 91	Evacuer entièrement / évacuer partiellement les bois
g) Des plantations et éventuellement des soins sont probablement nécessaires car le rajeunissement (nombre de tiges, essences ou qualité) ne permet pas d'atteindre les buts sylvicoles (l'appréciation définitive ne peut souvent se faire qu'après 5 ans environ). → C-4.2.5, p. 90	
h) Le rajeunissement est largement recouvert par les arbres à terre et devrait être dégagé. → C-4.2.4a, p. 87	
i) Les essences pionnières sont souhaitables. Elles s'installent de manière plus luxuriante dans les surfaces de chablis évacuées que dans celles laissées telles quelles, pour autant que des semenciers soient présents à proximité. → C-4.2.3b, p. 86; C-4.2.4b, p. 88	
j) Les mouvements des troncs sont susceptibles d'altérer considérablement la jeune forêt. → C-4.2.3d, p. 86	

B-4.3 Conserver la fertilité du sol

But:
éviter les dégâts au sol
lors du façonnage des
chablis

En principe, le danger de compaction par la circulation des engins concerne tous les types de sols. La mise en œuvre systématique des règles énumérées au chapitre C-4.3.4 (p. 98) permet de réduire sensiblement ce danger. Dans ces conditions, le critère peut être qualifié de «non déterminant» (voir argument a) pour les sols peu sensibles (C-4.3.2, p. 96).

Arguments relatifs à la fertilité du sol	Conclusion des arguments
a) Les dégâts durables au sol peuvent être évités. En effet, les sols concernés sont peu sensibles et des dispositions efficaces ont été prises afin de protéger le sol. ↳ C-4.3.4, p. 98; C-4.3.2, p. 96; tableau 22, p. 96	Critère non déterminant
b) À l'état humide, le sol est moyennement à très sensible à la compaction (teneur en argile: 8 à 45%). En observant les règles de protection du sol, il est possible de réduire les dégâts à un niveau raisonnable. ↳ C-4.3.2, p. 96; C-4.3.4, p. 98	Laisser les bois
c) Il est difficile de tenir compte de la protection du sol. Il faut par exemple s'attendre à ce que des engins circulent sur l'ensemble de la surface ou travaillent également lorsque les conditions du temps et du sol sont mauvaises. ↳ C-4.3.4, p. 98	
d) Les chablis seront probablement façonnés en hiver. Altitude: < 900 m ↳ C-4.3.4, p. 98	
e) Le sol est fortement à extrêmement sensible. ↳ C-4.3.2, p. 96	
f) La desserte fine actuelle ne suffit pas aux machines qui seront probablement utilisées ou l'espacement des layons à aménager sera vraisemblablement inférieur à 20 m (< 30 m sur les versants raides). ↳ C-4.3.4, p. 98	Laisser / évaluer partiellement les bois (p. ex. de manière très espacée)

B-4.4 Gérer l'influence des ongulés sauvages

But:
reforestation proche de
l'état naturel

Arguments relatifs à l'influence des ongulés sauvages	Conclusion des arguments
a) La surface de chablis ne remplit pas de fonction particulière de protection ou de production. Même un fort abroutissement peut être toléré sans inconvénients majeurs	Critère non déterminant
b) L'abroutissement dû au gibier est faible ou le nombre de tiges composant le rajeunissement est élevé. La reforestation à l'aide d'essences conformes à la station est par conséquent possible sans mesures particulières. → C-4.4.4, p. 102	
c) Les peuplements avoisinants offrent qualitativement et quantitativement des possibilités de gagnage et de couvert suffisantes. Les ongulés sauvages utilisent par conséquent peu les surfaces de chablis laissées telles quelles comme lieu de retraite et de gagnage, notamment si le facteur de dérangement (p. ex. activités de loisirs) est faible. → C-4.4.3a, p. 101; C-4.4.3b, p. 101	Laisser les bois
d) Les peuplements avoisinants offrent qualitativement et quantitativement des possibilités de gagnage et de couvert insuffisantes. La reforestation proche de l'état naturel est remise en question sans mesures de protection, car les ongulés sauvages utilisent volontiers les surfaces de chablis comme lieu de retraite et de gagnage, notamment si le facteur de dérangement (p. ex. activités de loisirs) est élevé. → C-4.4.3a, p. 101; C-4.4.3b, p. 101	Evacuer entièrement / évacuer partiellement les bois

B-5 Environnement

B-5.1 Favoriser la conservation et la diversité des espèces ainsi que l'évolution naturelle

But:
enrichissement des
milieux naturels et égards
envers la flore et la faune

Arguments relatifs à la conservation et à la diversité des espèces ainsi qu' à l'évolution naturelle	Conclusion des arguments
a) Des espèces animales particulièrement sensibles au dérangement vivent dans la région et le façonnage des chablis est prévu pendant une période délicate (période de repos hivernal, de mise bas, de parade, de couvaison ou d'élevage). → C-5.1.1, p. 104	Laisser les bois
b) Les espèces animales sensibles au dérangement peuvent profiter d'une surface de chablis laissée telle quelle (tranquillité par rapport à l'être humain). → C-5.1.1, p. 104	
c) Les surfaces de chablis laissées telles quelles sont en général précieuses pour contrebalancer le paysage rural plus ou moins fortement exploité. Une diversité élevée des structures et des limites (zones d'érosion inoffensives comprises) accroît la qualité des milieux. → C-5.1.5, p. 109 et C-5.1.3, p. 107	
d) La surface de chablis laissée telle quelle constitue un relais écologique enrichissant dans le réseau régional d'interconnexion des biotopes. → C-5.1.5, p. 109	
e) La surface de chablis peut être acceptée comme réserve sur la base du concept cantonal de réserve, éventuellement avec les peuplements avoisinants. → C-5.1.5, p. 109	
f) La surface de chablis laissée en l'état permet d'arrondir et d'étendre une forêt naturelle existante. → C-5.1.5, p. 109	
g) Le réseau de desserte devrait être étendu pour la récolte des bois, ce qui impliquerait également un dérangement à plus long terme. Ce facteur pèse particulièrement lourd dans les zones peu desservies jusqu'ici. → C-5.1.1, p. 104	
h) La surface de chablis laissée telle quelle apporte une contribution particulière à la conservation et à la diversité des espèces (essences attractives écologiquement, gros diamètres, bois mort bien ensoleillé). → C-5.1.3, p. 107; tableau 23, p. 108	Laisser / évacuer partiellement les bois
i) À proximité, la plupart des surfaces de chablis sont laissées en l'état. Dans ce cas, évacuer les bois de la surface à apprécier contribuerait davantage à la diversité des espèces que le fait de les laisser. → C-5.1.2, p. 105	Evacuer entièrement / évacuer partiellement les bois (p. ex. diviser la surface)

B-6 Société

B-6.1 Attractivité pour les loisirs, la découverte de la nature et l'éducation à l'environnement

But:
tenir compte des activités
de loisirs et de découverte
de la nature

Arguments relatifs aux loisirs, à la découverte de la nature et à l'éducation à l'environnement	Conclusion des arguments
a) La surface de chablis n'entre pas en ligne de compte pour des projets d'éducation à l'environnement (voir arguments d et e). Il n'est cependant pas difficile de faire comprendre la décision à la population, indépendamment du fait que la surface soit laissée telle quelle ou évacuée. b) Les résidants ou les visiteurs ne prêtent guère attention à la surface de chablis parce que celle-ci est difficile d'accès ou qu'elle se situe à l'extérieur de l'espace concerné par les loisirs de proximité. → C-6.1.3, p. 111	Critère non déterminant
c) Les chablis devraient probablement être façonnés pendant la saison touristique. La récolte des bois porterait ainsi temporairement atteinte à la qualité de la zone de loisirs → C-6.1.2b, p. 111: • trafic accru, • impact sonore provoqué par les tronçonneuses, l'hélicoptère, etc., • dégâts de débardage sur les chemins pédestres, • limitation considérable du réseau de chemins pédestres. d) La surface convient bien pour les activités didactiques destinées à faire découvrir les processus naturels, si possible non influencés, à la population. Elle est facile d'accès, se prête aux activités de sensibilisation à long terme (p. ex. projets d'éducation à l'environnement, éco-excursions, journées de découverte de la forêt) et dispose éventuellement d'aménagements destinés à l'observation (p. ex. sentiers didactiques). → C-6.1.4, p. 112; C-6.1.5, p. 113 e) La surface de chablis laissée telle quelle est intéressante pour les visiteurs ou les touristes en tant que surface de découverte ou d'observation, grâce au marketing et aux aménagements (sentiers d'accès, projets d'éducation à l'environnement, etc.) respectifs. → C-6.1.5, p. 113	Laisser les bois
f) La fonction récréative est prioritaire. Il faudrait préserver le plus possible l'aspect ordonné et la liberté de mouvement. La forêt est fréquemment pourvue d'un réseau de chemins dense, d'équipements de loisirs, d'installations sportives et récréatives telles que les zones couramment utilisées pour les courses d'orientation, les pistes de ski de fond, les chemins pédestres, les pistes de ski alpin, etc. Le fait d'évacuer les chablis permet de rétablir plus rapidement les genres d'utilisation ayant cours jusqu'ici. → C-6.1.2, p. 110 g) Les chablis laissés sur place constitueraient un danger pour les promeneurs et les visiteurs, même si les chemins sont dégagés, p. ex. dans les zones raides. → C-6.1.2, p. 110 h) Le fait de laisser la surface de chablis telle quelle serait difficile à justifier. Raisons: forêt productive avec bois de qualité, etc. → C-6.1.4, p. 112	Evacuer entièrement / évacuer partiellement les bois

B-7 Bilan des coûts

L'analyse des coûts permet de convertir en francs les coûts directs et l'utilité qui découlent de la décision d'évacuer ou de laisser sur place les chablis.

B-7.1 Produit probable de la vente des bois

Les prix du bois peuvent être estimés sur la base des recommandations de prix actuelles fournies par la commission du marché du bois et les associations de propriétaires forestiers, ou en fonction des offres concrètes d'acheteurs de bois.

Après le passage d'une tempête, il faut s'attendre à ce que le produit de la vente des bois soit inférieur (pertes) aux conditions normales pour différentes raisons. Le propriétaire forestier assume le risque lié à la vente s'il effectue lui-même les travaux de récolte des bois ou s'il engage un entrepreneur forestier pour cette tâche. Lorsque les chablis sont vendus sur pied, ce risque est pris en charge par l'entrepreneur forestier qui connaît en général mieux la situation du marché du bois et dispose aussi d'une logistique de distribution plus efficace.

Causes des pertes:

- **Bois brisés:** les troncs cassés se caractérisent par une proportion élevée de bois fort non commercialisable et par un déclassement des assortiments pour le bois de qualité. Après l'ouragan Wiebke, la proportion moyenne de bois brisés s'est élevée à près de 5% dans le Bade-Wurtemberg (BRANDL et BRANDT 1994).
- **Mesures de sécurité en terrain raide:** à partir d'une pente de 30° (58%), il faut souvent laisser – lors de la séparation de la souche par exemple – une précieuse bille de pied après la souche afin d'éviter que celle-ci ne dévale la pente (BROSI 1991).
- **Offre excédentaire** sur le marché du bois: lorsque le marché intérieur est saturé, une bonne part du surplus est écoulé à l'étranger. La perte provient en fait essentiellement des frais de transport qui viennent en général grever le produit de la vente.

B-7.2 Coûts de la récolte des bois

Peu après le passage d'une tempête, les entrepreneurs forestiers peuvent augmenter considérablement leurs prix en raison de la demande accrue. À long terme, il vaut la peine de prévoir des tarifs élevés et d'exiger, par contrat, une meilleure qualité des prestations fournies (p. ex. sécurité au travail accrue, ménagement du sol et du rajeunissement).

Aide à l'estimation des coûts de la récolte des bois:

- offres d'entrepreneurs forestiers
- recommandations tarifaires actuelles de l'ASEFOR, disponibles à l'adresse internet <http://www.vsfu.ch/f/info.asp>
- indices et valeurs empiriques se rapportant à l'entreprise
- montants forfaitaires cantonaux

- HeProMo, modèle informatique de calcul du prix des travaux de récolte des bois, voir www.waldwissen.net, mot-clé «HeProMo» (FRUTIG et ERNI 2001)
- programme de calcul du prix de revient pour le débardage des bois à l'aide du porteur (forwarder), du câble-grue mobile et conventionnel (BACHOFEN *et al.* 2000)
- description de méthodes de récolte des chablis avec leur productivité respective (voir Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête).

B-7.2.1 Séparation de la souche / démêlage / éventuellement façonnage / débusquage

Tous les travaux dans la surface et le débusquage jusqu'au layon. Selon la méthode, les bois sont déjà façonnés sur place, c'est-à-dire ébranchés et sciés en longueur.

B-7.2.2 Débardage/ éventuellement façonnage

Débardage jusqu'à la pile de bois ou jusqu'au lieu de façonnage. Selon la méthode, les arbres sont façonnés de manière centralisée après la vidange, c'est-à-dire ébranchés, sciés en longueur et éventuellement écorcés.

B-7.2.3 Frais de transport

Transport de la route forestière au lieu de prise en charge. Les frais de transport ne concernent pas les contrats de vente franco route forestière.

Valeurs empiriques tirées de la remise en état des forêts suite aux dégâts causés par l'ouragan «Lothar»:

15 à 18 francs/m³	jusqu'à 100 km (sans les 2 à 3 francs pour la RPLP ¹¹)
jusqu'à 50 francs/t	100 à 300 km
65 à 70 francs/t	env. 500 km
90 à 110 francs/t	env. 1000 km (BÄRTSCHI <i>et al.</i> 2003; HOFER <i>et al.</i> 2003)

B-7.2.4 Entreposage des bois

a) Dépôt à port de camion (route forestière)

Les frais d'entreposage à port de camion font partie des coûts financés au préalable pour la récolte des bois (BÄRTSCHI *et al.* 2003).

¹¹ La redevance sur le trafic des poids lourds liée aux prestations (RPLP) a été introduite le 1^{er} janvier 2001.

Valeurs empiriques tirées de la remise en état des forêts suite aux dégâts causés par l'ouragan «Lothar»:

1 à 5 francs/m³	Ne sont pas pris en compte l'éventuelle aspersion des grumes ainsi que les pertes de rendement dues à la dépréciation des bois (BÄRTSCHI <i>et al.</i> 2003).
-----------------------------------	---

b) Dépôt à l'état humide

L'entreposage à l'état humide est une façon relativement sûre de conserver la qualité des bois (ARNOLD 2003). Les résineux peuvent être entreposés jusqu'à cinq ans environ sans perdre de leur valeur. Après deux étés, on constate cependant un risque accru d'attaque par l'armillaire couleur de miel (pourridié), principalement sur les places de dépôt sises au-dessous de 1000 m d'altitude. Pour des raisons économiques, l'entreposage à l'état humide s'avère utile pour les bois de bonne qualité, s'il est possible de les vendre un à trois ans plus tard à un prix stable dans la région, sans occasionner de frais de transport élevés (OFEFP 2004).

Selon les expériences de l'OFEV, les coûts d'entreposage varient considérablement en fonction de l'installation. En effet, ils sont fortement influencés par les conditions générales des lieux et par la dépense découlant de l'entretien courant.

Valeurs empiriques de l'OFEV tirées de la remise en état des forêts suite aux dégâts causés par l'ouragan «Lothar»:

5 à 50 francs/m³	Après «Lothar», la Confédération a subventionné les grands dépôts à l'état humide de plus de 1000 m ³ à raison d'un montant maximal de 25 francs/m ³ .
------------------------------------	--

c) Dépôt sous bâches en plastique

D'un volume de 150 à 250 m³, ce type de dépôt convient aux petites quantités dont la durée d'entreposage n'excède pas une année (BÄRTSCHI *et al.* 2003). Le processus d'emballage requiert une formation particulière et de l'expérience. Une utilisation scrupuleuse permet d'obtenir de très bons résultats. Il s'agit sans doute de la meilleure méthode de conservation pour les grumes de hêtres de qualité (ODENTHAL-KAHABKA et PÜTTMANN 2004).

Valeurs empiriques tirées de la remise en état des forêts suite aux dégâts causés par l'ouragan «Lothar»:

12 à 16 francs/m³	Pour des volumes de 150 à 250 m ³ . Coûts du matériel: 5 à 10 francs/m ³ . Les bois entreposés présentent fréquemment des traces d'échauffure sur la tranche et latéralement. En moyenne, il faut retrancher près de 60 cm du gros et du fin bout (ARNOLD 2003; BÄRTSCHI <i>et al.</i> 2003).
-------------------------------------	---

B-7.3 Coûts supplémentaires pour garantir la sécurité au travail

Des solutions techniques adaptées (méthodes et instruments de travail, personnel qualifié et expérimenté, mesures de sécurité supplémentaires) permettent aujourd'hui de façonner plus de 95% des chablis dans une relative sécurité. Dans certains cas, il faut cependant renoncer à évacuer entièrement ou partiellement les surfaces pour des raisons de coûts ou à la suite de réflexions sur les coûts et l'utilité de telles opérations.

Afin de rendre la décision claire et compréhensible, les coûts supplémentaires nécessaires pour garantir la sécurité pendant les travaux de récolte des bois sont également estimés – à côté de l'appréciation qualitative – dans l'analyse des coûts de la liste de contrôle. En font par exemple partie les cours particuliers, l'équipement supplémentaire ou, selon les circonstances, la décision d'attribuer les travaux à un entrepreneur forestier expérimenté.

Le chapitre C-3 «sécurité au travail» fournit des compléments d'information à ce sujet.

B-7.4 Desserte (construction, extension, réparations)

D'importants dégâts de tempête entraînent en général aussi des dommages élevés au réseau de desserte. L'usure des routes forestières ne doit pas être sous-estimée dans les coûts de la récolte des bois. Il convient donc de prévoir un entretien continu des chemins pendant le façonnage des chablis. Ce point devrait faire partie du contrat, notamment en cas de recours à des entrepreneurs externes.

Afin de maîtriser les coûts totaux des mesures de récolte des bois, il peut valoir la peine de débarder les chablis vers le bas avec un léger surcoût plutôt que vers le haut. Cette manière de procéder permet en effet de ménager le réseau de desserte (FVA FREIBURG 2000).

L'éventail des coûts par mètre cube de chablis exploités est grand pour la remise en état des surfaces dévastées. Il est déterminé principalement par les facteurs suivants:

Sous-sol	Lorsque le sous-sol se révèle instable, il faut prêter une attention particulière à la sensibilité du réseau de desserte.
Etat des routes	L'évacuation des chablis a souvent des conséquences catastrophiques sur l'usure des routes forestières dont l'entretien a été négligé. La réparation rapide des emplacements endommagés permet d'éviter d'importants coûts supplémentaires. Les chemins carrossables ne sont en général pas construits pour résister à une sollicitation aussi élevée, causée par les multiples trajets de transport. C'est pourquoi il est nécessaire de prévoir un entretien continu de la desserte (FVA FREIBURG 2000).
Revêtement	Route à revêtement naturel ou asphalté.
Moment de la récolte des bois	La circulation sur les routes forestières est en général particulièrement problématique au printemps.

Conditions météorologiques	Lors de la récolte des chablis, les routes forestières et rurales sont fréquemment utilisées sans tenir compte des mauvaises conditions météorologiques. Cette négligence peut avoir de graves conséquences sur leur état. Les contraintes contractuelles et logistiques sont plus fortes – notamment dans la planification à court terme – que la résolution de renoncer aux transports par temps de pluie.
Chargement du véhicule et nombre de trajets	Les petits chargements augmentent certes le nombre de trajets et, par conséquent, les frais de transport, mais ils permettent parfois de réduire les coûts relatifs à l'assainissement des routes.
Comportement du chauffeur	Le comportement du chauffeur (style de conduite, limite de poids, etc.) peut contribuer dans une large mesure à ménager les routes forestières et rurales.

Valeurs empiriques tirées de la remise en état des forêts suite aux dégâts causés par l'ouragan «Lothar»:

4 à 5 francs/m³ ou 26 francs/m'	Canton de Fribourg – coûts moyens pour la réparation des routes (≠ entretien) (SERVICE DES FORÊTS ET DE LA FAUNE FRIBOURG 2001).
au moins 5,50 francs/m³	Canton de Zurich – estimation prudente des coûts de réparation (U. Strauss, communication écrite).
8,20 francs/m³	Canton d'Obwald – moyenne se rapportant à 2,3 millions de francs de frais de réparation pour un volume total de 280 000 m ³ de chablis (AMT FÜR WALD UND LANDSCHAFT OBWALDEN 2004).

B-7.5 Mesures d'appoint

Les mesures d'appoint doivent permettre d'éviter ou d'atténuer les effets négatifs découlant de la décision d'évacuer, de laisser ou d'évacuer partiellement les chablis. En voici quelques exemples:

- mesures de protection du sol, notamment contre la compaction,
- écorçage, à des fins phytosanitaires, des troncs laissés sur place,
- stabilisation des souches et des troncs afin d'éviter des chutes de bois,
- mesures de protection contre les dangers naturels, p. ex. ouvrages paravalanches, protection contre les chutes de pierres, fractionnement des troncs situés dans la zone d'influence du lit d'un cours d'eau,
- mesures préventives contre les incendies, p. ex. bande de sécurité exempte de bois le long des chemins et des routes très fréquentés,
- relations publiques, travail d'information et de persuasion vis-à-vis des autorités et de la population.

Dans le cas présent, on ne tient pas compte des coûts engendrés par les mesures de reforestation (p. ex. plantation, protection contre l'abroutissement).

B-7.6 Contributions de tiers

Subventions et indemnités pour les mesures concernant la surface, par exemple:

- récolte des chablis,
- mesures d'appoint (voir B-7.5),
- renonciation à l'exploitation des bois ou
- création et extension de réserves forestières.

Dans le cas présent, on ne tient pas compte des subventions pour les mesures de reforestation (p. ex. plantation, protection contre l'abroustissement) ou des mesures phytosanitaires dans les peuplements avoisinants.

B-7.7 Coûts supplémentaires non pris en compte

L'analyse des coûts de l'«Aide à la décision en cas de dégâts de tempête en forêt» se limite aux coûts et gains relatifs à la récolte des chablis. Elle ne tient par exemple pas compte des coûts concernant:

- la reforestation (nettoisement du parterre de coupe, plantation, protection contre l'abroustissement, soins cultureux),
- les interventions sylvicoles dès le stade du fourré,
- la lutte contre les bostryches.

Il faut – si possible – tenir compte qualitativement de ces aspects dans l'analyse de la rentabilité des coûts.

C Bases relatives aux arguments

C-1 Dangers naturels

Ces bases traitent des catastrophes naturelles qui peuvent survenir après des chablis affectant de grandes surfaces. Il s'agit en général des processus suivants: avalanches, chutes de pierres et de bois, érosion, glissements de terrain, coulées de boue, embâcles et laves torrentielles. Lorsque de telles catastrophes naturelles ont une grande probabilité de se produire ou d'être très intenses, le fait d'intervenir ou non dans les surfaces de chablis doit contribuer à la réduction des risques, sans que cela ne crée de nouvelles sources de dangers, qui pourraient être pires encore (p. ex. déstabilisation des structures du sol et de la roche par la construction de dessertes).

Lutte contre les dangers naturels selon les principes de la «gestion des risques»

L'évaluation de l'effet protecteur des bois laissés sur place ne doit pas se faire dans l'optique d'atteindre un niveau de sécurité absolue. L'élément décisif n'est pas seulement de savoir ce qui peut se passer, mais de connaître aussi ce qui est admissible. Il faut toujours prévoir un risque résiduel, même après la construction d'ouvrages coûteux. La «loi de Pareto» est applicable dans ce cas également. Elle stipule que 20% des dépenses utilisées à bon escient rapportent 80% du profit possible (SEIWERT 1984). Elle fait appel à une «gestion des risques» qui cherche à optimiser les coûts et la réduction des risques (KIENHOLZ 1994). La proportion que ce risque peut prendre dans une situation précise et la définition des mesures à mettre en œuvre relèvent aussi de l'éthique sociale – par exemple envers les générations futures – et de la tolérance écologique (WILHELM 1999).

Il est impératif de prendre en considération les dangers exposés ci-après, en particulier quand une menace sérieuse existe pour la population et les biens des catégories A et B (voir tableau 2, p. 38).

L'évaluation des dangers naturels repose sur les questions fondamentales suivantes:

- a) Existe-t-il des **dégâts potentiels**¹²? – Quels sont les objets risquant d'être endommagés par d'éventuelles catastrophes naturelles et quelle est leur importance? L'importance que représentent les dégâts potentiels pour la collectivité est déterminée à l'aide des catégories A, B et C, décrites dans le tableau 2 (p. 38).
- b) Existe-t-il des **dangers potentiels**¹³? – Des catastrophes naturelles pourraient-elles survenir dans la surface de chablis en raison de la déclivité du terrain, des conditions du sol, etc.?
- c) Les mesures visant à diminuer les dangers sont-elles raisonnables ou la réduction des risques est-elle plus efficace au niveau des dégâts potentiels?

¹² Définition des dégâts potentiels: ensemble des objets potentiellement menacés dans le temps et l'espace par des phénomènes naturels (HEINIMANN *et al.* 1998).

¹³ Définition des dangers potentiels: somme des facteurs qui constituent une menace et entraînent des dommages dans une région donnée (LATELTIN 1997).

Tableau 2: Classification des dégâts potentiels selon la circulaire n° 8 (D+F 1996).

Catégorie	Population	Biens	
		Importance de l'objet	Importance en cas d'urgence
A	• occupation continue, pas d'autre choix possible (lieu d'habitation et de travail)	• infrastructures générant des dégâts secondaires (usines électriques, routes nationales, routes ouvertes toute l'année, lignes ferroviaires à horaire fixe) • infrastructures vitales (hôpitaux) • objets dont la protection est importante pour la communauté (bâtiments publics, entreprises industrielles et artisanales)	<i>grande:</i> • conduites d'approvisionnement importantes (eau, électricité) • hôpitaux (accès compris) • infrastructures de transport pour des mesures d'évacuation
B	• occupation temporaire, peu influençable (axes de communication)	• bâtiments utilisés continuellement par des particuliers (maisons individuelles occupées toute l'année, routes d'accès) • infrastructures agricoles importantes	<i>présente:</i> • axes de communication pour la desserte permanente et à long terme • infrastructures publiques
C	• occupation volontaire	• infrastructures utilisées occasionnellement (maisons de vacances) • installations sportives et touristiques	<i>non déterminant</i>

➡ La classification et la définition des catégories de dégâts potentiels subiront probablement, dans le cadre du projet «SilvaProtect» de l'OFEV, certaines modifications qui n'étaient pas encore connues au moment de l'élaboration de l'«Aide à la décision en cas de dégâts de tempête en forêt».

C-1.1 Eviter le déclenchement d'avalanches

C-1.1.1 Définitions

- **Avalanche:** couche de neige en mouvement rapide. Présence d'avalanches: décrochement le long de pentes de plus de 30° (58%), quelle que soit l'exposition.
- **Avalanche de plaque de neige:** avalanche déclenchée par le décrochement d'une plaque entière de neige posée sur une couche très instable. Caractérisée par la ligne de déclenchement perpendiculaire à la pente et surplombant la zone de glissement. Déclenchement par une fissure initiale, accélération rapide.
- **Avalanche de neige meuble:** avalanche partant d'un point identifiable (effet boule de neige). Les forces ne sont pas transmises au manteau neigeux. Accélération lente.
- **Avalanche de neige poudreuse:** avalanche constituée de neige fine, sèche ou légèrement humide, qui forme en cas de chute rapide un aérosol constitué de neige et d'air et développe de gros nuages de particules neigeuses.

(définitions tirées de FREHNER *et al.* 2005)

C-1.1.2 Dégâts potentiels

Les cartes synoptiques des dangers fournissent en général aussi des renseignements sur les dégâts potentiels. L'étendue des avalanches peut être estimée sur la base de modélisations ou de la pente globale.

Un objet est menacé s'il se situe, en ce qui concerne la ligne de déclenchement, dans une pente globale de 22° (40%) (voir figure 3). Cette valeur est une approximation qui a fait ses preuves pour les petites avalanches, c'est-à-dire pour un ordre de grandeur allant jusqu'à 10 000 m³ environ. Des calculs de dynamique permettent de déterminer l'étendue des avalanches de plus grande envergure (SALM *et al.* 1990). Les grandes avalanches se caractérisent par des zones de déclenchement profondes et larges. Les surfaces de chablis sont, à cet égard, en général trop petites et trop fortement structurées.

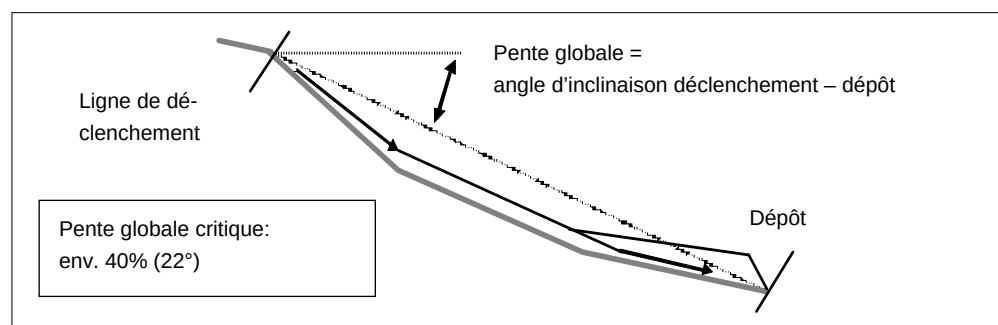


Figure 3: Définition de la pente globale; figure de TEUFEN (1993), légèrement modifiée.

C-1.1.3 Dangers potentiels

En terme de surface, la forêt fournit aujourd'hui la principale contribution en matière de protection contre les avalanches en Suisse (MARGRETH 2004). Son effet protecteur se limite en général à prévenir le déclenchement d'avalanches. Il est rare que la forêt parvienne à stopper une avalanche qui a décroché bien au-dessus d'elle. Les considérations suivantes se rapportent en premier lieu au danger d'avalanches de plaques de neige se déclenchant en forêt, étant donné qu'il ne survient guère d'avalanches de neige poudreuse en milieu boisé et que les avalanches de neige meuble mouillée ont une vitesse et une étendue réduites.

L'altitude, la pente et la couche de neige possible ont une influence déterminante sur le danger potentiel de déclenchement d'avalanches dans une surface de chablis.

a) *Altitude*

Il y a un réel danger d'avalanches de plaques de neige lorsqu'il tombe, à basses températures, des quantités considérables de nouvelle neige (ou accumulations de neige soufflée) dans un laps de temps de trois jours environ. Ces situations sont plutôt rares au-dessous de 1000 à 1200 m. Le risque d'avalanches augmente en général avec l'altitude. Il est fréquent que des glissements de neige mouillée surviennent aussi à des altitudes comprises entre 800 et 1200 m, voire même à partir de 600 m dans certaines régions. Les avalanches de plaques de neige sèche s'avèrent par contre rares à ces altitudes.

b) *Pente*

Les avalanches se déclenchent presque exclusivement lorsque la pente oscille entre 30 et 50° (58 et 119%). Des ouvrages sont en général construits dans ces conditions de déclivité (OFEFP et ENA 1990). Au-dessous de 1200 m, il faut normalement s'attendre à des couches de neige plus fines et à des conditions plus favorables. C'est pourquoi la pente critique inférieure a été fixée à 35° (70%).

c) *Dimension des trouées en forêt*

Une surface de chablis *évacuée* représente un danger accru de déclenchement d'avalanches lorsque la trouée dépasse une dimension critique (voir tableau 3 et figure 4).

Lorsqu'une avalanche démarre d'une trouée mesurant plus de 150 m de longueur, elle est susceptible de détruire la forêt située au-dessous (MARGRETH 2004).

Tableau 3: Dimensions critiques des trouées dans les forêts de protection contre les avalanches (valeurs approximatives selon FREHNER *et al.* 2005).

Longueur critique des trouées: (dans la ligne de plus grande pente)	> 50 m (pour une pente de 35° (70%)) > 30 m (pour une pente de 45° (100%))
Largeur critique des trouées: (perpendiculairement à la ligne de plus grande pente)	> 15 m (dans les forêts à feuillage persistant) > 5 m (dans les forêts à feuillage caduc)
Degré de recouvrement critique:	< 50% (unité considérée: au moins 1 ha; la surface concerne le peuplement voisin, y compris les trouées)

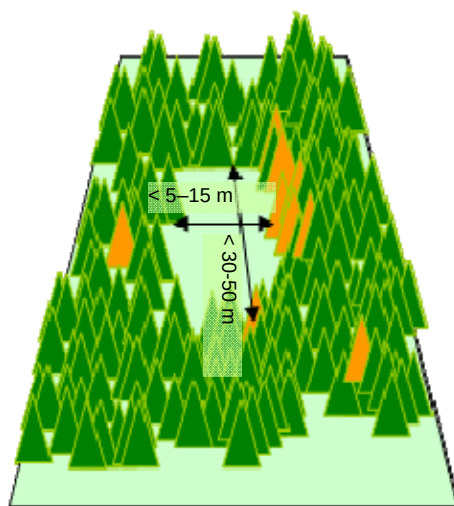


Figure 4: Dimension des trouées à partir de laquelle il faut s'attendre au déclenchement d'avalanches lorsque la surface est non boisée ou que les chablis ont été évacués.

L'appréciation du danger de déclenchement d'avalanches dans une surface de chablis implique également l'observation de l'évolution à long terme de la «dimension des trouées en forêt», notamment lorsqu'il faut craindre une attaque de bostryches en raison du mélange des essences et de l'état des peuplements voisins.

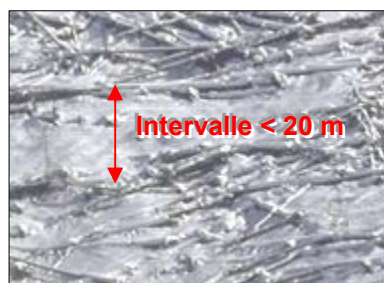


Figure 5: Intervalle maximal entre les éléments servant d'ouvrages paravalanches en raison de leur hauteur d'action (surface laissée telle quelle à Disentis lors des avalanches de l'hiver 1998–1999).

Un grand secteur sans chablis d'une surface non évacuée peut aussi être considéré comme trouée. Selon les «Directives pour la construction d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement» (OFEFP et ENA 1990), il faut respecter un intervalle inférieur à vingt mètres entre les troncs constituant la hauteur d'action (voir figure 5). Ces troncs à effet protecteur particulier doivent cependant encore être consolidés par des bois intercalaires. En effet, un tronc reposant isolément n'atteint jamais la hauteur d'action d'un ouvrage temporaire. Par conséquent, il ne doit pas y avoir de grands espaces entre les troncs. La présence de chaque tige à terre contribue à prévenir le glissement de la neige et à contrer la formation d'une importante charge de neige.

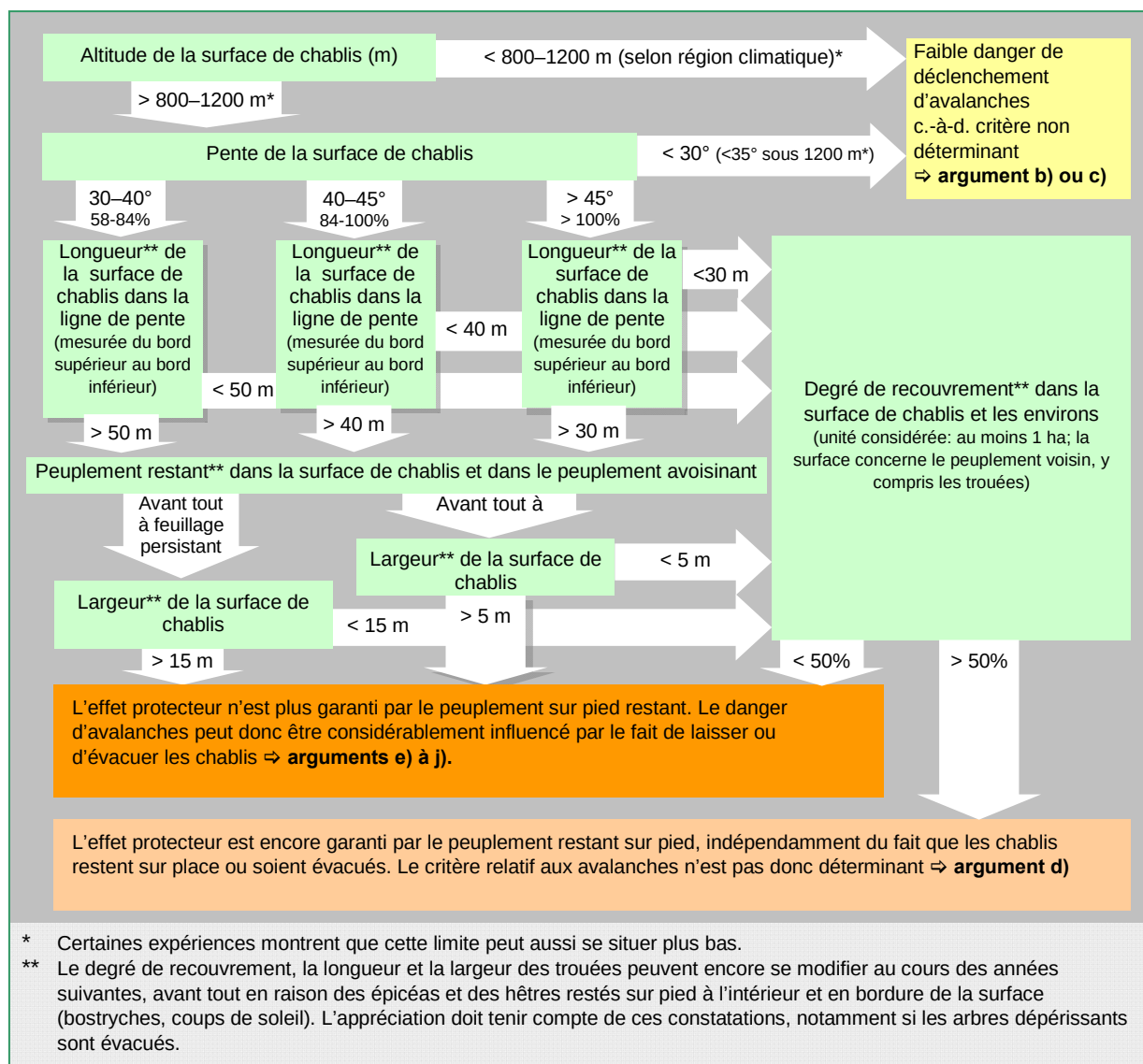


Figure 6: Schéma de décision pour l'évaluation des dangers potentiels de déclenchement d'avalanches (base: FREHNER *et al.* 2005). Les arguments a à l sont mentionnés au chapitre B-1.1, p. 18.

C-1.1.4 Estimation de l'épaisseur extrême de neige et de la période de retour

L'épaisseur extrême de neige et sa période de retour (ou temps de retour), dont il faut tenir compte, dépendent des délais permettant à la jeune forêt d'assumer sa fonction protectrice. Si ce laps de temps s'élève à trente ans environ, il suffit de prévoir une épaisseur de neige sur trente ans (B. Salm, communication orale):

$$\text{épaisseur extrême de neige sur 30 ans} = 0,83 \times \text{épaisseur extrême de neige sur 100 ans}$$

L'épaisseur extrême de la neige sur cent ans peut être déterminée à l'aide de la carte des hauteurs de neige des «Directives pour la construction d'ouvrages paravalanches dans la

zone de décrochement» (OFEFP et ENA 1990) et de la formule de calcul qui s’y rapporte. Cette valeur approximative, corrigée par les expériences faites dans la région, correspond suffisamment bien aux conditions locales.

L’épaisseur extrême de la neige peut s’avérer fort importante, en particulier dans les zones très enneigées, situées vers la limite supérieure de la forêt. On calcule ainsi une valeur de près de 4,5 mètres pour une épaisseur moyenne d’une période de retour de trente ans à Oberiberg (1800 m), en Suisse centrale.

Altitude	Les facteurs suivants déterminent la durée nécessaire à la jeune forêt pour assumer pleinement la fonction protectrice: À l’étage haut-montagnard et subalpin, il peut s’écouler, en fonction de la concurrence de la végétation et de l’importance de l’abroustissement, 30 à 80 ans, voire plus, jusqu’au moment où la jeune forêt, régénérée par voie naturelle, puisse assumer la fonction protectrice (OTT <i>et al.</i> 1997 p. 33; KUPFERSCHMID <i>et al.</i> 2004).
Rajeunissement préétabli	Dans la mesure où il y a peu de rajeunissement préétabli, la régénération naturelle des surfaces de chablis laissées telles quelles est en général plus lente que dans les surfaces évacuées et s’implante localement de manière plutôt échelonnée (voir C-4.2.4, p. 87). Il est fréquent que l’on atteigne le niveau de régénération naturelle souhaité qu’avec le rajeunissement sur le bois en décomposition, c’est-à-dire après 15 à 30 ans environ (voir C-4.2.7, p. 93 et C-4.2.7b, p. 94).
Semenciers	En règle générale, la régénération naturelle par surface entière dure très longtemps dans les grandes zones de chablis, où les semenciers sont très éloignés (voir C-4.2.4b, p. 88) et où le rajeunissement préétabli se fait rare.
Mesures de reforestation	En favorisant judicieusement la reforestation – par exemple en tenant compte du rajeunissement préétabli, en plantant, etc. – il est possible de réduire considérablement la durée nécessaire pour l’implantation d’une jeune forêt offrant une protection efficace dans la plupart des surfaces (même celles laissées en l’état) (voir C-4.2.5, p. 90).

C-1.1.5 Effet protecteur des surfaces de chablis dans la zone de déclenchement

a) Surfaces de chablis évacuées

La rugosité du sol reste élevée, même après l’évacuation des chablis	La rugosité du sol, très élevée si les bois sont laissés sur place, est considérablement réduite par la vidange et notamment par le nettoyage complet du parterre de coupe suivant la récolte des bois. En règle générale, la rugosité du sol reste suffisamment élevée, même après le nettoyage, pour prévenir largement le glissement de la neige et les avalanches de fond (NOACK <i>et al.</i> 2004; FREHNER <i>et al.</i> 2005). Les expériences faites avec les avalanches de 1998/1999 ont confirmé cette constatation. Même lorsque l’épaisseur de la neige atteint 1,5 à 2 mètres, les restes de souches, de racines et de débris de troncs étaient encore parfaitement visibles, également dans les surfaces de chablis évacuées en 1990. Ils ont de ce fait empêché la formation d’une couche de neige uniforme sur de grandes surfaces. Fin février 1999, on a toutefois enregistré le déclenchement de quelques avalanches importantes dans
---	--

les surfaces de chablis raides et évacuées avec un soin particulier. La route cantonale a été ensevelie sous une avalanche de ce type entre Pfäfers et Vättis.

L'effet protecteur est considérablement réduit par l'évacuation des chablis

Les souches et les tas de bois ne suffisent pas à empêcher à eux seuls le déclenchement d'avalanches sur les versants raides de l'étage montagnard et subalpin. Au cours d'une durée d'observation de dix ans, plusieurs avalanches, parfois de grande envergure, sont par exemple parties depuis les placettes d'essai «Vivian» de Disentis et Pfäfers, évacuées et sises sur une pente dépassant 35° (70%) (FREY et THEE 2002; SCHWITTER 2002). En début d'année 1999, on a mesuré une épaisseur maximale de neige de deux mètres environ sur la placette de Pfäfers, ce qui correspond à un événement d'une période de retour de vingt ans. La route cantonale située en contrebas a été ensevelie par une avalanche forestière de ce type.

Au-dessous de la limite supérieure de la forêt, la structure de la couverture neigeuse était relativement stable, malgré les quantités de neige inhabituelles qui sont tombées en février 1999. Si les conditions d'enneigement avaient été défavorables comme en 1951, il aurait fallu craindre le décrochement d'avalanches nettement plus fréquentes dans les zones potentielles de déclenchement qui ont été évacuées (W. Frey, communication écrite).

b) Surfaces de chablis laissées telles quelles

La rugosité du sol est très élevée dans les surfaces de chablis laissées telles quelles

Dans les surfaces non évacuées, la couverture neigeuse est en règle générale souvent interrompue et subdivisée par les chablis, les disques racinaires et les souches (NOACK *et al.* 2004). Ces lieux ne permettent par conséquent pas la formation de couches de neige continues et uniformes à grande échelle. Même si la couverture neigeuse recouvre entièrement les chablis, les ruptures et les fissures des couches inférieures parviennent souvent jusqu'à la surface (FREY et THEE 2002).

L'importante hauteur d'action des chablis exerce un effet protecteur élevé au cours des premières années

Durant les premières années consécutives à une tempête, la hauteur d'action (voir figure 7) des arbres renversés peut localement atteindre deux à trois mètres, voire plus. Cette hauteur, initialement élevée, empêche pratiquement le déclenchement d'avalanches dans la surface de chablis. L'entrelacement des bois dans les couches de neige prévient des avalanches jusqu'à une pente de 45° (100%). Si un éventuel glissement se produit, il se situe toujours au-dessus de la hauteur d'action des troncs (voir C-1.1.4b). Si les bois laissés à terre sont complètement recouverts de neige, il est possible que les couches supérieures décrochent et provoquent une avalanche de surface lorsque la pente excède 30° (58%) (tableau 4). La liaison entre les bois et la neige peut toutefois aussi constituer un point faible.

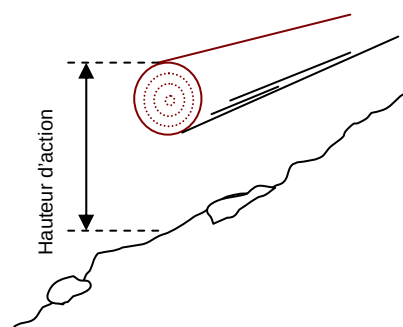


Figure 7: Dans cet ouvrage, la hauteur d'action est définie comme la hauteur verticale de la partie supérieure d'un tronc par rapport au sol. Il s'agit de la zone dans laquelle les bois à terre exercent un effet stabilisateur. Cette définition implique une bonne répartition de la hauteur d'action admise dans les parties raides dépassant 30° (58%) et l'absence de trouées importantes.

L'effet protecteur des bois laissés à terre est triple:

- il augmente considérablement la rugosité du sol,
- il prévient la formation d'une couche de neige uniforme et
- il consolide la couverture neigeuse.

L'efficacité de la protection exercée par les chablis laissés à terre est particulièrement grande lorsque:

- la hauteur d'action est élevée (elle diminue avec le temps),
- le diamètre des troncs est important,
- les troncs reposent en biais par rapport à la ligne de plus grande pente et
- les arbres renversés sont bien ancrés dans le sol grâce au contact racinaire.

Il importe d'étudier soigneusement le cas des endroits où il faut craindre de surcroît une importante accumulation de neige soufflée, par exemple dans les trouées en forêt ou à l'abri des arêtes (FREY et THEE 2002).

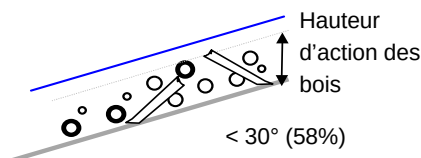
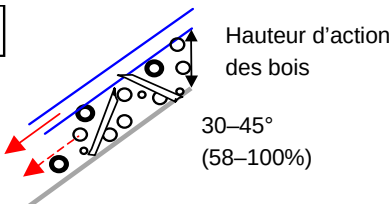
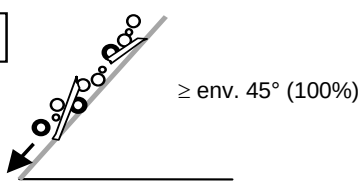
Les chablis laissés sur place n'offrent pas une protection absolue!

Malgré la protection très efficace offerte par les surfaces de chablis laissées telles quelles, une évaluation soignée de la situation s'avère indispensable. Les données quantitatives généralement admises en ce qui concerne la hauteur d'action des bois laissés sur place, la position des troncs, etc., sont problématiques car le degré de dispersion est trop grand et dépend très fortement des conditions locales. C'est pourquoi l'évaluation de l'effet préventif des bois à terre vis-à-vis des avalanches doit, dans une application pratique, être complétée par des observations et des expériences concrètes des lieux.

Lorsque la pente des surfaces de chablis excède 45° (100%) environ, les couches de neige entremêlées de bois peuvent se mettre en mouvement. Les bois charriés sont alors susceptibles d'accroître considérablement l'effet dévastateur des avalanches et causer, le cas échéant, des embâcles dans le lit de cours d'eau (MARGRETH 2004).

Lorsque des routes ou des zones habitées sont protégées contre les avalanches à l'aide des chablis laissés sur place, il est important, en raison du risque résiduel inconnu, de fermer ou d'évacuer ces infrastructures durant les phases critiques (SCHWITTER 2002). Si les exigences quant à la protection contre le déclenchement d'avalanches sont très élevées en raison des dangers et des dégâts potentiels importants, l'effet des bois à terre doit, selon le cas, être renforcé localement par des ouvrages (NOACK *et al.* 2004).

Tableau 4: Stabilité de la couverture neigeuse par rapport à la pente du terrain et à la hauteur d'action des bois laissés sur place.

Situation	Description
1 	Lorsque la pente est inférieure ou égale à 30° (58%), il ne faut pas craindre le déclenchement d'avalanches, même si l'épaisseur de neige dépasse la hauteur d'action de plus de 50 cm (au-dessous de 1200 m, on peut normalement admettre une pente critique de 35° (70%)).
2 	Lorsque la pente excède 30° (58%), il faut craindre le déclenchement d'avalanches si l'épaisseur de nouvelle neige dépasse la hauteur d'action de plus de 50 cm. La couche de glissement se situe cependant au-dessus de la hauteur d'action. Des recherches menées par FREY et THEE (2002) sur des pentes de 40° (85%) ont montré que des troncs reposant à terre dix ans après la tempête sont encore capables de soutenir la charge exercée par une épaisseur maximale de neige d'une période de retour de trente ans.
3 	Lorsque la pente est encore plus raide, la couche de bois, elle-même, devient si instable qu'elle peut glisser, même sans la charge supplémentaire exercée par la neige. Dès 50° (120%) environ, il ne faut craindre que de petites avalanches en raison de la purge fréquente des versants.

La hauteur d'action diminue au fil du temps

En ce qui concerne le danger d'avalanches, il n'y a en général pas de raison d'agir rapidement car l'effet protecteur, initialement très efficace, ne diminue pas considérablement au cours des premières années.

La décomposition du bois se poursuit très différemment en fonction de l'ensoleillement, du contact avec le sol, des précipitations, etc. (ALBRECHT 1991). Par endroits, les chablis n'avaient pas encore perdu beaucoup de leur résistance, dix ans après «Vivian», alors qu'ailleurs – souvent sur la même tige – la décomposition était déjà étonnamment avancée. Le processus de tassement et de décomposition peut durer nettement plus longtemps (plusieurs décennies) à l'étage subalpin, sur les stations fortement ensoleillées ou lorsque le diamètre des arbres est important. Il en va de même pour les troncs hauts perchés, sans contact avec le sol.

Dans le cas de la placette d'essai de Disentis, laissée telle quelle, la hauteur d'action, initialement élevée, a passé de plus de 150 cm à près de 110 cm lors de la première décennie. Les phénomènes de tassement se sont produits principalement durant les hivers très enneigés de 1991/1992, 1994/1995 et 1998/1999. Même après dix ans, la hauteur d'action était encore suffisante pour empêcher le déclenchement de coulées de neige lors du fameux hiver 1998/1999, particulièrement riche en avalanches (FREY et THEE 2002). Comme le montre la figure 8, les épicéas laissés à terre étaient encore bien visibles ou dépassaient les couches de neige pouvant excéder 150 cm. À la différence des surfaces voisines évacuées, on n'a constaté pratiquement aucune avalanche au cours de cet hiver-là, excepté de petites avalanches de plaques de neige qui se déclenchent lorsque la pente atteint 45° (100%) et qui sont rapidement immobilisées par les bois à terre.

Figure 8: Placette d'essai du WSL dans la région de Disentis (1400–1500 m), le 25 février 1999 (neuf ans après Vivian), recouverte d'une épaisseur de neige de 150 cm. En moyenne, les troncs de la partie laissée telle quelle (milieu de l'image) accusaient une hauteur d'action de près de 120 cm (photo: W. Frey, WSL).



Jusqu'à présent, il n'a pas été possible d'observer des situations lors desquelles la couverture neigeuse aurait glissé avec les bois à terre. Apparemment, ce danger semble être plutôt faible. Un scénario de ce type est imaginable à partir d'une pente d'environ 45° (100%) (voir tableau 4). Des recherches de FREY et THEE (2002) ont montré que les chablis à terre sont capables de soutenir parfaitement la pression exercée par une épaisseur extrême de neige ($H_{\text{ext}} = 2,4 \text{ m}$) d'une période de retour de trente ans, même pour une pente de 85% (40°). Cette expérience a été menée neuf ans après la tempête, sur le Bläserberg, à Pfäfers (SG).

Un jeune peuplement d'épicéas doit avoir atteint au moins le double de l'épaisseur extrême de neige pour garantir une protection efficace contre le déclenchement d'avalanches. D'ici là, il peut sans autre s'écouler trente ans et plus dans les pessières de montagne, lorsque le taux d'abroustissement est élevé (KUPFERSCHMID *et al.* 2004). Une couche de troncs efficace contre le déclenchement d'avalanches peut vraisemblablement aussi durer à peu près ce nombre d'années (FREY et THEE 2002). Au cours de la période durant laquelle l'effet protecteur des chablis à terre diminue constamment, il faut favoriser la reforestation de sorte que la diminution de l'effet des bois laissés soit progressivement compensée par la fonction de la jeune forêt (voir figure 9). Si l'on choisit de laisser telle quelle une surface de chablis caractérisée par un manque de rajeunissement préétabli et un développement dynamique des hautes herbes et des framboisiers, la décision prise nécessite de planter, aussi rapidement que possible après une tempête, un nombre suffisant de jeunes arbres (env. 4000 tiges/ha) entre les troncs à terre (SCHWITTER 2002).

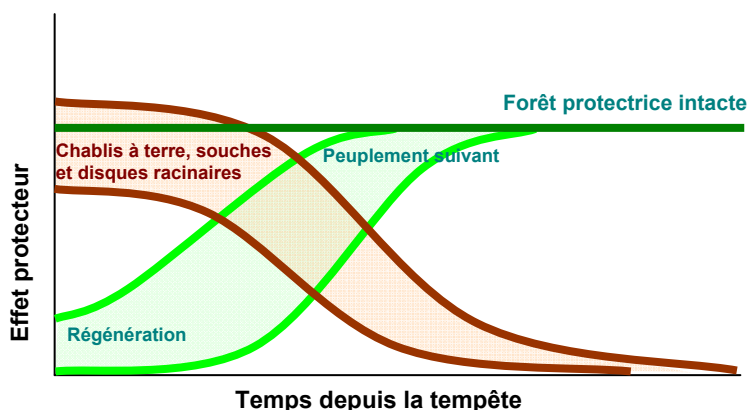


Figure 9: Modèle de réflexion sur l'évolution de l'effet protecteur dans une surface de chablis. Selon l'intensité d'évacuation, les quantités, les dimensions et le degré de décomposition, la protection assumée par les chablis restants fluctue entre la marge supérieure et inférieure de la bande du graphique. Le nouveau peuplement assume progressivement la fonction protectrice. La vitesse de reprise dépend du rajeunissement préétabli ainsi que des conditions d'ensemencement et de croissance après la tempête. Lorsque le rajeunissement fait défaut, la plantation de jeunes arbres permet d'accélérer sensiblement le développement de la forêt protectrice. Les chablis et le peuplement suivant ne sont certes pas à même d'assurer un écran protecteur total, mais ils se soutiennent mutuellement jusqu'à ce que la nouvelle forêt soit en mesure d'assumer entièrement la fonction protectrice (graphique selon W. Schönenberger, non publié).

C-1.1.6 Effet protecteur des bois laissés dans les couloirs

Lorsque de petites avalanches de plaques de neige se déclenchent dans les surfaces de chablis laissées telles quelles, il y a peu de risque qu'elles emportent le matériel, même si, dans le couloir, quelques troncs dépassent de la couche de glissement. Quand suffisamment de troncs reposent dans le couloir, il est fort probable que l'avalanche sera arrêtée à temps. Lorsque la pente accuse 45° (100%) et que l'épaisseur de déclenchement mesure 50 cm, les avalanches de plaques de neige requièrent une distance de 20 mètres pour atteindre pratiquement leur vitesse finale. Une avalanche qui décroche au-dessus de la surface de chablis et qui la traverse à pleine vitesse emporte tous les bois renversés. Même un peuplement intact ne parvient pas à résister à de telles forces.

C-1.1.7 Laisser les chablis à terre, une solution de rechange à l'évacuation des bois et la construction d'ouvrages paravalanches?

Etant donné les coûts très élevés qu'entraînent l'évacuation des bois et la construction d'ouvrages paravalanches, il convient d'étudier minutieusement les autres possibilités. Une solution nettement plus avantageuse consiste à tirer profit des bois à terre qui empêchent efficacement le déclenchement d'avalanches durant de nombreuses années. Simultanément, il est souvent possible de faire croître une jeune forêt susceptible de reprendre à temps l'effet protecteur que les bois renversés perdent progressivement. Il suffit pour cela de favoriser le rajeunissement préétabli, de planter entre les troncs et d'effectuer les mesures accessoires nécessaires.

Il est important de contrôler périodiquement les endroits critiques en matière d'avalanches. On peut renforcer ces zones par quelques ouvrages de stabilisation temporaires lorsque la hauteur d'action se réduit à l'épaisseur maximale de neige d'une période de retour de trente ans en raison de l'affaiblissement des bois et que la jeune forêt est encore loin d'assumer la fonction protectrice. Les possibilités techniques, comme les ouvrages de stabilisation préfabriqués, permettent aujourd'hui d'agir de manière différenciée dans le temps et l'espace.

C-1.1.8 Effet protecteur des peuplements d'épicéas décimés par les attaques de bostryches

Suite aux chablis imputables à «Vivian», les bostryches ont causé le dépérissement d'un peuplement d'épicéas de 30 hectares situé au-dessus de Schwanden (GL), sur le flanc nord du Gandberg. Les arbres morts ont été laissés sur pied. Jusqu'à l'été 2000, le vent a brisé près de 75% des tiges (KUPFERSCHMID *et al.* 2004). La plupart des troncs ont chuté perpendiculairement à la ligne de plus grande pente et constituent de ce fait une protection efficace contre les chutes de pierres et le déclenchement d'avalanches (voir figure 10).

Durant une période d'observation de huit ans, on n'a pas constaté de déclenchement d'avalanches ou de phénomènes notables de chutes de pierres dans la surface de bois mort. KUPFERSCHMID ALBISETTI (2003) relève toutefois une exception. Il s'agit d'une petite chute de pierres qui a été arrêtée après quelques mètres déjà par les souches et les troncs à terre. Si les bois morts avaient été exploités, il est fort probable que les cas d'érosion, de chutes de pierres, ainsi que le danger de décrochement d'avalanches auraient sensiblement augmenté sur ce versant particulièrement raide (KUPFERSCHMID ALBISETTI 2003). KUPFERSCHMID *et al.* (2004) estiment également que les bois morts du Gandberg offriront une protection efficace contre les dangers naturels durant une trentaine d'années. La condition préalable en est l'implantation simultanée d'un nouveau peuplement qui, au cours de cette période, reprenne progressivement l'effet protecteur à sa charge (voir figure 9).



Figure 10: Surface de bois morts du Gandberg, au-dessus de Schwanden, après des attaques de bostryches typographiques. Les arbres, entre-temps brisés par le vent, constituent une protection efficace contre les chutes de pierres et le déclenchement d'avalanches (photo: A. Kupferschmid).

C-1.2 Eviter les chutes de pierres et de bois

C-1.2.1 Définitions

- **Chutes de pierres / chutes de blocs:** mouvement de pierres dévalant une pente, ainsi que leur interaction avec l'environnement (FREHNER *et al.* 2005).
- **Les pierres et les blocs** sont classés en cinq catégories de grandeur (tableau 5).
- **Chutes de bois:** comme pour les chutes de pierres, des souches, des troncs entiers ou certaines parties de troncs peuvent perdre de leur ancrage en terrain raide et le long des arêtes, puis glisser, rouler ou sauter en bas d'une pente.

Tableau 5: Catégories de grandeur des pierres et des blocs (GERBER 1994).

	Dimensions moyennes	Masse*
Pierres	< 0,5 m	< 250 kg
Petits blocs	0,5 – 1,0 m	250 – 2 000 kg
Blocs moyens	1,0 – 1,5 m	2 000 – 7 000 kg
Gros blocs	1,5 – 2,0 m	7 000 – 15 000 kg
Très gros blocs	> 2,0 m	> 15 000 kg

*Moyenne: les blocs cubiques accusent une masse supérieure de 20%, les formes arrondies affichent une masse inférieure de 20%.

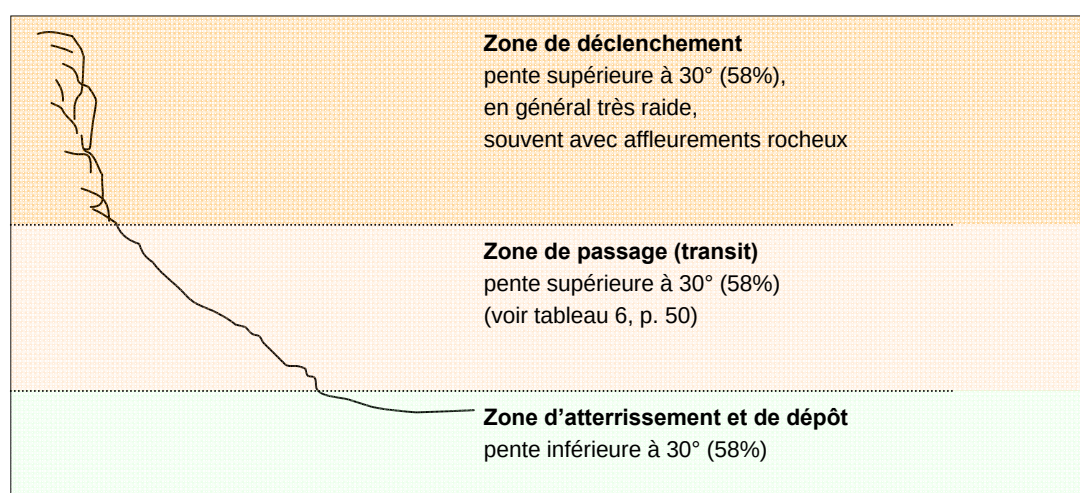


Figure 11: Subdivision d'une zone de chutes de pierres, selon FREHNER *et al.* (2005).

C-1.2.2 Dégâts potentiels

La zone dangereuse comprend la zone de passage et de dépôt (voir C-1.2.2a et C-1.2.2b, p. 51). Concrètement, la portée des chutes de pierres peut être établie sur la base de traces dans le terrain ou à l'aide des cartes synoptiques des dangers. Les pierres et les blocs s'arrêtent fréquemment dans une pente globale (voir figure 3, p. 39) d'environ 30° (58%) (GERBER 1998; PERRET *et al.* 2004). Il faut en outre tenir compte des facteurs qui prolongent ou qui raccourcissent la trajectoire (voir tableau 6).

Des modèles de simulation permettent actuellement d'estimer de manière très fiable la portée des pierres, avec ou sans l'effet de freinage de la forêt (STOFFEL *et al.* 2005).

a) Zone de passage

Dans la zone de passage des **chutes de pierres**, la pente excède 30° (58%). Cela signifie que les pierres – lorsque leur trajectoire ne rencontre aucun obstacle – subissent une accélération, c'est-à-dire que leur vitesse augmente (FREHNER *et al.* 2005). Une distance de 40 mètres peut déjà suffire pour atteindre une vitesse maximale et pour provoquer de larges bonds en fonction du terrain (GSTEIGER 1993).

La distance de chute des **bois** dévalant la pente est, abstraction faite des souches et des troncs ébranchés, nettement raccourcie. Une pente supérieure à 45° (100%) s'avère en règle générale nécessaire pour accélérer ou maintenir la vitesse de chute. Les branches empêchent dans une large mesure les chablis de rouler. Lorsque le tronc est rattaché à la souche (disque racinaire), la trajectoire, initialement parallèle à la ligne de plus grande pente, est assez vite réduite par des mouvements latéraux de déviation.

Des obstacles tels que les arbres sur pied ou renversés sont susceptibles de raccourcir considérablement la distance de chute et par conséquent de repousser vers le haut la zone de dépôt (voir tableau 6; LUNDSTRÖM *et al.*; DORREN *et al.* 2005; SCHÖNENBERGER *et al.* 2005). Les sols profonds, disposant d'un potentiel d'amortissement important, produisent un effet comparable.

b) Zone de dépôt

Dans la zone de dépôt, les pierres, les blocs ou les bois sont ralentis et immobilisés. Lorsque la pente est inférieure à 25° (45%), il suffit en général d'une courte distance pour stopper les pierres (FREHNER *et al.* 2005).

Tableau 6: Lorsque le sol est superficiel, les petits blocs s'arrêtent en règle générale dans une pente globale de 30° (58%). Le tableau montre les facteurs susceptibles de réduire (grande pente globale) ou de prolonger (petite pente globale) la portée des chutes de pierres.

Pente globale minimale:	> 30° (58%)	< 30° (58%)
	La portée est réduite par les facteurs suivants:	La portée est prolongée par les facteurs suivants:
Propriétés du matériau:	- Pierres (voir tableau 5, p. 50). - Pierres anguleuses ou plates.	- Blocs moyens ou plus grands (voir tableau 5, p. 50). - Pierres et blocs de formes arrondies.
Propriétés de la forêt:	- Perchis ou futaies riches en tiges sur pied. - Bois à terre: selon la position par rapport à la ligne de plus grande pente, selon le diamètre et le stade de décomposition.	- Forêts claires ou non boisées. - Arbres de faibles diamètres.
Propriétés du terrain:	- Importante rugosité du sol, p. ex. éboulis de pente. - Sol profond, c'est-à-dire amortissement important.	Faible rugosité du sol.

C-1.2.3 Dangers potentiels

Après le passage d'une tempête, le danger de chutes de pierres peut augmenter en fonction des conditions géologiques ou de la pente, par exemple pour les raisons suivantes:

- le déracinement des arbres libère des pierres,
- après la disparition du peuplement protecteur, le gel pénètre plus profondément dans le sol et cause une altération accélérée de la roche,
- l'effet de la forêt de protection contre les chutes de pierres est réduit en raison des dégâts au boisement (FREY *et al.* 1995).

Les **chutes de pierres** surviennent le plus souvent lorsque la pente dépasse 30° ou 58% (voir tableau 6).

En général, les zones de chutes de pierres sont clairement visibles dans le terrain, ou sont répertoriées dans les cadastres et les cartes des dangers.

De nouvelles zones de déclenchement peuvent se créer, à court ou moyen terme, après des dégâts de tempête. En effet, les grandes pierres arrachées lors du renversement de la souche sont susceptibles de se détacher de la balle racinaire au bout d'un certain temps. Il faut en tenir compte lorsque les chablis qui auraient pu immobiliser ces pierres sont récoltés.

À l'exception des souches renversées coupées trop près de la base, susceptibles de se comporter comme des pierres en fonction de leur forme, les **chutes de bois** ne surviennent en principe que si la pente excède 45° (100%), lorsque les arbres ou les souches se détachent de leur ancrage ou que les troncs secs sur pied se brisent après quelques années.

C-1.2.4 Effet des surfaces de chablis évacuées sur les chutes de pierres

a) Zone de déclenchement:

L'évacuation des chablis permet d'enlever ou de stabiliser les éléments instables

Une évacuation soignée des chablis s'avère judicieuse lorsque les bois à terre sont instables et qu'ils risquent de causer des dégâts directs ou indirects considérables en chutant ou en glissant dans les cours d'eau ou dans les environs (GERTSCH et KIENHOLZ 2004).

Les grandes pierres emprisonnées dans les balles racinaires se détachent en général au cours de la décomposition des racines et constituent ainsi une zone de déclenchement (phénomène fréquent dans le Jura notamment). Les souches renversées peuvent en outre se mettre en mouvement. Ce problème peut être pratiquement éliminé si la découpe du tronc est faite à plus de quatre mètres de la souche (FREHNER *et al.* 2005).

Les bois mal maintenus peuvent se mettre facilement en mouvement. Il y a lieu de tenir tout particulièrement compte de ce danger dans les cas suivants: pente très raide, troncs ébranchés ou écorcés, influence de la neige (FREHNER *et al.* 2005).

b) Zone de passage et de dépôt:

Grâce aux souches renversées, aux hautes souches sur pied et au reste de bois, les surfaces de chablis évacuées offrent une protection comparable à celle de l'ancienne forêt. Les éléments constituant la structure s'avèrent certes moins haut, mais ils fournissent un effet protecteur plus étendu horizontalement (NOACK *et al.* 2004). Les tas de branches contribuent à amortir le phénomène de chute.

En évacuant les chablis, on se prive d'un ouvrage très efficace de protection contre les chutes de pierres

Cependant, en évacuant les chablis de la surface, on se prive souvent, durant une longue période, d'un «ouvrage» naturel et très efficace de protection contre les chutes de pierres (FREHNER *et al.* 2005).

C-1.2.5 Effet des surfaces de chablis laissées telles quelles face aux chutes de pierres

a) Zone de déclenchement:

Les chablis permettent d'empêcher les chutes de pierres durant des décennies

Les troncs à terre empêchent le déclenchement de chutes de pierres et souvent également de petits blocs durant des décennies (FREHNER *et al.* 2005). L'érosion ou le danger de glissements de terrain superficiels sont également faibles dans une surface laissée telle quelle. Cette qualité a aussi un effet bénéfique sur le risque de chutes de pierres.

Les bois laissés sur place peuvent devenir instables sur les versants raides

Dans les zones de chablis très raides dont la déclivité atteint 50 à 55° (120 à 140%), comme dans l'Oberland grison, des troncs et des pierres ont déjà dévalé la pente au cours des premières années suivant une tempête. Les bois et les pierres qui se sont accumulés dans le lit d'un cours d'eau sont souvent susceptibles de causer d'autres dégâts en cas de crues (FREY *et al.* 1995).

b) Zone de passage et de dépôt:

La rugosité du sol est très élevée dans les surfaces laissées telles quelles

Les chablis à terre accroissent considérablement la rugosité du sol. Durant les premières années, les troncs forment souvent un enchevêtrement dépassant un mètre de hauteur. Cette qualité permet de remplir largement les exigences minimales en matière de protection contre les chutes de pierres. Les bois reposant en biais par rapport à la ligne de plus grande pente freinent les pierres, alors que les troncs disposés perpendiculairement à la ligne de plus grande pente permettent également d'arrêter les projectiles. L'effet des arbres à terre est particulièrement grand lorsque les pierres dévalant la pente sont ralenties par des obstacles ou qu'elles traversent des zones moins raides. Dans la zone de passage, les chablis renversés protègent également le nouveau peuplement contre les dégâts (NOACK *et al.* 2004; FREHNER *et al.* 2005).

Les pierres détachées, susceptibles de rouler loin si les circonstances s'y prêtent, s'accumulent souvent derrière les troncs à terre des surfaces laissées telles quelles. Une surface de chablis peut parfois se transformer en zone de déclenchement, si les pierres accumulées ne sont pas suffisamment liées au sol et menacent de dévaler la pente lorsque le bois est bien décomposé, ou si des pierres s'échappent des souches renversées. Ce danger concerne notamment les stations raides, c'est-à-dire celles dont la pente dépasse 30° (58%) (FREY *et al.* 1995; FREHNER *et al.* 2005). Ce matériau est souvent assez vite immobilisé par les troncs laissés plus bas, par la rugosité du sol encore élevée ou par la jeune forêt qui s'implante entre-temps. La protection contre les chutes de pierres offerte par une surface non évacuée agit à grande échelle. Globalement, ces avantages l'emportent sur le risque de voir ultérieurement les pierres amoncelées reprendre leur course en bas de la pente. Cependant, il ne faut pas perdre de vue, même à long terme, les accumulations de pierres qui présentent un danger dans la forêt protectrice. Des mesures ponctuelles, comme la disposition de nouveaux troncs au-dessous des arbres en décomposition, peuvent s'imposer au cours de la dégradation des structures de barrage (FREHNER *et al.* 2005).

Des blocs peuvent rompre les barricades formées par l'enchevêtrement des chablis

Une surface de chablis laissée telle quelle n'a qu'un pouvoir limité pour retenir les blocs d'un diamètre moyen supérieur à 1 m (env. 2 000 kg). De tels blocs atteignent déjà une vitesse de 10 m/s après avoir parcouru une distance de 5 à 7 m. Ils produisent par conséquent une énergie cinétique supérieure à 100 kJ, alors qu'une énergie nettement plus faible suffit – selon le diamètre, l'essence et le stade de décomposition de la pièce de bois – pour briser un tronc reposant à terre. Il ne faut pas espérer une meilleure résistance, même dans le cas d'une forêt intacte (GERBER 1998). Face à de grands blocs dont le diamètre moyen dépasse 1,5 m (env. 7 000 kg), la forêt parvient certes encore à freiner les projectiles, mais n'est presque plus en mesure d'arrêter la course de tels blocs sans bénéficier simultanément du concours d'un replat de terrain.

C-1.2.6 Effet protecteur des peuplements d'épicéas décimés par les attaques de bostryches

Le dépérissement d'épicéas sur pied n'a pas pour conséquence la perte immédiate de la protection contre les chutes de pierres. Les arbres restent encore plusieurs années debout, puis cassent souvent à une hauteur de 1 à 5 m, comme l'ont montré les expériences faites au Gandberg, près de Schwanden (GL). On n'a pas observé d'arbres déracinés après leur phase de dépérissement (KUPFERSCHMID *et al.* 2004). Les parties brisées qui ont chuté perpendiculairement à la ligne de plus grande pente créent un «ouvrage» de protection très efficace contre les chutes de pierres qui – constitué de hautes souches et de troncs à terre – est susceptible de dépasser l'effet protecteur de l'ancien peuplement (voir figure 3, p. 14). En se décomposant, les hautes souches et les troncs à terre perdent toutefois peu à peu de leur résistance. Cette évolution peut avoir des conséquences négatives sur l'effet protecteur de ces surfaces. C'est pourquoi il faut également tenir compte du danger de chutes de bois dans les cas suivants: forte pente, direction de chute défavorable des troncs brisés et influence de la neige.

C-1.3 Eviter les glissements de terrain, les coulées de boue et l'érosion

C-1.3.1 Définitions

- **Glissement de terrain:** mouvement aval d'une masse de terre, de roches ou de pierres le long d'une surface de glissement en direction du bas d'une pente. La masse en glissement peut produire des coulées de boue si elle est fortement détrempée.

Profondeur de la surface de glissement	
Glissements superficiels:	0 à 2 m
Glissements moyennement profonds:	2 à 10 m
Glissements profonds:	> 10 m

- **Coulée de boue:** coulée de boue se formant le long d'une pente (→C-1.4.1, p. 64).
- **Erosion:** enlèvement et transport de matériaux solides par l'eau, les glaciers, le vent, les vagues, etc.
- **Erosion de surface (érosion superficielle):** érosion d'une couche homogène et étendue à la surface du sol, sous l'action de l'eau, de la neige ou du vent.
(définitions tirées de FREHNER *et al.* 2005)

Tableau 7: Documents et indications dans le terrain servant d'aide à l'évaluation du danger de glissements.

Documents	Indications dans le terrain
• Carte des dangers, carte synoptique des dangers • Carte des sols et des versants instables • Cadastre des événements, documentation des événements • Carte géologique • Résultats de modélisation	• Pente • Géologie et propriétés du sol • Topographie

C-1.3.2 Dégâts potentiels

Les glissements de terrain, au sens strict du terme, sont rarement importants, car la distance séparant la zone de déclenchement et le lieu de dépôt est normalement courte. Si la liquéfaction du matériau et la pente sont suffisantes (voir 0), les glissements de terrain peuvent se transformer en coulées de boue, parcourir une grande distance et menacer même les objets très éloignés.

L'étendue des glissements de terrain et des coulées de boue et, par conséquent, la menace possible pour certains objets, peuvent être déterminées sur la base de traces visibles dans le terrain, de la documentation d'événements passés ou à l'aide d'expertises particulières. L'éventail de la pente globale et de l'étendue possible est grand. RICKLI et BUCHER (2003) ont constaté, lors de l'analyse des événements exceptionnels relatifs aux fortes précipitations qui ont frappé les régions de Napf et Appenzell, des portées de 8 à 150 mètres comprises dans des pentes globales fluctuant entre 17 et 48° (31–111%). Près de 90% des glissements de terrain qui n'ont pas rencontré d'obstacles ont évolué dans une pente globale de 20° (36%) et ont coulé sur une distance maximale de 80 mètres.

C-1.3.3 Dangers potentiels

a) Conditions préalables à l'érosion

Fortes précipitations	Il faut en règle générale de fortes précipitations pour que la capacité d'infiltration du sol soit saturée et que l'eau s'écoule à la surface. Ce n'est qu'alors que survient l'érosion.
Forte pente	En général, plus la déclivité est forte, plus l'érosion de surface sera importante. Sur les sols dépourvus de végétation, elle apparaît déjà lorsque la pente est faible.
Propriétés du sol défavorables	Les sols riches en terre fine sont particulièrement sensibles à l'érosion, lorsque les matériaux fins (taille des grains < 2 mm) contiennent plus de 60% de limon (taille des grains comprise entre 0,002 et 0,06 mm) (COPPIN et RICHARDS 1990).

b) Conditions préalables aux glissements de terrain superficiels

Fortes précipitations	Les glissements de terrain superficiels se produisent la plupart du temps au contact de l'eau pénétrant dans le sol. Les facteurs de déclenchement sont en général les précipitations de forte intensité concentrées sur une brève durée. Le volume des précipitations tombées avant l'événement ne doit pas être négligé non plus. Le danger de glissements peut être atténué par un drainage approprié. En raison de nombreuses difficultés, il convient d'examiner préalablement les avantages et les inconvénients de ces mesures avec minutie (BÖLL 1997; GERBER <i>et al.</i> 2002). Il faut porter une attention particulière à la dérivation des eaux météoriques, notamment lors de la construction d'une nouvelle desserte (routes et chemins).
Forte pente	Les glissements de terrain se produisent souvent lorsque la pente atteint 30 à 45° (58 à 100%). L'analyse des nombreux événements survenus à la suite de fortes précipitations tombées dans les régions de Sachseln, Appenzell et Napf a permis de définir la fourchette de pentes dans laquelle ces phénomènes apparaissent fréquemment (RICKLI et BUCHER 2003). À Sachseln, 80% des glissements ont eu lieu lorsque la déclivité oscillait entre 34 et 41° (67–87%), alors que dans les régions de Napf et Appenzell, le terrain accusait dans 90% des cas une pente comprise entre 29 et 44° (55–97%) (voir figure 12). Lorsque la déclivité est inférieure à 20–23° (36–42%), les glissements sont manifestement rares et s'observent souvent en relation avec des talus de routes, des déversements concentrés d'eau ou l'érosion du lit d'un cours d'eau. En terrain abrupt, c'est-à-dire lorsque la pente excède 50° (119%), les glissements arrivent rarement parce que la couche de roche meuble s'avère moins épaisse.
Géologie défavorable	L'angle de friction interne du matériau meuble constitue un critère important pour la stabilité d'un versant. Il indique approximativement la pente limite d'un talus et dépend entre autres de la granulométrie du matériau. Les sols à proportion élevée de composants fins (argile et limon) présentent en général une faible stabilité (voir tableau 8).

Tableau 8: Propriétés du sol et pentes critiques à partir desquelles il faut craindre des glissements de terrain (tableau selon FREHNER *et al.* 2005).

Genre de roche meuble	Pente critique (peut aussi être plus faible dans certains cas)
• Sols marneux • Sols argileux	dès 25° (47%)
• Propriétés moyennes du sol, sans signes de saturation marqués	dès 30° (58%)
• Sols bien perméables • Sols comprenant peu de fractions fines (argile, limon) • Sols sableux, graveleux	dès 35° (70%)

Traces visibles dans le terrain

Selon les résultats de diverses études, la topographie ne semble pas exercer une influence uniforme sur le déclenchement des glissements de terrain. Alors que dans certaines régions, les glissements concernent avant tout les arêtes et les dépressions, ailleurs, ils affectent davantage les versants exempts de plissements (RICKLI 2001; RICKLI et BUCHER 2003). Des indices d’anciens glissements de terrain sont cependant souvent relevés au voisinage des zones de déclenchement. C’est pourquoi l’observation du terrain constitue un facteur important pour évaluer le danger de glissements de terrain.

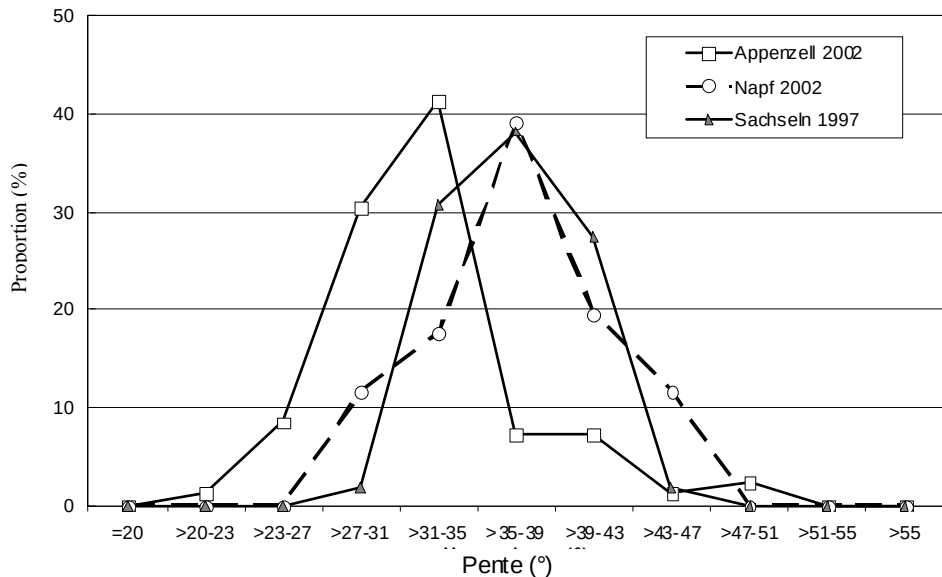


Figure 12 et tableau 9: Proportion de glissements de terrain par classe de pente dans les régions étudiées de Sachseln, Napf et Appenzell. Les différences s’expliquent essentiellement par l’intensité des précipitations qui ont déclenché l’événement, par la géologie et par la pente la plus répandue dans la région étudiée. À Sachseln, les versants légèrement inclinés sont moins fréquents qu’à Napf et Appenzell (Rickli et Bucher 2003).

	Napf	Appenzell	Sachseln
Date de l’événement:	16.7.2002	1.8.2002	15.8.1997
Précipitations:	53 mm/24h	150 mm/24h	150 mm/2h
Intensité maximale:	46 mm/4h	100 mm/4h	90 mm/1h
Géologie:	conglomérats, grès, marne	grès, marne	calcaire, mame grès
Nombre de glissements:	51	82	280

C-1.3.4 Influence de la forêt contre les glissements de terrain proches de la surface

La forêt a un effet stabilisateur pour les raisons suivantes:

- elle consolide le sol au moyen de son système racinaire,
- elle protège contre l'érosion,
- elle draine le sol via l'évaporation et la transpiration, et
- elle accroît le volume des pores dans l'espace racinaire.

Les expériences montrent que les glissements de terrain proches de la surface sont en général nettement plus fréquents sur les terrains découverts qu'en forêt. L'analyse des intempéries de Sachseln a aussi révélé que le risque de glissements était plus faible dans les peuplements vigoureux que dans les forêts en mauvais état, ou même que dans les surfaces endommagées par le vent ou les bostryches (RICKLI *et al.* 2002).

Les racines consolident le sol

Le système racinaire contribue avant tout à la stabilité du versant en reliant les couches sensibles aux glissements avec le sous-sol plus stable (RICKLI *et al.* 2002).

- Plus les horizons instables sont épais, moins les racines seront en mesure de consolider les surfaces de rupture potentielles.
- Plus un arbre s'enracine profondément, plus la liaison entre la couche instable et le sous-sol stable sera forte, à condition que la surface de rupture concerne les horizons parcourus par le système racinaire.

Par conséquent, ce sont notamment des essences telles que le sapin, l'érable sycomore et d'autres feuillus susceptibles de s'enraciner profondément, même dans les terrains difficiles, qui fournissent une prestation de grande valeur en matière de stabilité du sol. L'effet stabilisateur des racines n'est cependant possible qu'à condition que les horizons plus stables soient suffisamment aérés et que leur densité ne constitue pas un obstacle à l'enracinement (SCHÄFFER 2004).

L'effet stabilisateur des racines permet le développement de sols – même sur des pentes raides – qui n'auraient pas pu se constituer tout seuls en raison de la résistance au cisaillement des matériaux (voir tableau 8). Après des chablis, ce type de sols est particulièrement exposé aux glissements et à l'érosion (MENASHE 1998; RICKLI 2001; GERTSCH et KIENHOLZ 2004).

La consolidation du sol dépend de l'interaction des grosses et des petites racines. Cela mis à part, les champignons mycorhiziens participent également dans une large mesure à la formation d'un sol stable.

La forêt influence favorablement le régime hydrique

Selon le type de sol, la forêt peut, grâce à son système racinaire, accroître sensiblement la capacité de stockage et la perméabilité du sol. En interceptant les précipitations, elle contribue aussi à ce qu'une part importante des eaux météoriques soit évaporée à la surface du feuillage déjà, sans jamais atteindre le sol forestier. De plus, les arbres pompent une très grande quantité d'eau dans le sol au cours du processus de transpiration. De ce fait, le degré de saturation du sol est, en cas de fortes précipitations, moins vite atteint sous le couvert forestier qu'à l'extérieur. Le danger de glissements est par conséquent atténué. De cette manière, la forêt peut aussi avoir une influence bénéfique au niveau des glissements moyennement profonds à profonds (MENASHE 1998; RICKLI *et al.* 2002).

(⇒ L'influence de la forêt sur le régime hydrique du sol est traitée de manière détaillée au chapitre D-1.1.2, p. 115.)

L'effet positif de la forêt est limité

L'effet positif de la forêt a cependant aussi ses limites, notamment en ce qui concerne la profondeur d'une éventuelle surface de rupture dans le sol, l'escarpement du terrain et l'intensité des précipitations. À Sachseln par exemple, le nombre de glissements de terrain proches de la surface des zones découvertes n'était pas significativement plus élevé qu'en forêt lorsque la pente dépassait 40° (84%) environ (RICKLI *et al.* 2002).

C-1.3.5 Conséquences des chablis sur l'érosion et les glissements de terrain superficiels

Selon la grandeur des surfaces et l'ampleur des dégâts, les chablis causés par la tempête – ou le dépérissement massif d'arbres à cause des attaques de bostryches – peuvent entraîner un danger accru de glissements durant des décennies (voir tableau 10; RICKLI *et al.* 2002).

L'érosion de surface survenant à la suite de chablis est par contre rarement importante. Les blessures du sol, causées par le déracinement des arbres ou par la récolte des bois, sont rapidement recolonisées par la végétation, ce qui met fin à la plupart des phénomènes d'érosion (BURSCHEL et BINDER 1993). Cependant, les versants dont la pente excède 40° (85%) se rétablissent difficilement, laissant souvent la voie libre à l'érosion de surface durant une longue période (FREY *et al.* 1995).

Tableau 10: Propriétés critiques des surfaces de chablis quant au danger de glissements (inspiré de FREHNER *et al.* 2005).

Genre de glissement de terrain	Propriétés critiques des surfaces de chablis	Importance des chablis quant aux dangers potentiels
superficiel ou érosion de surface (horizon de glissement atteignant 2 m de profondeur)	• surface critique: > 6 a lorsque le rajeunissement fait défaut > 12 a lorsque le rajeunissement est assuré • degré de recouvrement critique* du vieux peuplement: < 40% (c.-à-d. diminution du degré de recouvrement > 60%)	grande
moyennement profond et profond (horizon de glissement dépassant 2 m de profondeur)	• degré de recouvrement critique* du vieux peuplement: < 30% (c.-à-d. diminution du degré de recouvrement > 70%)	en général faible (moyenne, lorsque le régime hydrique de l'horizon de glissement est influencé)

* Degré de recouvrement moyen de la surface de chablis, alentours immédiats compris (surface évaluée: au moins 1 ha).

Les chablis entraînent une diminution de la consolidation du sol

En ce qui concerne le danger de glissements de terrain dans les zones en pente, la situation après des chablis affectant des surfaces entières est comparable à celle d'une coupe rase, tant que les arbres sont brisés, mais pas déracinés. La disparition du vieux peuplement entraîne une nette diminution de la consolidation du sol par les racines durant quelques décennies. Selon une étude californienne, l'effet stabilisateur du système racinaire d'un ancien peuplement de résineux a chuté de moitié deux à trois ans après la récolte des bois et a complètement disparu après 25 ans (ZIEMER 1981). La somme de l'effet consolidant des racines en décomposition et du système racinaire des jeunes arbres atteint son plus bas niveau quelques années après la coupe rase. La présence d'un rajeunissement préétabli a pour conséquence de ralentir globalement la réduction de l'influence des racines au cours des années suivantes, ce qui raccourcit fortement la période durant laquelle l'effet est fortement diminué. Lorsque le rajeunissement s'implantant à la suite de chablis est lacunaire, les buissons jouent alors un rôle important dans la stabilisation des versants. Grâce à leur croissance rapide, ils parviennent à consolider le sol plus rapidement que les jeunes arbres. Sur les versants raides, les premiers glissements de terrain se sont produits quatre à quinze ans après les coupes rases (SIERRA LEGAL DEFENCE FUND 1997). Toutefois, le sol est immédiatement déstabilisé lorsque la proportion d'arbres renversés est élevée parmi les chablis affectant des surfaces entières. En effet, les souches renversées ou redressées ne contribuent plus à la consolidation du sol.

Les chablis modifient le régime hydrique local

L'écroulement du peuplement anéantit également le pouvoir d'interception et de transpiration des arbres. De ce fait, le sol reçoit davantage de précipitations. C'est pourquoi le danger de glissements de terrain peut augmenter dans les régions critiques. L'écoulement souterrain de l'eau étant en général difficile à saisir, il n'est pas toujours aisé d'estimer dans quelle mesure les propriétés de la couche supérieure du sol, modifiée par les chablis, se répercutent sur les conditions prévalant en profondeur (FREHNER *et al.* 2005).

Les souches renversées peuvent modifier le régime hydrique du sol. Les eaux de surface s'accumulent dans les dépressions laissées par les souches renversées et parviennent concentrées dans le sol, notamment lorsque les arbres ont chuté vers le bas (voir figure 13). De petits glissements superficiels peuvent par conséquent se produire sous les souches, si le matériau composant le sol est instable (KARISCH 1996; GERTSCH et KIENHOLZ 2004).

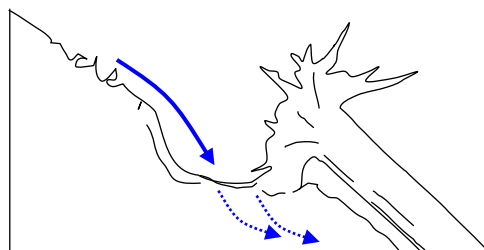


Figure 13:

Les eaux de surface peuvent s'infiltrer de manière concentrée dans les dépressions, causées par les souches renversées vers le bas, et déstabiliser le sol.

C-1.3.6 Influence du fait d'évacuer et de laisser les bois sur l'érosion et le danger de glissements de terrain

Pour savoir dans quelle mesure la décision d'évacuer ou non les chablis agit sur le danger d'érosion et de glissements de terrain, il faut avant tout mesurer l'influence de ce choix sur l'écoulement de l'eau à l'intérieur et à l'extérieur du sol (voir C-1.3.5).

Le poids des chablis à terre n'exerce qu'une très faible influence sur les conditions d'équilibre du versant. C'est pourquoi l'alourdissement du sol est en général négligeable.

La présence ou l'absence de chablis n'a aucune influence sur les glissements moyennement profonds à profonds.

a) Influence de l'évacuation des bois

La récolte permet d'éviter l'évacuation difficile de mélanges composés de masses en glissement et de troncs

Dans certains cas, l'évacuation des chablis est recommandée afin d'éviter que les troncs à terre ne soient emportés par les masses en glissement et créent un mélange de boue et de bois difficile à débarrasser (RICKLI 2001).

Lorsque les ouvertures dans le sol, situées derrière des souches renversées ou des troncs à terre retenant l'eau sont à l'origine de glissements de terrain (KARISCH 1996), la récolte des bois a une action positive si ces ouvertures sont refermées après la coupe ou après l'évacuation des troncs. Dans les zones en pente, il est toutefois rare que les souches renversées reprennent leur position initiale après la séparation des tiges.

La compaction compromet la reconsolidation du sol par les racines

Sur les sols sensibles, une récolte des bois irresponsable peut entraîner de sérieux problèmes de compaction. Lors d'exploitations forcées à grande échelle, comme les chablis dus au vent ou aux bostryches, une utilisation inappropriée des machines, même de courte durée, est susceptible de compromettre durablement l'enracinement. Les inconvénients peuvent ainsi dépasser largement les avantages escomptés et parfois, même accroître le risque de glissements de terrain (FREHNER *et al.* 2005).

La récolte des bois peut favoriser l'écoulement de surface et l'érosion

Les travaux de récolte des bois peuvent porter atteinte aux horizons supérieurs et compacter localement le sol. Le treuillage au sol est particulièrement néfaste sur les versants en ce qui concerne l'érosion. En effet, les frottements blessent le sol et ouvrent parfois de petites rigoles (GERBER *et al.* 2002; GERTSCH et KIENHOLZ 2004). Il est possible d'éviter ces inconvénients en recourant au câble-grue ou à l'hélicoptère.

Les nouveaux chemins perturbent le régime hydrique

La construction de pistes et de routes forestières entraîne souvent des changements imprévisibles au niveau de l'écoulement de l'eau en surface et en profondeur. Il faut si possible éviter ce type de projets ou les planifier soigneusement.

b) Influence du fait de laisser les bois

Les bois à terre raccourcissent la distance de glissement	Si le terrain n'est pas trop raide, les chablis à terre peuvent considérablement réduire l'étendue des glissements de terrain. L'effet des bois est particulièrement grand lorsque la proportion des troncs est élevée par rapport à la masse en glissement et s'il s'agit de tiges de grande dimension.
Les glissements de terrain entremêlés de troncs peuvent causer d'importants dégâts	Les masses de terre entremêlées de troncs sont susceptibles d'entraîner des dégâts considérables dans la zone de passage et de dépôt. De plus, l'évacuation d'un mélange de terre et de bois est très coûteuse. Si les bois tombent dans le lit d'un cours d'eau en raison de glissements de terrain ou de coulées de boue, ils peuvent provoquer des embâcles sur place ou dans des resserrements après charriage (voir C-1.4).
L'érosion de surface est empêchée dans une large mesure	L'érosion de surface affecte tout au plus de petites surfaces et est empêchée dans une large mesure par la rugosité accrue due au bois (GERTSCH et KIENHOLZ 2004).

C-1.4 Eviter les embâcles et les laves torrentielles

C-1.4.1 Définitions

- **Embâcle (occlusion):** obstruction du lit d'un cours d'eau causée par du bois flottant, par des alluvions ou par d'autres matériaux et accompagnée d'une accumulation d'eau.
- **Lave torrentielle:** mélange d'eau et de matériaux solides en forte proportion s'écoulant lentement ou rapidement, souvent en plusieurs vagues.
- **Lit et berges proches d'un cours d'eau:** profil naturel ou artificiel du terrain occupé par un cours d'eau intermittent ou permanent. Il comprend les deux berges et le lit proprement dit.

(définitions tirées de FREHNER *et al.* 2005)

C-1.4.2 Dégâts potentiels

Les embâcles sont fréquemment à l'origine de dégâts importants. Le comportement des torrents est souvent connu grâce au report des événements dévastateurs passés dans les cadastres et les cartes des dangers. On obtient cependant de meilleurs renseignements en observant les traces d'anciens dépôts alluviaux, pour autant que la topographie du cône de déjection et le régime hydrique ne se soient pas considérablement modifiés entre-temps. Il existe en outre des formules estimatives et des règles approximatives (RICKENMANN 1995). Plus le volume total charrié par les laves torrentielles est grand, plus son étendue le sera également.

Une analyse des intempéries survenues au cours de l'été 1987 en Suisse a montré qu'aucun des phénomènes de laves torrentielles observés n'est survenu sur une pente globale dépassant 11° (20%) (RICKENMANN 1995).

C-1.4.3 Dangers potentiels

a) Conditions préalables aux embâcles

Les chablis (troncs entiers ou fragments) peuvent parvenir dans le lit d'un cours d'eau en raison de l'érosion des berges, de glissements de terrain, de coulées de boue ou de chutes de bois. Les bois coincés représentent un risque d'engorgement sur place ou plus en aval, vers les resserrements, les aqueducs ou les ponts.

b) Conditions préalables aux laves torrentielles

Les bois coincés dans le lit d'un cours d'eau peuvent conduire à la rétention de l'eau et des matériaux (embâcles), qui se libèrent soudainement sous la forme de laves torrentielles d'une grande violence. Ces dernières ont souvent un effet dévastateur considérable.

La formation de laves torrentielles dans le lit d'un cours d'eau nécessite une pente minimale de 25 à 30%. Lorsque d'autres facteurs favorables au déclenchement sont réunis (p. ex. resserrements, bois entrelacés), le phénomène peut même survenir si la pente n'accuse que 15 à 25%. Il ne faut pas craindre le déclenchement de laves torrentielles lorsque la pente du ruisseau est inférieure à 15% (RICKENMANN 1995).

Les bois renversés peuvent parvenir dans le lit d'un cours d'eau par le biais des glissements de terrains, des coulées de boues, de l'érosion des berges ou des chutes de bois et y provoquer des dégâts ou accroître l'effet dévastateur d'éventuelles laves torrentielles.

C-1.4.4 Influence du fait d'évacuer et de laisser les bois sur les embâcles et les laves torrentielles

a) Influence de l'évacuation des bois

Le fractionnement des bois réduit le risque d'embâcles dans le lit des cours d'eau

L'évacuation complète ou le débitage des chablis en petits morceaux s'avère également importants dans le lit des torrents et dans les ravins. Cette manière de procéder permet d'interrompre la succession d'événements susceptibles de causer des embâcles et des laves torrentielles (GERTSCH et KIENHOLZ 2004). La longueur des pièces devrait être choisie de sorte que les éventuels bois à la dérive puissent franchir sans problème les resserrements des cours d'eau. De plus, les petits morceaux de bois peuvent produire, en formant des pa-lis, un effet stabilisateur sur le lit des ruisseaux.

b) Influence du fait de laisser les bois

En glissant dans des resserrements, les troncs peuvent causer des embâcles

Lorsque les talus de torrents sont raides, les bois à terre risquent de chuter ou d'être entraî-nés dans le lit par des glissements de terrain et de causer des dégâts à la suite d'embâcles et éventuellement de laves torrentielles.

C-2 Dégâts secondaires

C-2.1 Protéger les peuplements voisins contre les attaques de bostryches

C-2.1.1 Après la tempête, les bostryches typographes (*Ips typographus*)

Après des chablis dus aux tempêtes ou à la suite d'une période de sécheresse, les forêts d'Europe centrale sont avant tout la cible d'attaques de bostryches typographes (*Ips typographus*), un insecte dont l'effet dévastateur se fait sentir à grande échelle (FORSTER *et al.* 2003b). Parmi les mesures pour lutter contre les bostryches, les mesures phytosanitaires coûteuses n'apportent pas toujours le résultat escompté, notamment parce qu'il n'est pas possible de les réaliser assez vite et entièrement. Les enseignements tirés des grandes catastrophes dues aux tempêtes de la dernière décennie, la situation économique critique de la majeure partie des entreprises forestières, ainsi que les nouvelles attentes de la société envers la forêt incitent à évaluer la lutte contre les bostryches de manière différenciée.

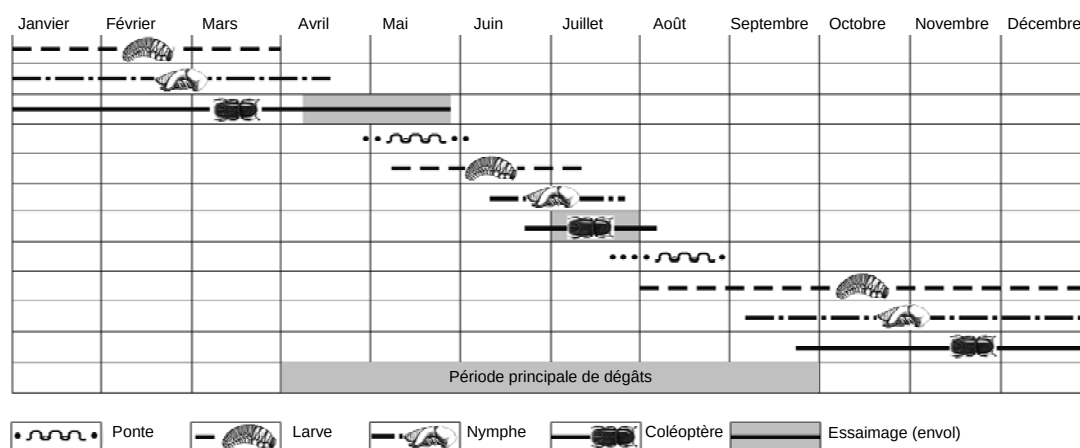
Une appréciation réaliste de la situation des bostryches et des possibilités de prévention ou de lutte ne peut pas se limiter à la situation particulière d'une surface de chablis ou d'un peuplement. Elle doit prendre en compte les conditions prévalant dans le périmètre élargi et dans la région (voir Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête, chapitre 2.4.3). Les expériences personnelles et de bonnes connaissances des conditions locales ou régionales sont aussi déterminantes pour cette évaluation que les connaissances spécialisées sur les interférences biologiques ou écologiques. De nombreux facteurs, comme l'état des peuplements d'épicéas épargnés ou l'évolution des conditions météorologiques au cours des prochains mois et années, demeurent néanmoins inconnus ou sont difficiles à estimer.

C-2.1.2 Biologie des bostryches typographes

Cycle de développement Le cycle de développement (de la ponte à l'imago) dure entre six et douze semaines en fonction des conditions météorologiques et de l'altitude (voir tableau 11). Au printemps, le moment de l'essaimage dépend de l'évolution de la température et du stade de développement dans lequel le coléoptère a hiberné (WEISSBACHER 1999).

La température optimale au développement des larves sous l'écorce est de 30°C. Le développement cesse au-dessous de 6 à 8°C environ (WERMELINGER et SEIFERT 1998).

Tableau 11: Cycle de développement des bostryches typographes (*Ips typographus*) avec deux générations, par exemple à 800 m d'altitude. Au-dessus de 1300 m, le calendrier est décalé d'un mois environ et ne permet en général pas le développement d'une deuxième génération (source: NIERHAUS-WUNDERWALD et FORSTER 2004, reproduit avec l'autorisation de l'Institut fédéral de recherches (WSL), Birmensdorf, du 6 juin 2005).



Comportement migratoire Les bostryches typographes requièrent une température minimale de 16,5 °C pour prendre leur envol. L'essaimage principal a lieu entre 12 et 18 heures (WEISSBACHER 2004). Un tiers tout au plus des coléoptères fraîchement éclos restent au même endroit. De nouveaux foyers de bostryches apparaissent en général dans un rayon de 500 à 600 mètres. Une étude de WICHMANN et RAVN (2001) a montré que 90% des arbres nouvellement attaqués se situaient à moins de 100 mètres du lieu d'envol, bien que la majeure partie des populations aient vraisemblablement migré dans des peuplements éloignés de plus de 500 mètres. Les coléoptères sont capables de parcourir une distance supérieure à 500 mètres. Certains individus sont probablement même capables de voler ou d'être transportés par le vent sur plusieurs kilomètres (BOTTERWEG 1982; DUELLI *et al.* 1997).

Antagonistes De nombreux antagonistes (prédateurs) achèvent leur développement dans l'arbre, environ un mois après les bostryches typographes (voir figure 14). C'est pourquoi il s'avère judicieux de laisser encore sur pied les arbres *abandonnés* par les coléoptères au moins durant quelques semaines (WERMELINGER *et al.* 2002b). Il n'est par contre pas recommandé de renoncer au façonnage des arbres attaqués afin de favoriser les antagonistes (WEISSBACHER

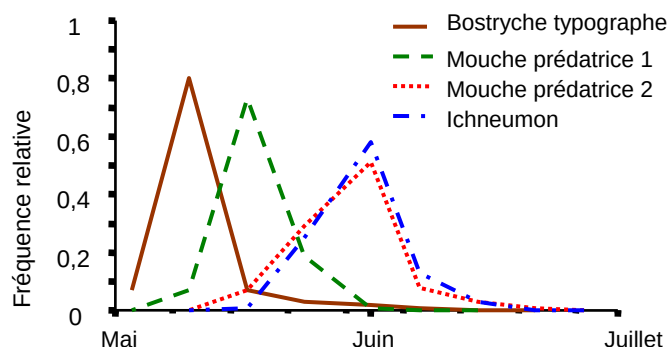


Figure 14: Moment de l'envol, à la maturité de l'imago. Les bostryches typographes quittent l'arbre hôte plusieurs jours, voire plusieurs semaines avant leurs ennemis (figure tirée de WERMELINGER *et al.* 2002b).

2004). Cette règle n'est pas valable pour les épicéas infestés de larves de coléoptères vouées à un développement incomplet qui ne devraient pas être écorcés ou évacués immédiatement – surtout dans les anciens foyers de bostryches.

Grâce à sa mobilité élevée, le bostryche typographe parvient en général à échapper à l'influence tardive de ses ennemis. En effet, la densité des antagonistes est en principe encore faible dans les zones éloignées, susceptibles d'être attaquées.

Même lorsque les ennemis naturels ne sont pas en mesure de stopper seuls une gradation de bostryches typographes au niveau local, les dégâts dus aux coléoptères seraient, sans leur aide, nettement plus élevés dans bien des cas (FEICHT 2004). En présence de conditions météorologiques et d'un substrat de reproduction défavorables, l'influence des ennemis naturels peut jouer un rôle important dans l'effondrement des populations de bostryches (WEISSBACHER 2004).



Figure 15: Un ichneumon *Tomicobia seitneri* (pteromalidae) pond un œuf sur un bostryche typographe. La larve se développe à l'intérieur du coléoptère et le vide complètement (photo: B. Wermelinger, WSL).

C-2.1.3 Facteurs naturels influençant le développement des populations de bostryches (dangers potentiels)

a) Facteurs d'influence dépendant de la surface

Proportion d'épicéas dans les chablis	La proportion d'épicéas dans les chablis est déterminante pour l'offre de lieux de reproduction et influence de ce fait la vitesse d'accroissement des populations de bostryches. Sont considérées comme critiques les surfaces de chablis dont la part d'épicéas correspond à plus du tiers des bois renversés par la tempête. Une proportion plus faible suffit dans les grandes surfaces.
Proportion de bois renversés et brisés	Alors que les troncs brisés sont avant tout infestés au cours de la première année après la tempête, les épicéas renversés ne sont souvent attaqués qu'à partir de la deuxième année, même à basse altitude (BECKER et SCHRÖTER 2000). Grâce aux contacts racinaires, les arbres à terre bénéficient souvent d'une couronne verte jusqu'au troisième été consécutif aux tempêtes. De ce fait, ils peuvent contribuer à accroître les populations de coléoptères durant une longue période. Dans les surfaces de chablis, les troncs à terre sont attaqués avant les bouts d'arbres encore sur pied (chicots) (WERMELINGER et DUELLI 2004).
Exposition	Aux endroits exposés au soleil et dans les grandes surfaces de chablis (> 2 ha), les bois sèchent assez vite et perdent ainsi rapidement de leur attractivité (JIRIKOWSKI et PRÖLL 2003). Même si l'état des troncs permet le développement d'une première génération de coléoptères, seule une faible part des chablis est effectivement attaquée (BECKER et SCHRÖTER 2000).
Surface	Les chablis affectant des surfaces de petite à moyenne étendue (< 2 ha) et les dégâts épars sont souvent ombragés. Les bois restent plus longtemps attractifs pour les bostryches. Ces petites surfaces ou les dégâts épars contribuent dans une très large mesure à la prolifération des bostryches typographes, étant donné qu'une proportion élevée des troncs sont attaqués avant d'avoir suffisamment séché. L'évacuation à temps de ces zones constitue par conséquent une mesure phytosanitaire particulièrement efficace (BECKER et SCHRÖTER 2000).
Altitude	Au-dessous de 1300 m d'altitude (jusqu'à 1600 m les années chaudes), la somme de chaleur du printemps à l'été est en général suffisante au développement de deux générations. Les années chaudes permettent même, dans certains cas, la croissance d'une troisième génération au-dessous de 600 m. Au-dessus de 1300 m, le développement d'une seule génération est de mise (FORSTER <i>et al.</i> 2003b).

b) Facteurs d'influence au niveau régional

Etendue des dégâts dans la région	Plus les dégâts de tempête sont étendus et affectent une zone ou une région entière, plus les attaques consécutives seront importantes. Cette règle mérite cependant quelques restrictions, par exemple lorsque l'offre en épicéas attractifs est fortement limitée dans les peuplements restants aux alentours (BECKER et SCHRÖTER 2000; FORSTER <i>et al.</i> 2003a).
--	---

Population initiale	Lorsque le passage d'une tempête entraîne l'apparition de substrats attractifs sur de grandes surfaces, la population initiale n'est pas encore très importante. La première phase de croissance se déroule le plus souvent d'une manière extrêmement rapide. Si la température est élevée, une à deux générations suffisent largement pour accroître drastiquement la densité de bostryches d'une région. Suite à cela, les chablis sont secs. En cas de dégâts épars, la population initiale joue un plus grand rôle. En effet, les lieux de reproduction sont répartis sur de grands espaces, restent plus longtemps attractifs et peuvent être attaqués complètement lorsque la population de coléoptères est déjà élevée.
	<i>c) Facteurs d'influence climatiques</i>
Moment de l'événement	Plus le laps de temps s'écoulant entre la catastrophe due à la tempête et le prochain essaimage de bostryches est long, plus l'écorce des arbres sera sèche au moment de la colonisation. L'écorce déshydratée convient de moins en moins au développement des larves de bostryches typographes. Les conditions météorologiques ou la saison jouent un rôle essentiel à ce sujet. En raison du cycle de développement des coléoptères (voir C-2.1.2), la marge de manœuvre est la plus grande pour intervenir lorsque les dégâts de tempête surviennent durant les mois d'août à octobre.
Conditions météorologiques des années consécutives	Parmi tous les facteurs naturels, les conditions météorologiques des années consécutives, bien qu'imprévisibles, ont cependant une importance primordiale (WEISSBACHER 1999). Les périodes de sécheresse affaiblissent les peuplements restants, ce qui prédispose les arbres aux attaques de coléoptères. Durant ces phases, SCHRÖTER <i>et al.</i> (1998) ont constaté que les peuplements d'épicéas situés sur des stations fraîches et à humidité variable sont particulièrement exposés. En effet, cette essence s'enracine superficiellement dans de tels lieux et souffre par conséquent plus rapidement de la sécheresse. Les longues périodes de sécheresse accélèrent en outre la reproduction des coléoptères. Les temps frais et humides affaiblissent les larves et les rendent sensibles aux maladies, aux prédateurs et aux parasites (voir C-2.1.2, «antagonistes»). Une gradation de bostryches contre laquelle l'homme n'intervient pas ou peu n'est le plus souvent résorbée qu'après une longue période de fraîcheur et d'humidité. Suite aux ravages dus à Vivian en 1990, la population de bostryches typographes a stagné, par endroits, à un niveau élevé durant plusieurs années. Les conditions météorologiques du printemps 1996 et notamment le mois de juin humide de 1997 ont finalement provoqué l'effondrement de la population de bostryches en Suisse (ENGESSER <i>et al.</i> 1998).
Changements climatiques	Jusqu'à la fin du XXI^e siècle, les spécialistes prévoient un réchauffement climatique de 1,5 à 6°C en Europe centrale (OCCC 2002). Une augmentation de la température de 4°C réduirait le temps nécessaire au développement des bostryches typographes situés en altitude (au-dessus de 1000 m), qui est actuellement d'environ 160 jours en moyenne, au niveau des régions de basse altitude, soit une réduction de 65 à 70 jours (HEIDELBAUER 2004). De plus, les experts s'attendent à ce que le réchauffement climatique augmente sensiblement la fréquence des étés extrêmes, marqués par de longues périodes de sécheresse et que, vers la fin de ce siècle, chaque deuxième été soit aussi chaud que celui de l'année 2003 (SCHÄR <i>et al.</i> 2004).

C-2.1.4 Facteurs naturels influençant l'étendue des dégâts secondaires (dégâts potentiels)

a) *Altitude des peuplements d'épicéas restants dans les environs*

Dans les pessières épargnées, les attaques consécutives surviennent le plus souvent un an après la tempête dans les régions de basse altitude et deux ans après dans les régions élevées (GALL *et al.* 2003; TOMICZEK 2003).

Les dégâts potentiels dus aux bostryches typographes peuvent être particulièrement importants à l'étage subalpin et notamment à l'étage haut-montagnard. En effet, la proportion d'épicéas est souvent proche de 100% dans ces peuplements (OTT *et al.* 1997). Sur ces stations difficiles à régénérer, les bostryches peuvent affaiblir sensiblement une forêt protectrice en un court laps de temps. Après quoi, il est souvent nécessaire d'entreprendre des travaux coûteux pour reconstituer à long terme l'effet protecteur requis de la forêt. C'est pourquoi les forêts protectrices et les peuplements voisins méritent une attention particulière.

b) *Disposition des peuplements d'épicéas restants dans les environs*

Age du peuplement

Les épicéas d'un âge inférieur à 50 ans ou qui présentent encore une écorce lisse sont les moins menacés. À partir d'un âge compris entre 70 et 90 ans, BAIER *et al.* (1994) ainsi que BECKER et SCHRÖTER (2000) ont constaté un risque accru d'attaques qui s'est avéré encore nettement plus élevé pour les arbres ayant dépassé 100 ans.

Proportion d'épicéas

Une proportion élevée de feuillus ou de résineux autres que l'épicéa signifie d'une part que l'attractivité du peuplement est réduite (BECKER et SCHRÖTER 2000), et d'autre part que la fonction assumée par la forêt concernée est moins vite remise en question par le dépérissement des épicéas. NÜSSLEIN (1997) qualifie un peuplement de «moyennement menacé» ou de «menacé» lorsque la proportion d'épicéas est supérieure à 50 ou 80% (voir tableau 12). Une large structure d'âge permet aussi de réduire les risques pour le peuplement. En plus de leur capacité de détruire les pessières, les bostryches typographes s'attaquent parfois également à des peuplements de pins de montagne (REICH *et al.* 2004).

Gravité des dégâts

La cause d'une sensibilité accrue provient le plus souvent d'un approvisionnement en eau perturbé ou insuffisant (SCHWENKE 1985), par exemple à la suite de blessures aux racines ou d'un dégagement brusque (BECKER et SCHRÖTER 2000). C'est pourquoi les attaques consécutives commencent par toucher les éléments affaiblis des peuplements d'épicéas épargnés par la tempête (GALL *et al.* 2003).

Exposition des nouvelles
lisières franches

L’insolation et une sécheresse inhabituelle menacent particulièrement les nouvelles lisières franches d’épicéas exposées au sud ou à l’ouest (BECKER et SCHRÖTER 2000; WERMELINGER 2004).

Tableau 12: Risque d'attaques d'un peuplement lors d'invasions de bostryches typographes (représentation de NÜSSLEIN 1997, légèrement modifiée).

Stade de développement des épicéas	Proportion de feuillus (y compris sapin, mélèze, pin)		
	Peuplement de feuillus (50–100% de feuillus)	Peuplement mixte (20–50% de feuillus)	Peuplement d’épicéas (moins de 20% de feuillus)
Jusqu’à 10–20 cm de DHP	non menacé		
Depuis 10–20 cm de DHP		moyennement menacé	menacé

- «non menacé»: les structures du peuplement sont largement conservées, même lors d’invasions soutenues de bostryches.
- «moyennement menacé»: les situations extrêmes peuvent provoquer une rupture et un éclaircissement partiels.
- «menacé»: les attaques sont susceptibles de causer un dépérissement à grande échelle.

c) Densité des bostryches ou élimination des foyers de bostryches

Plus la densité des bostryches est élevée, plus la prédisposition aux attaques d’un arbre ou du peuplement, même petite, suffira pour qu’une attaque soit couronnée de succès. Inversement, une faible pression de population permet déjà la réussite d’une attaque lorsque le peuplement est affaibli (CHRISTIANSEN et BAKKE 1988; WERMELINGER 2004). Les pertes dues à la dispersion permettent déjà de ralentir la dynamique de propagation des foyers de bostryches lorsque les insectes doivent parcourir des distances supérieures à 100 mètres sans rencontrer d’épicéas attaquables (BECKER et SCHRÖTER 2000). Au moment de l’envol, les courants atmosphériques prédominants peuvent cependant emporter les coléoptères en grands nombres et sur plusieurs kilomètres (voir C-2.1.2, «comportement migratoire»).

C-2.1.5 Marche à suivre et suivi

- a) Evacuation prioritaire
- b) Evacuation à temps
- c) Evacuation complète
- d) Suivi

Les explications fournies au chapitre précédent le montrent clairement, seule une stratégie régionale permet d’atténuer sensiblement la gradation de bostryches typographes qui suit inévitablement les chablis dans les peuplements d’épicéas. Les quatre fondements en matière de prévention des attaques sont l’intervention prioritaire, à temps, complète ainsi que le suivi. Le respect de ces facteurs permet de réduire considérablement les attaques consécutives sur le plan régional. Selon les expériences faites après l’ouragan «Vivian», FORSTER *et al.* (2003b) estiment que le potentiel de réduction peut atteindre 50% si les conditions sont favorables. Le façonnage préventif des chablis doit être relayé, au cours des années suivantes, par une lutte et une surveillance efficaces des bostryches dans les peuplements avoisinants (WICHMANN et RAVN 2001; SCHROEDER et LINDELÖW 2002; FORSTER *et al.* 2003a; FORSTER *et al.* 2003b).

a) *Marche à suivre selon l'urgence*

Lorsque les dégâts de tempête s'avèrent importants sur le plan régional, il faut évacuer les chablis de manière ciblée, là où cette intervention est la plus efficace en matière de prévention des dégâts secondaires. L'urgence des mesures phytosanitaires, au niveau de la surface de chablis, dépend avant tout des propriétés de la surface et des forêts potentiellement menacées situées dans sa zone d'influence. Le rayon déterminant à cet effet devrait être de 500 à 1500 mètres environ, selon les conditions topographiques, c'est-à-dire atteindre 1000 mètres en moyenne (SCHRÖTER *et al.* 1998, BECKER et SCHRÖTER 2000, FORSTER *et al.* 2003b).

Tableau 13: Urgence de l'évacuation en fonction de la grandeur des surfaces.

Les dégâts épars avant les dégâts étendus	Urgence	Genre de dégâts
	1	Dégâts partiels: petites surfaces < 0,1 ha
	2	Surfaces moyennes 0,1–2 ha
	3	Grandes surfaces > 2 ha

L'urgence des mesures phytosanitaires au sein d'une région dépend en premier lieu de la grandeur des surfaces endommagées (voir tableau 13). De nombreux auteurs ainsi que les enseignements pratiques tirés des ouragans «Vivian» et «Lothar» soulignent le fait **que ce sont précisément les dégâts épars les moins spectaculaires et les petites surfaces endommagées qui doivent être évacués au plus vite** (BECKER et SCHRÖTER 2000; FORSTER *et al.* 2003b; GALL *et al.* 2003; TOMICZEK 2003). Ces chablis sont très souvent entièrement attaqués par les bostryches avant d'avoir pu sécher suffisamment. De plus, les dégâts épars sont généralement dispersés sur un grand territoire et constituent de ce fait une menace pour une grande surface de forêt encore intacte. Etant fréquemment ombragés, ces bois sèchent assez lentement et contribuent ainsi plus longtemps que les dégâts étendus à la prolifération massive des coléoptères.

**Les chablis attaqués
avant les bois indemnes**

Les travaux de façonnage et d'écorçage des chablis attaqués sont particulièrement efficaces durant les «stades blancs» du développement des coléoptères, c'est-à-dire du stade d'œuf à celui de nymphe (voir tableau 11, p. 67).

**Les bois brisés avant
les arbres renversés,
ou inversement**

Lors de *petits* événements qu'il est possible de maîtriser en l'espace d'une génération de bostryches, l'établissement de priorités à petite échelle peut aussi contribuer à la réduction des attaques subséquentes, par exemple: évacuer rapidement les bois brisés susceptibles d'être infestés immédiatement et, entre-temps, maintenir en sève les arbres renversés qui sont moins sensibles à court terme (JIRIKOWSKI et PRÖLL 2003).

Lors de *grands* événements, il faut justement procéder à l'inverse: traiter les arbres renversés avant les arbres brisés afin de retirer tout substrat de reproduction avant la deuxième année consécutive à la tempête. Les bois brisés reposent certes encore dans la surface, mais ils se sont en grande partie desséchés entre-temps (FORSTER *et al.* 2003b).

Les expositions sud avant les expositions nord, ou inversement

Si les travaux de façonnage dépassent une année sur le plan régional, l'urgence de traiter les bois brisés qui sont exposés au sud ou à l'ouest s'avère faible, car les troncs sèchent rapidement. Si le façonnage des chablis dure moins d'une année dans la région, l'évacuation des bois renversés, exposés au nord ou à l'est, est alors moins urgente, étant donné qu'il n'y a pas encore de troncs susceptibles d'être attaqués, même au terme de la période de travail.

Les vieilles forêts avant les jeunes

Lorsque les ressources pour le façonnage rapide et complet des chablis sont limitées, on mettra l'accent principal sur l'évacuation des surfaces proches de peuplements riches en vieux épicéas. Il est possible de repousser dans la liste des priorités les zones à faible proportion d'épicéas ayant plus de 50 ans (BECKER et SCHRÖTER 2000; voir C-2.1.4b, p. 71).

Utiliser éventuellement les petites surfaces de chablis comme appât

Il est envisageable de laisser sciemment telles quelles de petites surfaces de chablis, facilement accessibles, jusqu'au moment d'une attaque de bostryches, puis de façonner immédiatement les troncs infestés. Cette opération permet de freiner localement la prolifération des coléoptères (WICHMANN et RAVN 2001), pour autant qu'une surveillance adéquate et qu'une intervention rapide puissent être assurées.

b) Evacuation à temps

L'évacuation des chablis au cours de la phase de développement de la première génération d'insectes est particulièrement efficace si les bois servent d'arbres pièges (GÖTHLIN *et al.* 2000). La deuxième génération se développe encore avant tout dans les bois à terre lorsque la région présente de grandes quantités de chablis et que l'écorce est assez humide. C'est pourquoi il est en général possible de qualifier de «délai utile ou temps utile» la *période s'écoulant depuis la tempête jusqu'au moment précédant l'essaimage de la deuxième génération* (voir tableau 14).

Tableau 14: Estimation du «délai utile» pour les mesures d'évacuation dans une zone de protection des forêts. Dans le cas présent, on part du principe que deux générations de bostryches typographes se développent par an à basse altitude (étage collinéen à montagnard supérieur) et qu'une seule génération voit le jour au-dessus (étage haut-montagnard et subalpin).

Moment de la tempête	Expiration du délai utile	
	Etage collinéen à montagnard supérieur ¹⁴	Etage haut-montagnard à subalpin
Hiver	Fin de l'été	Mois d'avril de l'année suivante
Été	Mois de juin	Mois d'avril de l'année suivante

c) Evacuation aussi complète que possible (≥ env. 80%)

Une évacuation soignée des chablis est le plus souvent garante de succès contre les attaques de bostryches. Cette pratique nécessite cependant beaucoup de ressources. C'est pourquoi elle n'est plus guère applicable intégralement en cas de forte tempête (WERMELINGER 2004). Dans ces situations, la subdivision de la région concernée en «zones de protection des forêts» a fait ses preuves (voir Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête, chapitre 2.4.3). Elle permet d'agir localement de manière différenciée. Comme valeur de référence, on admet que l'effet des mesures d'évacuation est perceptible lorsque, dans une région, *au moins 80% des chablis colonisables* sont évacués ou écorcés à temps (FAHSE et HEURICH

¹⁴ Voir définition des étages de végétation selon Frehner.

2003; FORSTER *et al.* 2003b). Pour ce faire, il faut agir en fonction de l'urgence (voir C-2.1.5a, p. 73). Les interventions strictement ponctuelles ou entreprises sans conviction n'obtiennent en général que peu d'effet (FORSTER *et al.* 2003b).

L'évaluation consistant à savoir si au moins 80% des chablis attractifs peuvent être évacués en temps utile requiert la prise en compte de toute une série de facteurs:

- quantité de dégâts épars avec épicéas,
- quantité de dégâts étendus avec épicéas,
- topographie, exposition,
- étages de végétation,
- desserte, accessibilité,
- moment de l'événement,
- conditions météorologiques durant la phase de façonnage (protection du sol),
- rapports de propriété,
- coopération entre les propriétaires forestiers,
- sécurité au travail,
- personnel,
- logistique (filière bois entière),
- marché du bois (demande, prix du bois),
- rentabilité (coûts - utilité),
- réserves.

d) Contrôle des peuplements restants

Dans les peuplements comportant des dégâts épars, on rencontre en général aussi une proportion élevée d'arbres sur pied affaiblis par des déchirures aux racines. Ces éléments représentent par conséquent une cible potentielle pour les populations de bostryches typographes en train de se constituer dans les environs. Une surveillance intense de ces forêts par des spécialistes s'avère particulièrement importante au cours des années suivantes (GALL *et al.* 2003).

C-2.1.6 Autres espèces de bostryches importantes sur le plan phytosanitaire

D'autres espèces de bostryches peuvent parfois être localement favorisées par les résineux renversés et causer des dégâts secondaires. Ces insectes apparaissent toutefois de manière localisée et le plus souvent en combinaison avec de longues périodes de sécheresse ou des charges de neige importantes.

Espèces de bostryches susceptibles de jouer localement un rôle important:

- scolyte curvidenté (*Pityokteines* sp.),
- bostryche chalcographe (*Pityogenes chalcographus*),
- grand scolyte du mélèze (*Ips cembrae*),
- diverses espèces de bostryches du pin.

Ouvrages de référence:

Nierhaus-Wunderwald D., Forster B. 2004: Biologie de ces deux genres d'Ips. Notice pour le praticien n° 18. Birmensdorf, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), 8 pages. Adresse de téléchargement (seulement en allemand):

http://www.wsl.ch/lm/publications/series/merkbl_pdf/Merkblatt_18_d_3A.pdf

Wermelinger B. 2004: Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. Forest Ecology and Management. Band 202: p. 67–82.

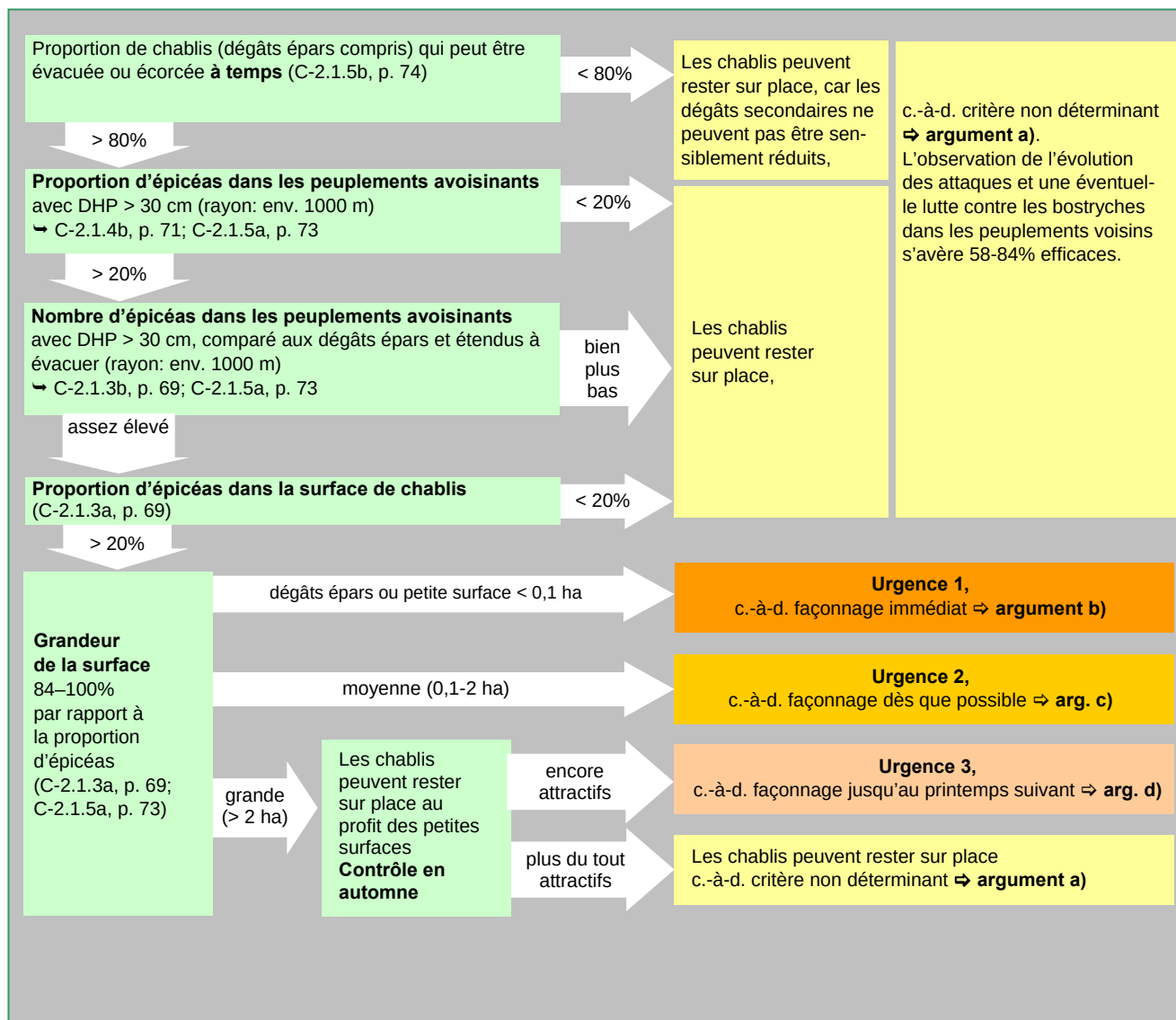


Figure 16: Schéma de décision pour la définition des étapes du façonnage des chablis. Arguments a-d: voir B-2.1, p. 22 (base: ODENTHAL-KAHABKA et PÜTTMANN 2004).

C-3 Sécurité au travail

C-3.1 Garantir la sécurité lors du façonnage des chablis

Les forêts touchées par la tempête comportent un risque accru en matière de sécurité aussi bien pour les forestiers œuvrant au façonnage des chablis que pour des tiers (passants, visiteurs). La remise en état, à grande échelle, des forêts suite aux dégâts causés par l'ouragan ne fait pas partie des expériences courantes du personnel forestier. Elle est le plus souvent associée à une contrainte psychique et physique élevée pour les responsables et la main-d'œuvre.

Malgré la forte pression du moment, il faut toujours veiller à conserver une vue d'ensemble de la situation et à reconsidérer la stratégie et la marche à suivre qui en découle. Lors de la planification, de l'organisation et de l'exécution des travaux, la sécurité des personnes (c'est-à-dire la sécurité du personnel et des tiers) doit primer sur toutes les autres considérations.

En plus de la souffrance, il ne faut pas sous-estimer les conséquences économiques découlant des accidents. À côté du montant assuré, l'entreprise doit encore supporter des coûts non couverts aussi élevés relevant de l'incapacité de travail, des charges salariales partielles, des charges sociales, des coûts de réparation des dégâts matériels, des frais administratifs, etc.

La sécurité prime sur les coûts et la perte de bois

La sécurité est plus importante que les coûts et la perte de bois. De ce fait, il s'avère judicieux de baser sur ce principe la décision quant à l'opportunité d'évacuer ou non les chablis. Lors des travaux de façonnage, la sécurité est déterminée avant tout par la formation et l'expérience du personnel engagé, les instruments de travail à disposition (y compris les moyens supplémentaires ad hoc de saisie et de traction) et le choix des méthodes de récolte des bois, c'est-à-dire le degré de mécanisation. Même en cas de menace potentielle élevée, il est possible de réaliser les travaux avec suffisamment de sécurité en recourant à des mesures appropriées (voir Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête, chapitre 2.4.2), le cas échéant avec des coûts disproportionnés.

C-3.1.1 Détermination des risques

Les directives européennes sur la santé et la sécurité au travail (89/391/CEE) obligent l'employeur à évaluer les risques découlant des activités de l'entreprise et à prendre les mesures de prévention qui s'imposent. Les dangers complexes existant dans les forêts détruites par la tempête et les dangers particuliers qui caractérisent le façonnage des chablis nécessitent une détermination des risques en fonction des dangers naturels futurs (WETTMANN 2004). Le catalogue des risques inhérents aux activités forestières (évaluation et documentation) constitue une aide appropriée à l'appréciation des risques possibles au cours des différentes étapes de travail de la récolte des bois (ARBEITSGRUPPE FORST DEUTSCHLAND – ÖSTERREICH – SCHWEIZ 2002). Il indique également les mesures de sécurité nécessaires.

C-3.1.2 Choix de la méthode de travail

Plus de sécurité grâce à un haut degré de mécanisation

Moins le bois doit être manipulé et plus le niveau de sécurité est élevé; en d'autres termes: l'augmentation du degré de mécanisation entraîne le plus souvent un accroissement de la sécurité au travail (voir tableau 15). Actuellement, il est en général possible de diriger l'ensemble des travaux – de la séparation de la souche à l'entreposage des chablis – depuis la cabine relativement sûre du machiniste lorsque le terrain est praticable aux engins (voir tableau 16). L'opération très dangereuse de séparation de la souche ainsi que le démêlage des bois devraient être effectués, dans la mesure du possible, au moyen d'une récolteuse. Même dans ce cas, il ne faut pas sous-estimer les risques, notamment lorsque différents types de machines (récolteuse, porteur, engin de débardage, tronçonneuse) sont utilisés simultanément dans la surface (PISCHEDDA 2004).

Lorsque l'usage de récolteuses n'est pas possible dans la surface de chablis, les travaux devraient se limiter à la séparation de la souche. Le lieu de façonnage convient alors mieux à l'ébranchage et au découpage des chablis (SCHÄFFER et VON WILPERT 2004).

Tableau 15: Appréciation des risques au cours des étapes de travail de la récolte des bois *ordinaire* (selon logiciel Forstgefährdungen V0.1 (voir ERLER et BUSCH 2004). L'exploitation des chablis présente des risques plus élevés, notamment lors de travaux manuels motorisés.

Etape de travail	Méthode	Risques
Abattage, ébranchage, découpe (séparation de la souche, démêlage, ébranchage, découpe)	Manuelle motorisée (tronçonneuse)	élevés – très élevés
	Récolteuse	faibles – modérés
Débardage, entreposage	Cheval	modérés – élevés
	Tracteur	modérés – élevés
	Câble-grue	modérés – élevés
	Porteur (forwarder)	faibles – modérés

Tableau 16: Méthode offrant la meilleure sécurité au travail en fonction du terrain (FVA Freiburg 2000).

Terrain (pente)	Séparation de la souche	Démêlage	Ebranchage	Découpe	Débardage	Entreposage
Terrain à layon (0–30%)*	Récolteuse (moyenne ou grande)					Porteur
Terrain à piste (30–50%)	Tronçonneuse	Récolteuse (moyenne)				Porteur
	Séparation de la souche	Démêlage	Débardage	Ebranchage	Découpe	Entreposage
Terrain à câble-grue (30–50%)	Tronçonneuse	Câble-grue	Processeur (moyen ou grand)			Rétro sur pneus

Risques:

faibles – modérés

modérés – élevés

élevés – très élevés

*Les rétros sur chenilles qui ne sont pas spécialement conçues pour des travaux forestiers et qui ne disposent pas d'une cabine inclinable sont limitées, même dans la ligne de plus grande pente, à une déclivité maximale de 15%.

Des réserves de puissances suffisantes permettent de réduire le danger d'accident

Le danger d'accident est encore réduit lorsque les machines disposent des réserves de puissance nécessaires au façonnage des dimensions rencontrées. Une machine qui travaille fréquemment à la limite de ses capacités s'use rapidement et expose les collaborateurs à un risque accru d'accident.

C-3.1.3 Sécurité des tiers durant la récolte des bois

Les risques pour les tiers peuvent être évités dans une large mesure par une fermeture à grande échelle de la zone dangereuse et la pose d'une signalisation adéquate. De plus, une information de la population à l'aide des médias locaux s'avère souvent judicieuse.

Sur les versants, la récolte des bois risque de provoquer des chutes et des glissements incontrôlés de pierres, de troncs et de souches. Si des tiers sont menacés, il peut s'avérer nécessaire d'ériger des installations de protection au-dessous des surfaces de chablis, en plus de la fermeture des routes et des chemins. Si ces mesures sont trop coûteuses ou qu'une évacuation de personnes est requise, ces facteurs peuvent avoir une influence décisive sur la décision de laisser, au moins partiellement, les chablis sur place.

C-3.1.4 Expériences faites suite à «Vivian» en 1990 et à «Lothar» en 1999

Au cours des premières semaines et mois après la tempête, la réparation des dégâts a été caractérisée par l'agitation, l'improvisation et le manque de professionnalisme. Les expériences faites suite aux ouragans «Vivian» et «Lothar» montrent que la fréquence des accidents a atteint son plus haut niveau au cours de cette période de démarrage (DANGUY DES DÉSERT *et al.* 2002; KANTONSFORSTAMT LUZERN 2002).

La plupart des accidents sont survenus en forêt privée

Les progrès techniques importants et les efforts visant à accroître la sécurité au travail (campagnes de la SUVA, cours, consignes et contrôles de sécurité) ont contribué de manière significative à la réduction des accidents: les entreprises forestières et les entrepreneurs forestiers ont enregistré près de 30% de cas en moins après «Lothar» que dix ans auparavant lors de la récolte des chablis dus à «Vivian» (WETTMANN 2002). À cette époque, les accidents ont touché presque un ouvrier forestier sur deux (voir tableau 17). Le nombre de cas mortels a même pu être sensiblement réduit (WETTMANN 2004). Grâce aux efforts fournis, la fréquence des accidents par mètre cube de bois façonné était même inférieure aux coupes ordinaires. La plupart des accidents mortels – après «Vivian» et «Lothar» – se sont produits en forêt privée (voir tableau 17).

Tableau 17: Accidents survenus en Suisse lors de travaux forestiers, entre 1990 et 2000 (WETTMANN 2004).

	«Vivian» 1990			«Lothar» 1999		
	Entreprises forestières publiques	Forêt privée	Total	Entreprises forestières publiques	Forêt privée	Total
Exploitation de bois en mio de m ³	4,5	1,8	6,3	5,4	3,9	9,3
Nombres d'accidents professionnels	3836	?	?	2195	?	?
Accidents mortels	14	17	31	2	14	16
Fréquence des accidents (accidents professionnels/1000 employés à plein temps)	440	?	?	309	?	?

Les 16 accidents mortels connus, imputables au façonnage des chablis dus à «Lothar», ont été causés par (WETTMANN 2004):

- ensevelissement et écrasement par des souches (6 personnes)
- écrasement par des troncs (5 personnes)
- parmi ces 16 personnes, 7 travaillaient seules dans les chablis.

Le déséquilibre entre la fréquence des accidents en forêt publique et celle en forêt privée a également pu être constaté dans le Bade-Wurtemberg, fortement touché par «Lothar». Il provient avant tout d'une sous-estimation des dangers, d'un manque d'expérience et d'un usage insuffisant de machines performantes en forêt privée (SCHÄFFER et VON WILPERT 2004).

En France, 23% des accidents survenus en forêt après «Lothar» et «Martin» sont dus à la séparation de la souche, 16% à l'ébranchage et 10% au façonnage «sans indications plus précises». Au total, 49% des accidents sont en rapport avec le façonnage manuel motorisé des chablis. En moyenne, les accidents particulièrement graves et la majorité des décès étaient liés au façonnage des bois. Près de 40% des personnes accidentées travaillaient depuis moins d'un an dans l'entreprise forestière. Ainsi, en plus de l'absence de professionnalisme, des facteurs tels que le manque de connaissances sur l'organisation de l'entreprise et l'insuffisance d'intégration au sein de l'équipe de travail se sont répercutés sur la fréquence des accidents. Les contraintes physiques et psychiques continues et le stress ont causé un nombre élevé d'accidents, même parmi le personnel expérimenté qui travaillait déjà depuis plus de dix ans dans la même entreprise (DANGUY DES DÉSERTS *et al.* 2002).

C-3.1.5 Brochures, instructions, aides

Lorsqu'une décision doit être prise en matière d'évacuation des chablis, il est possible de recourir à des supports qui fournissent des indications utiles sur la manière de tenir compte et d'accroître la sécurité au travail:

- *«Sécurité lors de l'exploitation des chablis!»*. Brochure, 28 pages. Disponible auprès de la Suva (n° de commande: 44070.f).
- *«Chablis: vie en danger / les dangers classiques lors de l'exploitation des chablis»*. Film de sensibilisation. Disponible auprès de la Suva (n° de commande: V 347.f).
- *Listes de contrôle* comme aide au travail de contrôle des cadres. Disponibles auprès de la Suva et sur Internet à l'adresse www.suva.ch/suvapro (allemand, français et italien).
- *«Gefährdungen bei forstlichen Tätigkeiten – Beurteilung und Dokumentation»*. CD. Disponible (seulement en allemand) auprès de la Suva (no de commande: 99067.d).
- *«Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête»*. Classeur (OFEV 2008).
- *Pages Internet* www.suva.ch pour des informations actuelles et continues.

Tableau 18: Conditions de travail et mesures visant l'amélioration de la sécurité au travail.

Conditions lors du façonnage des chablis	
Sources particulières de dangers • Arbres (entiers ou parties) renversés, déracinés, brisés et suspendus • Routes ou chemins inaccessibles ou barrés • Accès et vue d'ensemble difficiles • Tensions et forces incalculables exercées dans l'arbre ou dans l'entremêlement de troncs et de souches • Arbres (entiers ou parties), souches et pierres instables qui peuvent soudainement tomber, verser, chuter ou rouler sans raison manifeste, même après des jours, des semaines ou des mois • Contraintes physiques lors du façonnage des chablis	Difficultés supplémentaires • Forte pente • Températures chaudes (>20°C) • Neige, précipitations • Formation initiale et/ou complémentaire insuffisante • Inexpérience • Importants volumes de travail • Longues périodes de travail • Manque de personnel • Mauvaise coordination des étapes de travail
	
Mesures de sécurité	
Adapter et appliquer systématiquement le concept sécuritaire de l'entreprise à la situation exceptionnelle:	
Objectif • La sécurité avant tout! Organisation • Consacrer du temps à une planification minutieuse • Opter pour des méthodes de travail (degré de mécanisation aussi élevé que possible) les plus favorables au niveau de la sécurité au travail • Renoncer à la récolte des chablis particulièrement dangereux Formation initiale et complémentaire • N'engager que des collaborateurs qualifiés pour les travaux de façonnage des chablis • Dispenser, sur place et en présence de tous les collaborateurs, les informations pratiques concernant le façonnage des chablis Conditions de travail • Renoncer au travail supplémentaire ou à la prolongation du temps de travail • Libérer régulièrement les collaborateurs des travaux de façonnage, en leur proposant d'autres activités ou en leur offrant un jour de repos intercalaire • Rémunérer en régie	Collaboration avec des entreprises externes • Rechercher la collaboration interentreprises; recourir à du personnel d'autres entreprises forestières • Préférer les entreprises privées et publiques qui appliquent déjà un concept de sécurité • Exiger la preuve que l'entreprise dispose d'une assurance contre les accidents et d'une assurance de responsabilité civile • Insister sur l'engagement de personnes qualifiées (formation de base minimale, expérience, instruction pratique) • Régler par contrat le genre et la portée des travaux ainsi que les responsabilités (p. ex. en ce qui concerne la personne de contact, la fermeture des voies de communication, etc.) Contrôles de sécurité • Effectuer régulièrement des contrôles de sécurité, malgré le manque de temps. Au début des travaux de façonnage, certaines choses méritent d'être améliorées. Plus tard, il y a risque de négligence en raison de la routine Communication interne • Informer davantage les collaborateurs (quoi, où, quand, qui, combien, pourquoi, etc.) • Organiser des réunions de service, répondre aux demandes et aux suggestions des collaborateurs • Aborder les sentiments et les émotions des collaborateurs, trouver des solutions ensemble

C-4 Entreprise forestière

C-4.1 Tenir compte du marché du bois et de la logistique

C-4.1.1 Facteurs déterminant l'évolution négative des prix sur le marché du bois

L'année après le passage de «Lothar», les prix à port de camion ont fortement chuté, par exemple jusqu'à 50% pour les assortiments résineux B/C. Ce phénomène a aussi concerné le bois des coupes ordinaires, provenant des régions épargnées par les dégâts de tempête. Les principales raisons de l'effondrement des prix sont décrites ci-après (voir BÄRTSCHI *et al.* 2003; BAUR *et al.* 2003; ODENTHAL-KAHABKA et PÜTTMANN 2004, p. 194):

Les grandes distances et les frais de transport élevés compriment le produit de la vente des bois

La caractéristique typique d'un marché du bois conditionné par des dégâts de tempête à un niveau supra-régional est la proportion inhabituellement élevée des ventes à destination d'autres régions et de l'étranger. Dans ces marchés dominés par les acheteurs, les frais de transport sont en grande partie supportés par le vendeur. Le produit de la vente des bois se calcule d'ailleurs en soustrayant les frais de transport du prix franco usine. Le manque de concurrence, les limites de tonnage et la RPLP font qu'en Suisse les frais de transport par route et par rail sont environ deux fois plus élevés qu'en Allemagne. Etant donné que la majeure partie des chablis causés par Lothar ont été transportés sur une distance nettement plus longue qu'en temps ordinaire, les frais de transport ont pesé particulièrement lourd dans le bilan global.

Les phases du processus sont souvent mal coordonnées

Le façonnage, le transport, la transformation ou l'entreposage du bois doivent être coordonnés. Le transport des chablis façonnés n'a souvent pas pu suivre la cadence élevée des récolteuses modernes. Le manque de camions ou de wagons de chemin de fer a aussi été fréquemment à l'origine des problèmes de transport. Dans ces situations, le bois a dû être entreposé temporairement le long des routes forestières ou sur des places de chargement. L'opération supplémentaire a naturellement causé des surcoûts.

**L'entreposage intermédiaire de longue durée entraîne des pertes de qualité
Le réflexe économique fait souvent défaut**

L'entreposage intermédiaire des bois ronds façonnés jusqu'au moment de leur transport ou de leur chargement a souvent duré plus longtemps que prévu et a occasionné, notamment durant la période estivale, une dépréciation qualitative pouvant être considérable.

L'érosion des prix a également été favorisée par le manque de considérations économiques de la part des propriétaires forestiers. Pour de nombreux exploitants, la décision d'évacuer les chablis a été déterminée par d'autres facteurs. Cette situation a renforcé la position des acheteurs de bois. Certains preneurs étrangers ont systématiquement déclassé les chablis lors de leur cubage en usine. Cette manière de faire a contribué à réduire le produit de la vente des bois.

Le subventionnement par mètre cube de chablis façonnés, pratiqué par de nombreux cantons à la suite de «Lothar», a eu une répercussion clairement négative sur le prix du bois. Le soutien financier a incité les propriétaires forestiers à écouler leur bois à des prix parfois relativement bas. C'est pourquoi les fonds publics ont profité avant tout à l'industrie de transformation du bois.

L'offre de bois élevée sature le marché	La stratégie consistant à vendre rapidement afin de devancer la chute des prix s'est avérée payante pour certains propriétaires forestiers. L'aspect négatif de cette tactique a été d'accélérer l'effondrement des prix. Les personnes qui n'ont pas pu commencer de façonner les chablis directement après la tempête ou celles qui se sont d'abord abstenues d'écouler leur bois par solidarité en sont restées pour leurs frais.
Seule la forte réduction des prix a permis l'écoulement de grandes quantités de bois	Jusqu'à un certain niveau, les baisses de prix sont compensées par la quantité de chablis exploitable de manière concentrée, ce qui permet même de réaliser un bénéfice. Pour de nombreux propriétaires, la chute des prix après «Lothar» a cependant été trop forte, en Suisse, pour leur permettre de rester dans les chiffres noirs.

C-4.1.2 Mesures visant à soulager le marché et à soutenir le prix du bois

Dans leur analyse sur les conséquences économiques de l'ouragan «Lothar», BAUR *et al.* (2003) qualifient par conséquent le prix du bois de «grandeur clé» au niveau des répercussions économiques défavorables des tempêtes sur l'économie forestière. Cette constatation souligne l'importance des mesures visant à soulager le marché à la suite de tempêtes.

Les efforts consentis par l'économie forestière en vue de soutenir le prix du bois n'ont de chance de réussir que si les acteurs de tous les niveaux œuvrent ensemble pour atteindre le même objectif. Les mesures suivantes sont proposées pour les propriétaires forestiers concernés:

Bonne planification des phases du processus	Bien planifier la chaîne de production et coordonner au mieux la vitesse de façonnage avec le transport. Il faut éviter de façonner les troncs dont le transport n'est pas assuré à temps. La chaîne est bien mieux planifiée lorsque les bois sont façonnés par l'acheteur. C'est pourquoi la vente sur pied doit toujours être envisagée. En effet, il est plus judicieux de vendre les bois de cette manière que d'engager un entrepreneur disposant de récolteuses performantes seulement pour le façonnage. Le marché du bois n'est pas inondé par des offres sauvages, même lorsque les ventes sur pied se déroulent rapidement.
Coordination interentreprises	Organiser ou accepter le pilotage interentreprises de l'avancement du façonnage, de la formation d'assortiments, de la commercialisation et de l'entreposage des bois. Cette manière de procéder permet de mieux combattre la pression exercée sur les prix et de mieux répondre aux besoins des acheteurs.
Professionnalisme	Engager des équipes bien entraînées et convenablement équipées. Ce choix facilite l'organisation et la coordination des étapes de travail.
Soulager le marché en entreposant les chablis	Organiser l'entreposage des assortiments de grande valeur afin de conserver leur qualité. Cette technique permet de surmonter la période de tension sur le marché du bois. Utilisée à grande échelle, elle peut produire un effet stabilisateur sur le prix du matériau ligneux. L'entreposage par voie humide est cependant très coûteux. Le prix de vente, susceptible d'être plus avantageux ultérieurement, doit au moins compenser les frais d'entreposage.

Eviter toute précipitation inutile	Etendre les travaux de façonnage des chablis sur une plus longue période. Aux emplacements exposés au nord et à l'est, la qualité des bois résineux se maintient sans autre jusqu'à la deuxième période de végétation. À ces expositions, la conservation en sève représente, au-dessus de 900 mètres d'altitude environ, un atout pour la planification du façonnage, mais ne constitue pas une méthode de conservation de pleine valeur (ODENTHAL-KAHABKA et PÜTTMANN 2004).
Laisser sur place les assortiments de moindre valeur	Renoncer au façonnage des assortiments de moindre valeur et de mauvaise qualité. Le fait de laisser sur place les assortiments de moindre valeur constitue le plus souvent une solution économique qui permet de décharger le marché du bois et le personnel forestier. Inversement, les assortiments de qualité supérieure s'écoulent à bons prix, même durant les périodes de crise.
Réfléchir en termes d'économie	Mettre davantage l'accent sur des considérations économiques. En l'absence d'intérêts publics tels que la protection contre les dangers naturels ou la protection de forêts intactes à fonctions prioritaires particulières, qui pourraient limiter sensiblement la liberté d'action du propriétaire forestier, celui-ci peut réfléchir davantage en termes économiques. Dans ce cas, c'est avant tout le produit de la vente des bois après déduction des coûts de récolte qui détermine si les bois doivent être évacués ou non (BAUR <i>et al.</i> 2003).

C-4.2 Créer de bonnes conditions pour le peuplement suivant

C-4.2.1 Définitions

- **Rajeunissement**: collectif de jeunes arbres dans une surface.
- **Semis** (ensemencement)¹⁵: rajeunissement de 0 à 3 ans.
- **Recrû initial**¹⁵: rajeunissement de plus de 3 ans, mais ne dépassant pas la strate herbacée (25 à 75 cm de hauteur).
- **Rajeunissement établi**¹⁵: rajeunissement dépassant la strate herbacée, mais pas encore nettement la couche de neige usuelle.

C-4.2.2 Propriétés caractéristiques des surfaces de chablis

Plus la surface de chablis est grande, plus l'influence du peuplement environnant sur la reforestation sera faible. Le microclimat et le développement de la forêt ne sont plus les mêmes que dans un boisement fermé, mais sont dissimulés par les conditions typiques des surfaces de chablis:

- températures extrêmes de jour comme de nuit,
- influence plus marquée du gel dans les couches supérieures du sol,
- apport élevé de lumière et de chaleur,
- déplacements d'air (vents) sans entraves à proximité du sol,
- davantage de précipitations sur le sol,
- minéralisation rapide de la couche d'humus,
- développement luxuriant d'une végétation concurrente héliophile,
- apport insuffisant de semences dans les grandes surfaces.

C-4.2.3 Influence du fait d'évacuer et de laisser les bois sur les conditions générales de la reforestation

a) *Mycorhizes*

Une évacuation irréfléchie peut aussi menacer la flore mycorhizienne

Si une surface forestière est dépourvue d'arbres durant une longue période, les champignons mycorhiziens disparaissent progressivement, ce qui peut s'avérer négatif pour le rajeunissement naturel (REXER *et al.* 1998). Cependant, quelques rares espèces, qui survivent apparemment plus longtemps dans le sol sans relation avec des arbres vivants sont encore capables de mycorhizer les jeunes semis, même dix ans après la tempête (EGLI *et al.* 2002).

La récolte des chablis peut aussi conduire à la disparition d'espèces de champignons mycorhiziens, si cette opération altère sérieusement le rajeunissement préétabli.

¹⁵ Définitions pour «semis», «recrû initial» et «rajeunissement établi» selon OTT *et al.* (1997).

L'évacuation des bois homogénéise les conditions de station Les perturbations du sol causées par la récolte favorisent la germination des semences d'arbres	<i>b) Microstations</i> Les arbres déracinés par la tempête mettent à nu beaucoup de matière minérale. Les souches renversées et les dépressions laissées derrière elles offrent de bonnes conditions d'ensemencement à de nombreuses essences. Ces microstations sont fréquentes dans les surfaces laissées telles quelles parce que les souches ne peuvent pas se redresser. Comme les dépressions contiennent très peu de semences ou de rhizomes, le sol de ces endroits se recouvre plus lentement de végétation qu'aux alentours. Les souches renversées constituent en outre des proéminences du terrain durant une longue période (ULANOVA 2000). L'évacuation des bois homogénéise les conditions microstationnelles et par conséquent de la couverture végétale. L'écroûtage du sol, causé par les travaux d'exploitation, crée néanmoins aussi des microstations pourvues de matière minérale. Cependant, les surfaces de chablis évacuées, exposées au sud, à sols fins bien développés et à végétation maigre tendent à se dessécher jusqu'à une profondeur de 35 cm (WOHLGEMUTH <i>et al.</i> 1995).
Les chablis laissés sur place ont un effet régulateur sur le microclimat	L'ensoleillement direct provoque un réchauffement trop marqué, en particulier sur les stations pauvres en végétation des surfaces de chablis évacuées. Il engendre par conséquent une humidité relative trop basse dans les couches d'air proches du sol, ce qui peut anéantir complètement l'ensemencement. Si le microclimat n'est pas sensiblement influencé par les vents principaux tels que la brise de montagne ou de vallée, l'évacuation des chablis agit défavorablement sur l'évolution journalière de la température atmosphérique proche du sol, notamment sur les stations pauvres en végétation. Les gels nocturnes plus fréquents au printemps et en automne indiquent que le climat est plus continental dans les surfaces de chablis évacuées (BOGENRIEDER <i>et al.</i> 1998). En raison du rayonnement thermique dégagé par les troncs à terre, la neige fond, en altitude, quelques jours plus tôt dans les surfaces de chablis laissées telles quelles (FREY et THEE 2002).
	<i>c) Herpotrichie</i> L'herpotrichie et les autres maladies cryptogamiques constituent avant tout un problème pour les jeunes épicéas de l'étage haut-montagnard et subalpin. Dans les dépressions caractérisées par une fonte des neiges tardive et dans les pessières riches en hautes herbes notamment, elles constituent les principaux facteurs de dépérissement des semis et des plantules. Sur ces stations, la présence de suffisamment de bois en décomposition est indispensable pour garantir une régénération naturelle satisfaisante (OTT <i>et al.</i> 1997). À long terme, les surfaces laissées telles quelles offrent davantage de microstations surélevées où la neige fond plus rapidement. Elles sont par conséquent moins menacées par l'herpotrichie.
Sur les versants, les chablis peuvent nuire mécaniquement à la régénération	<i>d) Rajeunissement menacé par les mouvements des troncs</i> Aux endroits raides, les troncs sont mis en mouvement par le processus de tassement et se déplacent en moyenne de un à deux mètres vers le bas en l'espace de dix ans (FREY et THEE 2002). Localement, les chablis sont aussi transportés sur plusieurs mètres par les mouvements de la neige. De ce fait, le rajeunissement situé directement en contrebas des troncs peut être affecté au niveau de la qualité et de la stabilité.

e) Rajeunissement menacé par les mouvements de la neige

La phase du rajeunissement établi est une période critique qui voit diminuer la flexibilité des jeunes tiges au cours de leur développement (FREHNER *et al.* 2005). Sur les versants, les bois à terre peuvent encore contribuer à réduire ou à empêcher, dans une moindre mesure, les mouvements de la neige, même à un stade de décomposition avancé. Les arbres reposant en biais par rapport à la ligne de plus grande pente sont particulièrement efficaces contre le **glissement de la neige**. Si la pente est très forte, ils devraient toutefois être correctement maintenus. Alors que la **reptation de la neige** est problématique à toutes les expositions, le glissement de la neige menace la jeune forêt, en particulier sur les versants raides et très ensoleillés.

Le glissement de la neige est réduit dans les surfaces laissées telles quelles ou évacuées

Les **surfaces renversées**, laissées telles quelles ou évacuées, sont moins menacées. En effet, les bois à terre, les souches et les racines accroissent sensiblement la rugosité du sol (FREY et THEE 2002; NOACK *et al.* 2004), ce qui réduit considérablement le glissement de la neige. À l'étage montagnard, cette protection devrait suffire jusqu'à ce que la nouvelle forêt soit en mesure d'assumer cette fonction. Elle sera néanmoins insuffisante dans les situations difficiles, en particulier à l'étage subalpin.

C-4.2.4 Influence du fait d'évacuer et de laisser les bois sur la reforestation

a) Rajeunissement préétabli

Même si dans certains cas les essences pionnières à croissance rapide dominent la reforestation, le rajeunissement préétabli, composé d'essences définitives joue en général après le passage d'une tempête un rôle clé dans le développement du peuplement suivant (PETERSON 2000; ANGST et REICH 2004). L'avantage de la taille de ces jeunes arbres face à la végétation concurrente qui prolifère rapidement dans une surface renversée peut s'avérer décisif pour la suite du processus de reforestation. Plus le rajeunissement préétabli est grand, plus l'influence des espèces indésirables sera faible sur la densité et la qualité du rajeunissement (NOBIS et BÜRGI 2004). C'est pourquoi la présence massive de rajeunissement préétabli sur les stations potentiellement soumises à une forte concurrence de la végétation représente un atout majeur (SCHÖNENBERGER 2002; WOHLGEMUTH *et al.* 2002). Cette spécificité concerne notamment les hêtraies riches en éléments nutritifs et, en altitude, les pessières à hautes herbes.

Une récolte des bois irrespectueuse nuit au rajeunissement préétabli

Le façonnage des chablis peut nuire considérablement à la qualité et à la vitalité des jeunes arbres déjà implantés et les rendre inutilisables pour la reforestation. L'exécution soigneuse des travaux de récolte permet pourtant de préserver dans une large mesure le rajeunissement présent. Il convient d'accorder une importance accrue aux jeunes tiges plutôt que de tabler sur l'intensité et la rapidité du façonnage (PALMER *et al.* 2000).

Les chablis laissés sur places portent ombrage au rajeunissement préétabli

Lorsque les arbres renversés sont laissés sur place, les couronnes restent souvent vertes durant plusieurs années (NOBIS et WOHLGEMUTH 2004). Les houppiers recouvrent alors une surface considérable. Les jeunes arbres situés dessous souffrent de déformation de la

tige ou dépérissent par manque de lumière. Une évacuation soigneuse des chablis, effectuée à temps, permet de prévenir partiellement ce genre de problèmes.

b) Potentiel d'ensemencement

Dans les grandes surfaces de chablis, la quantité de semences constitue rapidement un facteur limitant pour la reforestation. C'est pourquoi il faut si possible préserver les semenciers restants, même si leur qualité ne correspond pas aux critères d'une production de bois de qualité ou que leur espérance de vie est souvent limitée à quelques années (KOCH et BRANG 2005). Il y a lieu d'observer que la plupart des surfaces de chablis s'agrandissent en l'espace de quelques années après l'événement: les lisières reculent et la distance par rapport aux semenciers s'accroît.

Pour la majorité des essences, la portée permettant d'influencer de manière décisive la composition des essences est inférieure à 100 mètres (voir figure 17). Même le bouleau s'ensemence mal lorsque la distance excède la centaine de mètres (SUCHOCKAS 2002). Comme le montre la figure 17, l'épicéa bénéficie d'une zone d'influence nettement plus grande que la plupart des feuillus. Pour les saules par contre, la distance par rapport aux semenciers ne semble pas être un critère déterminant (STANKIEWITZ 2004).

Lorsque la surface de chablis se situe à portée des semences de bouleau ou d'autres essences pionnières, les conditions permettent souvent l'implantation d'une forêt pionnière plus ou moins dense, notamment après l'évacuation des bois.

Un ensemencement satisfaisant des essences définitives comme l'épicéa et le sapin se limite principalement à une bande mesurant environ 75 mètres de largeur depuis la lisière du peuplement (KENK *et al.* 1991).

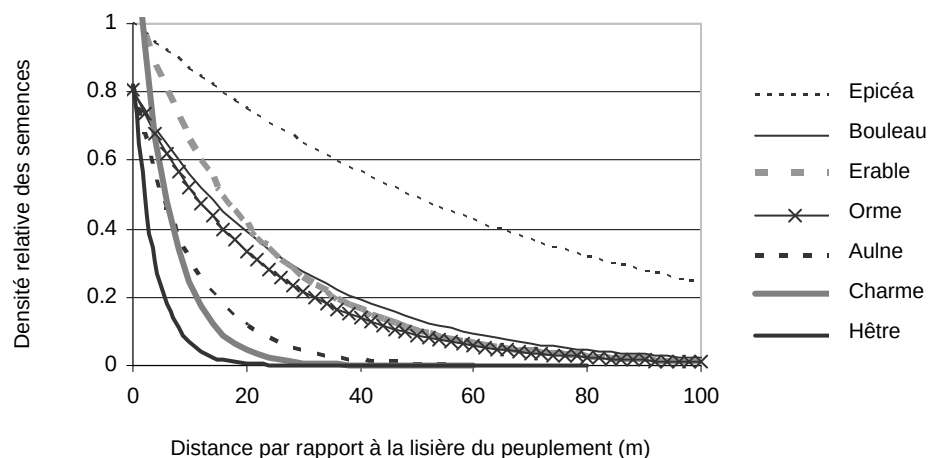


Figure 17: Quantité de semences en fonction de la distance jusqu'à la lisière du peuplement (sources pour les feuillus: (KARLSSON 2002); pour l'épicéa: (LÄSSIG *et al.* 1995).

c) Régénération naturelle et concurrence de la végétation

Contrairement au rajeunissement préétabli qui comprend avant tout les essences définitives du peuplement précédent, le rajeunissement qui s'installe durant les premières années après la tempête est en règle générale déterminé avant tout par des essences pionnières (KOCH et BRANG 2005). Le temps permettant l'implantation d'un rajeunissement réussi est le plus souvent bref dans les surfaces de chablis. Il est limité par l'apparition de la végétation concurrente. Les surfaces endommagées sont souvent recouvertes, en l'espace de deux à trois ans (trois à dix ans en altitude), par un épais tapis végétal composé d'espèces hautement compétitives. Le semis n'a ensuite plus guère de chance de s'installer dans la couverture végétale (PETERSON et PICKETT 1995; WOHLGEMUTH *et al.* 2002; DARBELLAY 2003). C'est pourquoi, lorsque le rajeunissement préétabli est insuffisant, la réussite de l'ensemencement est déterminante au cours de ce bref laps de temps pour définir si la régénération naturelle pourra se réaliser rapidement ou de manière différée.

La végétation concurrente est souvent déjà présente dans le peuplement précédent, du moins par endroits. De concert avec les couronnes à terre qui obscurcissent complètement le sol, elle veille à ce que la régénération s'implante de manière plutôt clairsemée dans les surfaces de chablis laissées telles quelles. En revanche, les surfaces évacuées donnent plus fréquemment naissance à une reforestation régulière, étant donné que les travaux de récolte engendrent de nombreuses blessures du sol et permettent souvent aussi de dégager le rajeunissement préétabli recouvert par les chablis.

**Concurrence de la
végétation à basse
altitude**

Les framboisiers, les fougères aigles et surtout les ronces concurrencent sérieusement la régénération dans les surfaces de chablis du Plateau. Elles sont susceptibles d'influencer considérablement la densité et le mélange des essences du rajeunissement qui s'installe à la suite d'une tempête. Les tapis de framboisiers exercent un effet particulièrement négatif sur les chances de germination et de reprise des essences ligneuses (ANGST et REICH 2004; NOBIS et BÜRGI 2004).

Dans de nombreuses surfaces de chablis causés par «Lothar» sur le Plateau suisse – en majeure partie des stations à hêtraie – la végétation concurrente avait déjà pratiquement recouvert l'étendue entière au cours de la troisième période de végétation après «Lothar». Les ronces, susceptibles de représenter jusqu'à 80% du degré de recouvrement, déterminaient souvent l'aspect des lieux avec les framboisiers ou les fougères aigles. Alors que la végétation pouvait se propager rapidement dès le début dans les surfaces de chablis laissées telles quelles, ce processus a été en général retardé d'une année dans les surfaces évacuées, en raison de la récolte des chablis (ANGST et REICH 2004; NOBIS et BÜRGI 2004; KOCH et BRANG 2005).

**Concurrence de la
végétation en altitude**

À l'étage haut-montagnard et subalpin, les résineux se régénèrent avant tout sur les microstations proéminentes en présence d'importantes colonies de hautes herbes ou de calamagrostides (DARBELLAY et MÉTRAL 2004; KUPFERSCHMID et BUGMANN 2005). À ces emplacements, le microclimat est en général plus sec et la végétation adventice moins développée. Les stations humides et le plus souvent concaves, couvertes de hautes herbes, de fougères, de pétasites ou d'un tapis dense de framboisiers, sont par contre clairement défavorables au rajeunissement. Le sorbier des oiseleurs parvient même à s'ensemencer avec succès sous un couvert ininterrompu de calamagrostides et d'épilobes à feuilles étroites

(DARBELLAY et MÉTRAL 2004). En général, la régénération des feuillus semble être moins dépendante de microstations particulièrement propices que les essences résineuses, même en altitude (MENGIN 2004).

Après le passage d'une tempête, la période favorable à l'établissement du semis se limite souvent aux trois à cinq premières années, alors que le délai peut dépasser cinq à dix ans sur les stations à calamagrostides et à myrtilles (OTT *et al.* 1997; MENGIN 2004).

Concurrence de la végétation dans les Alpes centrales

La reforestation ne pose en général pas de problèmes dans les forêts de mélèzes des Alpes centrales continentales (OTT *et al.* 1997). Ici, la végétation accompagnatrice (avant tout des graminées et des framboisiers) ne prolifère pas trop vite et n'exerce en principe pas une concurrence excessive à l'encontre de l'ensemencement. À haute altitude en Valais, MENGIN (2004) a même dénombré au cours de la cinquième période de végétation après «Lothar», encore suffisamment d'emplacements dépourvus de végétation susceptibles d'accueillir de nombreux mélèzes, épicéas, sorbiers des oiseleurs et autres. Par contre, les stations favorables à la régénération, du moins pour le mélèze, avaient en grande partie disparu dix ans après «Vivian» (DARBELLAY et MÉTRAL 2004). Plus tard, des microstations propices peuvent se former sous le couvert d'arbres pionniers (bouleaux ou mélèzes par exemple), malgré la concurrence exercée par la végétation et permettre l'ensemencement fructueux de l'épicéa et du sapin (MENGIN 2004).

C-4.2.5 Regarnissages dans les surfaces de chablis évacuées et laissées telles quelles

Catalogue d'évaluation du rajeunissement naturel:

- Le nombre et la répartition des jeunes arbres sont-ils suffisants?
- Peut-on encore envisager – en raison des semenciers, des microstations et du développement de la végétation – un ensemencement important au cours des années à venir?
- Une forêt pionnière protectrice est-elle en train de s'établir?
- Le mélange des essences est-il conforme à la station?
- Le mélange des essences permet-il d'atteindre les buts sylvicoles?
- Les semenciers permettent-ils de conclure à une bonne qualité et provenance des essences souhaitées parmi le rajeunissement naturel présent?

Avant de procéder à des regarnissages, il convient d'inspecter en détail la surface de chablis et d'évaluer le potentiel de rajeunissement naturel (voir encadré).

Dans la forêt de détente et la forêt naturelle, un rajeunissement, initialement modeste mais conforme à la station, peut s'avérer suffisant. En forêt productive par contre, il est possible de procéder à un regarnissage pour des raisons économiques – par exemple au moyen d'une plantation avantageuse par groupes à espacement final – notamment dans les grandes surfaces (dépassant 3 ha environ) et lorsque le rajeunissement est insuffisant (GOCKEL *et al.* 2001; KOCH et BRANG 2005).

En forêt protectrice également, une reforestation suffisamment rapide n'est souvent possible qu'avec l'aide de regarnissages. Dans les régions d'altitude, cette manière de faire permet de gagner au moins dix ans par rapport au reboisement naturel (SCHÖNENBERGER 2002).

La régénération artificielle est possible à certaines conditions et à un coût plus élevé dans les surfaces laissées telles quelles également (SCHWITTER 1996). Le chronométrage des travaux de plantation entrepris par l'école de gardes forestiers de Maienfeld dans des surfa-

ces «Vivian» situées en forêt de montagne, a donné les résultats suivants !(R. Schwitter, communication orale):

- Dans les surfaces de chablis laissées telles quelles: 21 plants/heure (nombre de plants mesurés: 4 150).
- Dans les surfaces de chablis évacuées: 31 plants/heure (nombre de plants mesurés: 1 800).

Les regarnissages sont possibles mais coûteux dans les surfaces laissées telles quelles

En forêt protectrice, la plantation entre les troncs à terre permet de profiter au maximum de l'effet protecteur temporaire des bois renversés. Les regarnissages dans les surfaces de chablis laissées telles quelles doivent être effectués le plus vite possible après la tempête. En effet, les déplacements à travers l'entrelacement des bois deviennent de plus en plus difficiles au fur et à mesure de la propagation de la végétation concurrente et les jeunes plants bénéficient ainsi d'un temps d'avance par rapport aux autres végétaux.

C-4.2.6 Soins et gestion des surfaces de chablis évacuées et laissées telles quelles

Rationalisation biologique (SCHÜTZ 1996)

1. *Automation biologique*: confier à la nature tout ce qu'elle est en mesure d'assumer. N'entreprendre des interventions minimales que là où les cycles naturels vont à l'encontre de nos buts.
2. *Principe de concentration*: la production visée et les mesures nécessaires se concentrent sur un nombre minimal d'arbres.

Les soins aux recrûs et aux fourrés représentent le plus souvent des interventions onéreuses qui ne permettent pas de dégager de recettes notables. Il est possible de réduire ces coûts en prévoyant des interventions minimales et en réajustant les objectifs de production.

Les forêts dont les fonctions prioritaires sont la détente, la nature et l'énergie nécessitent le moins de soins, voire aucuns. Même dans les forêts consistant à produire du bois de qualité, il est parfois possible de renoncer totalement aux soins onéreux, sans risques accrus et sans diminutions du revenu. Aux premiers stades de développement, les opérations d'«épuration» ou de «dépressage» peuvent être confiées entièrement à la nature (mortalité naturelle, éclaircie automatique), à condition que le rajeunissement soit suffisamment dense, conformément au comportement de croissance des essences. Si tel est le cas, les peuplements non traités offrent aussi après 20 à 60 ans (voir tableau 19) des candidats de qualité en nombre suffisant et bien répartis qui peuvent ensuite être favorisés (voir WEIHS *et al.* 1999; AMMANN 2005b; AMMANN 2005d; AMMANN 2005c; AMMANN 2005a).

Lorsque les conditions sont favorables, l'automation biologique remplace les soins durant les premières décennies

Les études de Ammann, qui se basent avant tout sur les conditions du Plateau (altitude inférieure à 900 m), montrent qu'il n'est pas exclu de produire du bois de qualité, même dans les surfaces de chablis laissées telles quelles, si le rajeunissement est suffisant. Jusqu'à la première intervention, la végétation concurrente a disparu sous le couvert du perchis et les chablis se sont suffisamment tassés pour rendre la surface à peu près accessible (voir figure 18 et tableau 20). Tant que les chablis des surfaces laissées telles quelles ne sont pas suffisamment décomposés et désintégrés, les déplacements et les travaux sylvicoles s'avèrent très pénibles et dangereux à l'intérieur de la zone.

Les travaux effectués dans l'entrelacement des bois sont pénibles et dangereux

Tableau 19: Première intervention en forêt productive incluant la rationalisation biologique, selon AMMANN (2005b; 2005c).

Essence	Objectif de production	Hauteur dominante lors de la première intervention	Age lors de la première intervention *
Epicéa	- diamètre visé: 60 cm 200 à 250 arbres de place par ha - révolution: env. 100 à 120 ans	15 m	env. 25 ans (indication de l'âge pour un bon indice de fertilité)
Hêtre	- diamètre visé: 60 à 70 cm 100 à 120 arbres de place par ha - révolution: env. 100 à 120 ans	17 à 32 m (indice de fertilité de 20 ou 28)	40 à 60 ans
Erable	- diamètre visé: 60 cm 80 à 100 arbres de place par ha - révolution: 80 à 100 ans	15 m (évt. 20 m)	env. 20 ans (évt. 30 ans)
Frêne	- diamètre visé: 50 à 60 cm 60 à 100 arbres de place par ha - révolution: env. 80 ans	15 m	15 à 20 ans

* Dans les peuplements mixtes, une régulation ponctuelle du mélange peut déjà s'imposer tôt, en fonction du mélange des essences et du but sylvicole (AMMANN 2005a).

Tableau 20: Durée approximative de décomposition des arbres renversés par la tempête. Les facteurs prédominants (température, humidité et activité biologique du sol) déterminent dans une large mesure la vitesse de décomposition du bois. Les feuillus renversés disposant encore d'un contact racinaire important sont susceptibles de survivre durant plusieurs décennies (voir figure 18).

Essence	Durée moyenne de décomposition	Remarques	Sources
Epicéa	55–150 ans	- jusqu'à la désagrégation complète - dans la forêt boréale de résineux, également valable pour la forêt de montagne - bois mort à terre - diamètre supérieur à 25 cm	(Hytteborn et Packham 1987; Storaunet et Rolstad 2002)
Epicéa, sapin, pin, mélèze	> 50 ans	- jusqu'à la désagrégation complète - diamètre plus important - durée de décomposition: sapin < épicea < pin < mélèze	(KORPEL' 1995; YATSKOV <i>et al.</i> 2003)
Hêtre, érable, frêne, tilleul	30 ans	- fortement décomposé grâce au bon contact avec le sol (voir figure 18) - chablis d'un diamètre initial de 40 à 50 cm environ - ne représentant plus de véritables obstacles pour les travaux d'éclaircie	(Korpel' 1995; Rune 2002; Müller-Using et Bartsch 2003)
Chêne	plus longtemps que l'épicéa		(AMMER 1991)



Figure 18: Peuplement de bouleaux, d'érables et de hêtres d'une trentaine d'années, implanté dans une surface de chablis laissée telle quelle, vers Almindingen, sur l'île danoise de Bornholm. Les hêtres à terre (DHP env. 40–50 cm) ont été renversés par le vent en octobre 1967, à l'âge de 89 ans. Dans les parties planes (à gauche), la plupart des troncs sont largement décomposés, alors dans la pente (à droite) de nombreux hêtres à terre sont encore en vie (Photo: F. Rune, Danish Forest and Landscape Research Institute, octobre 1999).

C-4.2.7 Rajeunissement sur bois en décomposition

a) Station indispensable à la régénération de nombreuses pessières

Dans les forêts de résineux de l'étage haut-montagnard et subalpin, le bois en décomposition s'avère utile en raison de la forte concurrence de la végétation, voire souvent même indispensable au succès de la régénération naturelle des forêts (OTT *et al.* 1997; voir tableau 21). L'épicéa est le principal bénéficiaire de ce substrat germinatif. Occasionnellement, on rencontre aussi d'autres essences comme le sapin, le mélèze, le sorbier des oiseleurs, le bouleau, etc.

Avantages microstationnels du bois en décomposition (MAI 1997):

- Régime hydrique équilibré, c'est-à-dire pas d'humidité excessive et dessèchement très ralenti.
- Conditions thermiques équilibrées et températures plus élevées par rapport aux environs, sans risque de surchauffe.
- Meilleures conditions lumineuses grâce à la situation surélevée par rapport à la végétation concurrente.
- Danger réduit de recouvrement par la végétation concurrente.
- Période de végétation prolongée grâce à la fonte des neiges relativement précoce.
- Protection contre les mouvements de la neige.
- Moins de champignons nuisibles (p. ex. herporichie noire).

Au cours des premières années déjà, des semis font leur apparition dans les fissures et les tapis de mousses caractérisant le bois mort. Des pertes pouvant atteindre 80% des effectifs durant la première décennie viennent cependant ternir ce succès initial (HILLGARTER 1971; MARTIN 2003). Un tronc de 25 cm d'épaisseur doit reposer sur le sol depuis au moins 15 à 30 ans pour qu'un rajeunissement puisse le coloniser et y survivre à long terme (MAI 1998; MARTIN 2003). Outre l'essence, la vitesse de décomposition du bois est déterminée avant tout par le contact direct avec le sol et l'humidité du terrain. Le processus allant de la chute de l'arbre jusqu'à la désagrégation complète du bois en décomposition dure entre 70 et 150 ans dans les forêts résineuses de montagne (BROWN *et al.* 1998; STORAUNET et ROLSTAD 2002).

En Europe centrale, l'épicéa fructifie correctement environ tous les 3 à 5 ans. Ce laps de temps augmente avec l'altitude, en raison de la baisse des températures (SCHMIDT-VOGT 1991). C'est pourquoi la lente décomposition du bois mort et, de ce fait, les microstations favorables à l'ensemencement durant une longue période constituent un avantage certain en forêt de montagne (OTT *et al.* 1997).

b) Importance du bois en décomposition dans les surfaces de chablis

L'évacuation des chablis dans les pessières montagnardes et subalpines prive la surface d'un substrat de régénération susceptible d'être important plus tard. Il est possible de contrer cet inconvénient en procédant à une évacuation partielle. L'importance future qu'aura le rajeunissement sur bois en décomposition dans les surfaces endommagées s'avère cependant difficile à évaluer, faute d'expériences. Au cours de la phase du rajeunissement établi, la lumière directe du soleil agit certes positivement sur la croissance des arbres, mais le succès de la germination a tendance à diminuer lorsque l'ensoleillement quotidien augmente (FREHNER 2002). Cela tient essentiellement au fait que le bois en décomposition exposé au soleil se dessèche assez vite. Ensuite, l'importance des chablis en tant que substrat de germination se limite avant tout aux dégâts épars ou aux petites surfaces renversées, ainsi qu'aux zones de mégaphorbiaies. En ces lieux, l'ombrage est plus accentué que dans les surfaces découvertes faiblement colonisées.

Tableau 21: Types de stations forestières dans lesquels le bois en décomposition s'avère important pour le rajeunissement de l'épicéa (voir FREHNER *et al.* 2005).

Types de stations forestières		Importance du bois en décomposition
Hêtraies de l'étage montagnard inférieur		insignifiante
Forêts de l'étage haut-montagnard et subalpin dominées par l'épicéa:		indispensable
57V	Pessière à Homogyne typique	
57C	Pessière à Homogyne avec Calamagrostide velue	
57S	Pessière à Homogyne avec Sphaignes	
60	Pessière à hautes herbes typique	
60A	Pessière à hautes herbes avec Athyrium alpestre	
60E	Pessière à hautes herbes avec Prêle	
47*	Sapinière à Mélèze avec Rhododendron	
46	Pessière-Sapinière à Myrtille typique	
46M	Pessière-Sapinière à Myrtille, var. sur podzol	
46*	Pessière-Sapinière à Myrtille avec Sphaignes	
49	Pessière-Sapinière à Prêle typique	
49*	Pessière-Sapinière à Prêle avec Laiche ferrugineuse	
50	Pessière-Sapinière à Adénostyle typique	
50P	Pessière-Sapinière à Pétasite	
48	Pessière-Sapinière à Asplénium sur gros blocs	
56	Pessière à Sphaignes typique	
57BI	Pessière à Homogyne typique, var. à gros blocs	
Tous les autres types de stations avec épicéa ou sapin		utile

C-4.2.8 Nettoyement modéré du parterre de coupe

Après le façonnage des chablis, il est souvent possible de renoncer sans problème au nettoyage du parterre de coupe (c'est-à-dire à la mise en tas des restes de troncs, de branches et d'écorces de la récolte des bois) pour des raisons de protection des forêts (FORSTER *et al.* 1998). Le cas échéant, un nettoyage modéré du parterre de coupe s'avère opportun en raison de la sécurité au travail, des travaux futurs de plantation et d'entretien ou pour des motifs phytosanitaires. Si le parterre de coupe est nettoyé en vue de la création du peuplement, il est possible de limiter les travaux aux endroits favorables à la plantation.

Lorsque la récolte des bois laisse derrière elle des couronnes entières, la coupe de quelques rameaux permet de préserver la valeur du rajeunissement situé au-dessous (PICHERY et BRUCIAMACCHIE 2002).

Pour des raisons de protection du sol, le nettoyage complet du parterre de coupe s'avère problématique si les branches sont rassemblées à l'aide d'une machine qui parcourt intensivement la surface (voir C-4.3).

C-4.3 Conserver la fertilité du sol

C-4.3.1 La protection du sol n'est pas un luxe

Le droit fédéral stipule que le sol ne doit pas être altéré durablement par des atteintes physiques. Il délègue aux cantons la responsabilité de la mise en œuvre de la protection physique des sols forestiers (art. 33, al. 1, LPE et art. 28, let. d, OFo). Dans le Programme forestier suisse, la protection des sols forestiers constitue l'un des cinq objectifs prioritaires d'importance nationale à besoin d'intervention élevé (DIRECTION DU PROJET PFS, BHP-BRUGGER & PARTNER 2004).

La protection du sol a également pris de l'importance en raison des progrès techniques réalisés récemment au niveau des machines de récolte du bois. Cette tendance s'est clairement affirmée après «Lothar». Les travaux de façonnage des chablis, effectués en grande partie à l'aide de machines, ont malheureusement souvent malmené de nombreux sols sensibles à la compaction (WSL et OFEFP 2001; SCHENK 2003; SCHÄFFER et VON WILPERT 2004).

Le sol constitue le support de production et par conséquent aussi le capital de base de l'économie forestière. La gestion durable n'est possible que si la fertilité du sol est conservée. Une fois compacté, le sol ne peut plus être ramené à l'état initial, même à grand renfort de mesures onéreuses (MORTIER 2001).

C-4.3.2 Propriétés des sols sensibles à la compaction

Une grande partie des sols forestiers suisses sont sensibles à la compaction.

Le degré de sensibilité est essentiellement déterminé par l'humidité, la granulométrie et l'état de compaction du sol:

Humidité du sol

L'eau contenue dans le sol influence la cohésion entre les particules. La règle suivante est en principe valable: plus un sol est sec, plus les forces maintenant les particules seront grandes. Les sols secs sont par conséquent souvent moins sensibles à la compaction que les terrains humides (LÜSCHER 2005).

Granulométrie / texture

La granulométrie du sol détermine le nombre de points de contact entre les particules et, de ce fait, la stabilité face à une charge mécanique (LÜSCHER 2005).

Tableau 22: Sensibilité à la compaction, à l'état humide, en fonction de la structure et de la texture du sol.

Sensibilité à la compaction	Granulométrie/texteure
faible	substrats purs, p. ex. sable pur; pierrosité > 50%
élevée	substrats mélangés, notamment sols sableux et limoneux; pierrosité < 50%; teneur en argile: 8–45% ¹⁶

Compaction préalable

Les sols déjà compactés sont moins déformables. Cette particularité provient du fait que la déformation la plus importante se produit toujours au cours du premier passage (LÜSCHER 2005).

¹⁶ Valeurs indicatrices du BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2005).

C-4.3.3 Conséquences de la compaction du sol

Le premier passage peut avoir le plus de conséquences

Si les conditions sont défavorables ou que le sol est sensible, le premier passage occasionne déjà 80% de la compaction possible (GODEFROID et KOEDAM 2004). Les dégâts ne se limitent pas à la couche supérieure du sol. Le poids élevé des engins et les pointes dynamiques de charge dues à l'utilisation des machines compactent également le sol en profondeur (LÜSCHER 2005). Des dégâts de compaction et une perturbation des conditions d'infiltration sont à craindre même sous de légères ornières (ZÜRRER 2005).

a) Effets sur les propriétés du sol

- Réduction du volume poreux et de la continuité des pores (LÜSCHER 2005).
- Diminution de la capacité de transport et de stockage du sol en ce qui concerne l'eau et l'air (LÜSCHER 2005).
- Manque d'oxygène et engorgement (HILDEBRAND *et al.* 2000; WALTHERT *et al.* 2004).

b) Effets sur la faune du sol, le peuplement forestier et la végétation au sol

L'utilisation irréfléchie de machines compacte le sol et compromet sa fertilité

- Diminution de l'activité biologique (p. ex. réduction du nombre de lombrics forant le sol horizontalement et verticalement (FLÜCKIGER et BRAUN 2005).
- Dégâts mécaniques aux racines dus à la circulation des engins.
- Enracinement limité, voire impossible dans l'ensemble de l'espace racinaire. Les sols compactés présentent moins de radicelles (HILDEBRAND *et al.* 2000; WALTHERT *et al.* 2004).
- Réduction de la croissance des racines et des plantes (ENTRY *et al.* 2002). On observe rarement une diminution du développement des parties aériennes. L'affaiblissement de la croissance des racines se manifeste cependant souvent après coup par une stabilité déficiente, c'est-à-dire une sensibilité accrue aux tempêtes.
- Les plantes produisent fréquemment de plus petites feuilles, ce qui réduit la photosynthèse (GODEFROID et KOEDAM 2004).
- Augmentation des indicateurs de compaction et d'engorgement parmi la végétation spontanée, comme les joncs, les laiches à épis pendants et diverses espèces rudérales.

C-4.3.4 Recommandations afin d'éviter la compaction du sol

Ne pas circuler sur des sols humides	• Précaution particulière sur les sols extrêmement sensibles. • Les sols sont presque tous sensibles à la compaction lorsqu'ils sont humides. Les sols sont particulièrement exposés à ce danger en hiver, à base altitude (jusqu'à 900 m environ) parce que l'humidité du sol reste souvent élevée en permanence (absence de transpiration) et que le terrain gèle rarement.
Limiter la circulation des engins sur les layons	• Limiter les dégâts aux layons de débardage tout en veillant à contenir au mieux les atteintes au sol. Les layons de débardage doivent rester une partie de la surface de production et ne pas être compactés en «routes forestières non officielles». • Eviter absolument de circuler sur toute la surface, étant donné que la déformation majeure intervient toujours au cours du premier passage (LÜSCHER 2005). • Délimiter clairement les layons; choisir si possible un espacement de 20 mètres si la desserte fine n'est pas encore aménagée (PALMER <i>et al.</i> 2000). Les méthodes combinées – utilisation de la récolteuse dans le champ d'action de la grue et séparation de la souche à la tronçonneuse, assistée du tracteur (treuil) – permettent d'observer une distance de 40 mètres entre les layons (FVA FREIBURG 2000).
Régler la protection du sol par contrat	• Inclure explicitement les mesures de protection du sol dans les contrats passés avec les entrepreneurs afin de les rendre obligatoires (FVA FREIBURG 2000).

Un surcroît de dépenses pour le façonnage ou une moins-value pour les assortiments issus d'exploitations forcées s'avère justifié afin de préserver le sol (FVA FREIBURG 2000).

L'Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête (chapitre 2.5.3) fournit des recommandations et des aides à la décision circonstanciées pour la mise en œuvre pratique de la protection du sol lors de l'évacuation des chablis.

C-4.3.5 Processus naturels de compaction du sol à la suite de chablis

À la suite de chablis, les processus de lessivage des particules fines dans le système de cavités du sol parcouru par les racines rendent le terrain boueux (avant tout sols bruns lessivés). Plus le sol est évolué, plus les pores fins des zones à structure instable – par exemple en cas de blessures à la surface du sol ou aux emplacements dépourvus d'une couverture végétale intégrale – risquent de se boucher et par conséquent de perturber la perméabilité. Lorsqu'en plus la transpiration fait défaut par manque d'enracinement ou durant la période de repos de la végétation, l'aération du sol est fortement réduite en fonction des conditions météorologiques. Lors de la récolte des bois, il faut tenir compte ou ne pas sous-estimer, au cours de ces phases, la teneur en eau accrue, notamment dans le sous-sol (P. Lüscher, communication écrite).

C-4.4 Gérer l'influence des ongulés sauvages

C-4.4.1 Importance des chablis pour le milieu

Les chablis contribuent souvent à l'enrichissement du milieu

En ce qui concerne la biologie du gibier, le «dérangement» de la structure forestière occasionné par la tempête constitue souvent une revalorisation du milieu. La tempête provoque une précieuse ouverture du couvert dense des forêts régulières exposées aux chablis, où le manque de lumière exclut pratiquement tout développement de la strate herbacée. La lumière et la chaleur transforment le sol forestier, nu jusqu'ici, en un tapis dense et vert de plantes pionnières, puis pérennes. Il en résulte un apport de nourriture attirante et variée qui profite surtout aux trois espèces d'ongulés sauvages: chevreuil, cerf et chamois, ainsi qu'au lièvre et à de nombreuses espèces animales héliophiles et thermophiles, en particulier les oiseaux et les insectes.

L'importance d'une surface de chablis dans l'enrichissement du milieu dépend fortement de sa grandeur ainsi que du degré actuel de structuration du paysage et des forêts au niveau régional. La juxtaposition de peuplements forestiers, de buissons, de «surfaces perturbées», de champs cultivés et de pâturages convient particulièrement aux besoins de gagnage et de protection des ongulés sauvages.

C-4.4.2 Réaction des populations d'ongulés sauvages dans les grandes surfaces de chablis

Les observations et études relatives aux effets des grandes surfaces de chablis sur les ongulés sauvages n'aboutissent pas aux mêmes résultats. Les exemples concrets présentés ci-après montrent que, mis à part les retombées d'une tempête, différents facteurs spécifiques au lieu, mais difficiles à recenser, semblent déterminer considérablement la réaction des ongulés. C'est pourquoi les déductions faites dans un certain périmètre d'étude ne sont pas transposables directement aux autres régions.

a) Effets directs d'une tempête extrême sur les populations d'ongulés sauvages

On a admis à diverses reprises que de nombreux animaux étaient écrasés par les arbres renversés par la tempête et, par conséquent, que les populations régressaient temporairement. De plus, on supposait que le stress dû à la tempête engendrait au printemps suivant une augmentation du nombre des fausses couches (DROUINEAU *et al.* 2000). En fait, l'ouragan «Andrew» de 1992 a provoqué en Floride des pertes considérables au niveau des naissances chez le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus seminolus*), une espèce comparable à notre chevreuil. Les femelles portantes au moment de la tempête extrême ont donné naissance à un nombre de jeunes 67% inférieur aux autres années (LABISKY *et al.* 1999). Par contre, on n'a pas constaté d'animaux écrasés par la chute d'arbres.

En Suisse également, on a trouvé un seul chevreuil tué sous les chablis renversés par «Lothar». La France, le pays le plus touché avec 140 millions de mètres cubes renversés, n'a enregistré aucun cas de ce genre.

Contrairement aux observations américaines, l'ouragan «Lothar» n'est vraisemblablement pas stressé le chevreuil au point d'accroître le nombre des fausses couches. GAILLARD *et al.* (2003) n'ont en tout cas pas constaté de changements au sein de deux populations locales de grandeur connue, pour lesquelles on aurait pu imaginer une chute des naissances après «Lothar». Cette situation peut provenir du fait que l'embryon n'est encore guère développé au mois de décembre. Divers auteurs pensent au contraire que l'accroissement des possibilités de gagnage après les tempêtes, ainsi que les conditions de chasse rendues difficiles ont plutôt favorisé l'expansion des populations locales de chevreuils (DROUINEAU *et al.* 2000; GAILLARD *et al.* 2003; RÜEGG 2003a).

b) Modification à long terme des populations de gibier

Chevreuil: l'importance des changements au niveau des possibilités de gagnage et par conséquent du comportement de l'espèce dépend dans une large mesure de la situation qui prévalait avant la tempête. Si les ronces, par exemple, qui constituent souvent la nourriture principale du chevreuil, étaient déjà abondantes dans le peuplement précédent, l'amélioration des possibilités de gagnage après la tempête ne devrait pas avoir d'influence significative sur le taux de reproduction du chevreuil (MOSER *et al.* 2004). Il n'existe pas d'études scientifiques approfondies des populations à ce sujet.

Une étude française a montré que les territoires de six chevreuils suivis par télémétrie se sont réduits de plus de moitié après «Lothar» (WIDMER *et al.* 2004). L'augmentation à court terme de la qualité de l'habitat revient probablement pour une bonne part à la grande quantité de lierre soudainement accessible. Au cours de la première année après la tempête, les animaux se sont principalement tenus dans le secteur des surfaces de chablis. Une étude semblable, menée en Floride sur le cerf de Virginie, n'a par contre pas permis d'observer de changements au niveau de la grandeur des territoires suite aux tempêtes (LABISKY *et al.* 1999).

Dans la chasse gardée «Grabs-West» (SG), les tirs et le nombre de chevreuils estimé par an ont considérablement augmenté au cours de la décennie consécutive aux importants chablis causés par l'ouragan «Vivian» en 1990 (RÜEGG 2003a). Des expériences similaires ont également été enregistrées dans d'autres chasses gardées de la vallée du Rhin saint-galloise touchées par «Vivian» et «Lothar» ainsi que par la tempête de fœhn dévastatrice de 1982. Les enseignements de la vallée du Rhin montrent que le point culminant est atteint environ dix à quinze ans après. Ensuite, le nombre d'animaux estimé et les tirs ont de nouveau régressé.

Chamois: une analyse rétrospective de l'évolution des populations de chamois dans le district franc de Kärpf (GL) n'a pas permis d'établir de lien avec les dégâts causés par «Vivian» en 1990 (RÜEGG 2003b).

Cerf: le rayon d'action d'une population de cerfs est trop grand pour être sensiblement influencé par les dégâts dus à une tempête.

C-4.4.3 Utilisation des surfaces de chablis et des forêts avoisinantes par les ongulés sauvages

a) *Gagnage dans les surfaces de chablis évacuées et laissées telles quelles*

Dans une zone forestière argovienne fortement marquée par des chablis, BÜHLER (2002) a recensé les tas de fèces de chevreuil en forêt et dans les surfaces de chablis évacuées. En prenant la fréquence des excréments comme mesure de la durée de séjour du chevreuil, il a constaté que le cervidé s'est tenu presque aussi souvent dans les deux types d'habitats au cours du troisième été après «Lothar».

La qualité des alentours influence l'utilisation des surfaces laissées telles quelles et évacuées

Une étude menée dans deux régions forestières du Plateau a montré que le chevreuil avait utilisé de façon presque équivalente le peuplement et la surface de chablis évacuée pour se nourrir (MOSER *et al.* 2004). Les surfaces laissées telles quelles présentaient toutefois nettement moins de traces de gagnage, bien que quantité de nourriture disponible soit presque aussi importante que dans les zones évacuées et dans le peuplement avoisinant.

La préférence pour les surfaces de chablis évacuées correspond également aux résultats d'une recherche effectuée huit ans après «Vivian» dans la placette d'essai d'altitude du WSL, située au-dessus de Schwanden (GL) (LÜTHI 1998). L'observation a porté sur des traces de fèces et d'abrouissement dues au chevreuil, au chamois et au cerf. L'utilisation préférentielle des surfaces évacuées s'explique ici par les meilleures possibilités de gagnage ainsi que par un accès facilité.

Dans l'enchevêtrement des chablis, on rencontre souvent des passages de gibier très fréquentés qui indiquent une certaine canalisation du mouvement des animaux (LÜTHI 1998). Les sentes sont souvent plus fréquentes dans les surfaces de chablis évacuées. Des trois espèces d'ongulés sauvages, c'est probablement le cerf qui profite le plus des surfaces de chablis laissées telles quelles.

b) *Couvert dans les surfaces de chablis évacuées et laissées telles quelles*

Peu après «Lothar», des cycles d'observation standardisés ont permis de repérer, dans le canton d'Argovie, davantage de **chevreuils** en forêt que dans les surfaces de chablis voisines évacuées. ZINGGELER *et al.* (2002) supposent par conséquent que le chevreuil séjourne plutôt dans la forêt environnante et qu'il n'utilisera pleinement les surfaces de chablis que lorsque celles-ci lui offriront un couvert suffisant. À de nombreux endroits du Plateau, les surfaces de chablis étaient cependant déjà tellement recolonisées par la végétation en l'espace de deux ans qu'elles pouvaient satisfaire pleinement au besoin de couvert du chevreuil.

Plus les possibilités de couvert d'une région sont rares, plus le gibier cherchera protection dans les surfaces de chablis en voie de recolonisation. Les zones laissées telles quelles offrent sans aucun doute le meilleur couvert. Cependant, ces différences diminuent souvent déjà fortement au cours des premières années en raison de la recolonisation rapide des surfaces évacuées, à basse altitude notamment. La visibilité à 20 mètres – dans une surface de chablis laissée telle quelle, dans une surface évacuée ainsi que dans un vieux peuplement riche en sous-bois d'une hêtraie argovienne – était déjà à peu près la même au cours de la troisième période de végétation. La surface de chablis laissée telle quelle offrait cependant

le meilleur couvert dans le cas d'une courte distance de visibilité de 5 mètres (BÜHLER 2002).

Plus les dérangements sont fréquents, plus le couvert des surfaces de chablis laissées telles quelles s'avère important

Dans les premiers temps après une tempête un conflit d'utilisation entre l'homme et les ongulés sauvages est possible dans les forêts de récréation. Tant qu'une grande partie des peuplements renversés n'est pas évacuée, les promeneurs, les cyclistes, les coureurs d'orientation, les cavaliers, etc. se concentrent dans les régions épargnées par la tempête. De ce fait, l'intensité du dérangement augmente, du moins temporairement, dans les zones forestières ménagées par les tempêtes, ce qui entrave encore davantage la liberté de mouvement du gibier (SCHENK 2003). Lorsqu'une surface de chablis non évacuée se situe dans une forêt fortement fréquentée, le gibier a tendance à séjourner dans l'enchevêtrement des chablis afin de se protéger. Il est effectivement peu probable que des gens s'aventurent volontairement en ces lieux.

Des trois espèces d'ongulés sauvages, c'est le **cerf** qui évite le plus farouchement la rencontre avec l'homme. Il dépend par conséquent dans une large mesure du couvert. Lorsque la surface de chablis laissée telle quelle offre une cachette suffisante dans une zone sinon plutôt pauvre en couvert, le cerf ne se laisse guère impressionné par l'enchevêtrement de chablis pour trouver la protection et la tranquillité requises à l'intérieur d'une surface de chablis laissée telle quelle.

c) Conclusion

Il ne semble pas exister de règle élémentaire quant à l'utilisation privilégiée d'un de ces trois habitats: peuplement, surface de chablis laissée telle quelle ou évacuée. La préférence pour un certain type d'habitat est vraisemblablement influencée par la combinaison des facteurs suivants:

- intensité d'utilisation de la forêt par les amateurs d'activités de loisirs,
- différences de possibilités de couvert entre les habitats,
- différences de possibilités de gainage entre les habitats,
- espèce d'ongulé sauvage,
- volumes de chablis,
- possibilités de gainage saisonnières,
- couverture neigeuse,
- expériences et effets d'apprentissage des animaux sur place.

C-4.4.4 Les chablis laissés sur place peuvent-ils protéger les jeunes arbres contre l'abroustissement?

Dans l'enchevêtrement des bois, l'abroustissement ne concerne en général pas la surface entière

Lorsque le rajeunissement naturel est abondant, la reforestation à l'aide d'essences conformes à la station est rarement problématique, même si l'abroustissement dû au gibier est élevé. Dans l'ensemble, il n'est en général pas possible d'établir un lien entre les différents taux d'abroustissement et le degré d'évacuation des chablis d'une surface. En fait, on trouve souvent localement de plus grandes différences d'intensité d'abroustissement dans les surfaces laissées telles quelles. Lorsque les possibilités de gainage sont comparables, il est envisageable de réduire l'abroustissement dans de petits secteurs, à condition que ces lieux soient plus difficilement accessibles que le reste de la surface. Presque chaque surface de

chablis laissée telle quelle dispose par conséquent d'emplacements où les jeunes arbres peuvent croître à l'abri du risque d'abroutissement (JEHL 1995; MENGIN 2004).

L'effet de barrage des chablis n'a guère d'influence sur le **chevreuil**. Cependant, quelques surfaces dévastées ont permis d'établir que cette espèce n'utilise pas complètement la zone laissée telle quelle (ANGST et REICH 2004). L'abroutissement se concentre plutôt dans les parties plus faciles d'accès. Le chevreuil semble éviter notamment les branches entrelacées des couronnes de feuillus à terre. En France, dans une zone de forêts de feuillus fortement abrutie, PICHÉRY et BRUCIAMACCHIE (2002) ont comparé deux secteurs d'une surface «Lothar» évacués à des degrés divers. Une surface d'environ 10 x 10 mètres était recouverte d'un tapis assez dense de cimes fractionnées, alors qu'aux alentours il ne restait presque plus de bois à terre. Les jeunes érables de la zone avoisinante ont été entièrement abrutis en l'espace d'une année environ, alors que les tiges qui se sont développées dans la surface non dégagée ont toutes été épargnées par le chevreuil. Il est possible que cette expérience se vérifie à d'autres endroits également.

En Allemagne, une jeune forêt composée de chênes, de merisiers et d'autres essences sensibles à l'abroutissement, a pu se développer pratiquement sans dégâts dans une surface laissée telle quelle depuis les tempêtes «Vivian» et «Wiebke» de 1990, alors que le **cerf** a fortement abruti les jeunes arbres croissant aux alentours (EBERT 2000). Selon les constatations faites au chapitre C-4.4.3b (p. 101), il est permis de douter de la valeur universelle de ces observations. De plus, il existe un manque évident d'expériences à ce sujet.

Les bois à terre ne semblent guère protéger la jeune forêt contre le **chamois**. Telle est la conclusion à laquelle sont parvenus KUPFERSCHMID et BUGMANN (2005) dans le cadre de leurs travaux de recherche dans la surface de bois mort du Gandberg (voir figure 10, p. 49).

C-4.4.5 Laisser ou évacuer les chablis dans l'optique des chasseurs

Les surfaces laissées telles quelles entravent la chasse (SCHENK 2003). Elles offrent au gibier une protection efficace contre les chasseurs. Il est pratiquement impossible de traquer le gibier à travers les zones laissées en l'état. Plus l'étendue des chablis est grande, plus il est difficile de chasser un animal hors de la surface. La chasse concentrée constitue la mesure la plus appropriée aux surfaces de chablis. Comme la visibilité y est limitée, même depuis des miradors, il convient d'aménager et d'entretenir des clairières ou des couloirs de tir aux endroits stratégiquement favorables.

Les différences entre les surfaces de chablis évacuées et laissées telles quelles sont avant tout perceptibles au cours des premières années. Plus tard, au stade du fourré, la chasse s'avère en général très ardue dans les surfaces de chablis dépourvues de clairières.

Les espèces de ronces croissant en hauteur ou la fougère aigle posent un problème particulier pour la chasse en offrant une cachette optimale au chevreuil. Sous le couvert de cette végétation, le chevreuil peut même pénétrer dans les surfaces de chablis évacuées pauvres en rajeunissement et se déplacer pratiquement sans obstacles en étant invisible de l'extérieur.

C-5 Environnement

C-5.1 Favoriser la conservation et la diversité des espèces, l'évolution naturelle

C-5.1.1 Conserver les espèces en évitant les dérangements

Le grand tétras – exemple phare des espèces animales sauvages sensibles au dérangement

La population de grands téttras est très menacée à de nombreux endroits. En plus des changements naturels du milieu, le réseau de desserte forestière, de plus en plus dense au nord des Préalpes et dans le Jura, a contribué à la forte régression de l'espèce (MOLLET *et al.* 2003).

Période de protection:

Pour le grand tétras, la période particulièrement sensible de la parade, de la couvaison et de l'élevage s'étend de février à fin juillet.

La surface de chablis se situe-t-elle dans une zone colonisée par le grand tétras?

En cas de doute, les instances suivantes peuvent fournir des renseignements utiles:

- Station ornithologique suisse, 6204 Sempach, tél. 041 462 97 00
- Garde-faune, service cantonal de la chasse ou de la protection de la nature, service cantonal des forêts

Bibliographie:

MOLLET, P.; MARTI, C. 2001: *Grand Tétras et gestion de la forêt*. L'environnement pratique. OFEFP, Berne. 21 p.

Il existe des espèces sensibles au dérangement dans pratiquement chaque forêt. Pour de nombreuses espèces animales, la forêt constitue le dernier habitat encore quelque peu préservé de l'influence humaine, pour autant qu'il ne s'agisse pas d'une forêt à vocation récréative particulière. Les travaux forestiers comme le façonnage des chablis, génèrent au moins un dérangement momentané du milieu concerné. En réaction à cette atteinte, les espèces sensibles au dérangement se concentrent dans les zones plus calmes, puis retournent éventuellement plus tard à leur endroit habituel. La perturbation – causée par des interventions forestières temporaires se déroulant pendant une période particulièrement sensible pour certaines espèces animales – peut aussi entraîner la régression d'une espèce.

a) Espèces particulièrement sensibles au dérangement

- Tétraronidés (grand tétras, tétras-lyre, gélinotte des bois)
- Bécasse des bois
- Martre des pins
- Castor
- ...

b) Possibilités de ménager les espèces sensibles au dérangement

Respecter les périodes de protection

Renoncer aux interventions forestières durant les périodes de protection, c'est-à-dire pendant la période de repos hivernal, de parade, de mise bas, de couvaison et d'élevage.

Eviter les nouvelles dessertes

Renoncer à la construction ou à l'extension des chemins. Si le réseau de desserte mérite d'être complété, des mesures adaptées (fermeture, information, etc.) permettent d'empêcher un dérangement supplémentaire dû aux activités de récréation. Les nouvelles dessertes ou leur extension rendent les zones forestières plus facilement accessibles aux autres utilisateurs également et portent par conséquent préjudice aux espèces animales extrêmement sensibles. De tels effets sont particulièrement lourds de conséquences dans les zones et les secteurs forestiers qui étaient isolés jusqu'ici.

**Favoriser les lieux
de retraite**

Laisser telles quelles les surfaces de chablis d'une importance stratégique. Etant peu fréquentés par l'homme, ces lieux peuvent offrir un oasis de tranquillité durant une longue période.

C-5.1.2 Importance des surfaces de chablis pour la diversité des espèces

**Les surfaces de chablis
laissées telles quelles et
évacuées contribuent à
l'accroissement de la
diversité des espèces**

Les surfaces de chablis sont en général plus riches en espèces que les forêts fermées, indépendamment du degré d'évacuation. Après la chute des arbres, le sol reçoit subitement davantage de lumière et de chaleur. C'est pourquoi le nombre d'espèces et d'individus parmi la flore et la faune s'accroît temporairement au cours des années suivantes. Durant cette première phase, les surfaces de chablis laissées telles quelles offrent des habitats plus riches que les zones évacuées.

La juxtaposition étroite de surfaces de chablis laissées telles quelles et de zones évacuées permet d'atteindre une biodiversité maximale.

Importance pour la flore

Avec la disparition du vieux peuplement, la flore héliophile gagne du terrain sur les espèces forestières qui reculent et se cantonnent dans les surfaces de chablis laissées telles quelles. La richesse floristique atteint, à basse altitude, son apogée deux à quatre ans après la tempête. Une couverture végétale importante et une dominance marquée des espèces fortement concurrentielles comme la ronce, le framboisier ou la fougère aigle entraînent une diminution du nombre d'espèces végétales. De nombreuses espèces rudérales et indicatrices de lumière colonisent temporairement les surfaces évacuées en se propageant depuis les terrains découverts environnants. C'est pourquoi les zones évacuées sont en général plus riches en espèces végétales. Au niveau de la conservation des espèces en forêt, la diversité spécifique accrue des surfaces évacuées n'a souvent pas de valeur particulière, étant donné que les espèces forestières rares ne sont guère favorisées (KOMPA 2004; NOBIS et WOHLGEMUTH 2004). La diversité des espèces forestières ou autres devient maximale lorsque des surfaces évacuées et laissées telles quelles se juxtaposent.

**Importance
pour les insectes**

Au cours des premières années suivant «Vivian» et «Lothar», les surfaces de chablis ont hébergé 1,5 à 3 fois plus d'insectes qu'à l'intérieur des forêts. Cette diversité s'est même encore accrue dans les surfaces «Vivian» au cours des dix ans de l'étude. En forêt de montagne comme sur le Plateau, les surfaces de chablis évacuées ne diffèrent pas sensiblement des zones laissées telles quelles en ce qui concerne le nombre d'espèces d'insectes. Les espèces vivant dans le bois mort (saproxyliques) sont très présentes dans les surfaces laissées telles quelles, alors que les parties évacuées abritent avant tout des insectes thermophiles et butineurs. La juxtaposition étroite de surfaces laissées telles quelles et de zones évacuées permet par conséquent d'atteindre une diversité d'espèces maximale (DUELLI *et al.* 2002; WERMELINGER *et al.* 2002a; WERMELINGER et DUELLI 2004).

**Importance
pour les oiseaux**

Des observations effectuées durant dix ans dans des surfaces de chablis du canton de Schwytz ont montré que maintes espèces avicoles comme le troglodyte mignon, l'accenteur mouchet, le rouge-gorge familier, le pouillot véloce et la mésange boréale, sont déjà nettement plus fréquentes lors de la première saison de nidification qu'avant le sinistre. De nombreux oiseaux profitent des structures grossières, de la richesse du bois mort, du milieu

ouvert et des arbres encore sur pied comme place de chant. Le caractère de l'habitat des surfaces de chablis laissées telles quelles correspond également aux attentes des espèces forestières rares comme le grand tétras et la bécasse des bois. Ces surfaces s'avèrent aussi attractives pour la gélinotte des bois dont la population a nettement augmenté, après «Vivian» dans la zone endommagée par la tempête, près de Schwanden (GL). Plus la reforestation se déroule lentement, plus les troncs laissés sur place seront susceptibles de jouer un rôle important dans la protection et la reproduction des oiseaux et des autres espèces animales. Le couvert créé par les arbres à terre offre à la gélinotte des bois, par exemple, une place de gagnage hivernal. Les différences entre les surfaces laissées telles quelles et évacuées s'estompent rapidement dès que le rajeunissement atteint une hauteur d'homme (U.N. Glutz von Blotzheim, communication écrite et BERGMANN *et al.* 1996).

Le développement de la jeune forêt provoque notamment l'augmentation rapide de la fauvette à tête noire et de la fauvette des jardins parmi les oiseaux nicheurs. Dix ans après, la jeune forêt peut être déjà si dense que la population de ces espèces diminue fortement au profit des espèces forestières véritables telles que la grive musicienne et le bouvreuil pivoine. La large palette des espèces hôtes – les oiseaux migrateurs au repos ou les espèces en quête de nourriture – régresse déjà considérablement au cours de cette période.

Le fait de laisser sur pied les arbres épargnés par la tempête et de récolter ultérieurement les gros arbres hors du rajeunissement préétabli ou des essences pionnières à croissance rapide (p. ex. alisier blanc, sorbier des oiseleurs, bouleau et saule marsault) favorise également l'intensité de l'utilisation par les pics des souches restant dans la surface de chablis. Les essences pionnières comptent au nombre des principales sources alimentaires des oiseaux dans la jeune forêt. En intervenant trop tôt et trop vigoureusement dans le rajeunissement, on provoque une baisse sensible de la biodiversité, ce qui contraint par exemple la gélinotte des bois à quitter, après un court laps de temps, le nouveau milieu qu'elle vient de gagner grâce au sinistre (GLUTZ VON BLOTZHEIM 1996; GLUTZ VON BLOTZHEIM 2001).

Importance pour les petits mammifères

Indépendamment du degré d'évacuation, les surfaces de chablis offrent des conditions de vie idéales aux différentes espèces de souris et de loirs. Par conséquent, leur densité augmente en principe énormément après une tempête. Les populations de campagnols roussâtres, de mulots ordinaires et de mulots à collier deviennent considérables (WERMELINGER et DUELLI 2004). Au début, les surfaces de chablis laissées telles quelles semblent être plus attractives pour les souris que les zones évacuées. Ainsi, GERLACH (1996) a capturé, deux ans après «Vivian», nettement plus d'animaux lourds et de femelles portantes entre les chablis laissés sur place que dans les surfaces évacuées. Quatre ans après la tempête, ces différences n'étaient plus perceptibles. En ce qui concerne la densité des individus et la palette des espèces, il n'a pas été possible d'établir de corrélation avec la variante d'intervention.

Comme pour les autres groupes d'animaux, la diversité des espèces de petits mammifères diminue également en fonction du développement du peuplement (WILHELM et FUNKE 1998).

C-5.1.3 Le bois mort – un habitat

La richesse et la qualité du bois mort font des surfaces de chablis laissées telles quelles des milieux exclusifs

Le bois mort à différents stades de décomposition sur et au-dessus du sol, abondamment présent avant tout dans les surfaces de chablis laissées telles quelles, ainsi que les souches renversées offrent un habitat richement structuré, pourvu de nombreuses niches et microstations qui permettent d'accroître durablement la diversité des espèces. La qualité du bois mort est cependant bien plus importante que la quantité en matière de diversité des espèces (voir tableau 23).

Importance pour les oiseaux et les mammifères

Le bois mort et les souches renversées offrent un lieu de refuge, de repos, de gagnage, de reproduction et d'élevage à de nombreuses espèces d'oiseaux et de mammifères. Les trous propices à la ponte que différentes espèces de pics creusent dans le bois mort sur pied ou qui se forment spontanément lors de la perte d'une branche revêtent une importance particulière. Ces cavités sont souvent et volontiers utilisées par des espèces incapables de creuser des trous elles-mêmes. Il s'agit par exemple du loir et de différentes espèces de chauves-souris, ainsi que des chouettes ou des hiboux, des mésanges et des gobe-mouches (SCHIEGG PASINELLI et SUTER 2002).

Dans les surfaces de chablis évacuées, la mise en tas des branches crée des niches écologiques pour les insectes, les oiseaux et les petits animaux. Il faudrait renoncer entièrement au déplacement des troncs et des branches d'avril à fin juin (mi-juillet). La structure grossière (tas de branches compris) qui caractérise les nouvelles surfaces de chablis plus ou moins complètement dévastées offre au printemps des sites de nidification de choix à plusieurs espèces d'oiseaux. Le moindre dérangement peut endommager les nids ou faire fuir les oiseaux en train de couvrir (U.N. Glutz v. Blotzheim, communication écrite).

Importance pour les reptiles

Tant que la végétation et le nouveau boisement laissent passer suffisamment de lumière solaire directe et de chaleur jusqu'au sol, les surfaces de chablis sont également attractives pour les reptiles. Les troncs à terre, réchauffés par le soleil, constituent des places de repos affectionnées par les lézards et les serpents (voir figure 20). La présence de reptiles dans les surfaces de chablis est également déterminée par l'exposition, les structures, les conditions de lumière, etc.

Importance pour les insectes

L'Europe centrale compte plus de 8 000 espèces de coléoptères dont 1 300 dépendent du bois sous une forme quelconque au cours de leur développement (MÖLLER 1994). Durant les premières années, les coléoptères et leurs ennemis profitent avant tout des chablis fraîchement renversés. Les coléoptères et les sirex laissent des cavités dans le bois et sous l'écorce qui sont souvent occupées, au cours des années suivantes, par des *colletidae*, des guêpes maçonnes (*eumenidae*), des pompiles et guêpes fouisseuses (*pompilidae* et *sphécidae*) et d'autres espèces typiques des cavités. À un stade de décomposition avancée, le bois mort est principalement colonisé par des collembolés, des mouches et des moustiques.



Figure 19: Vipère dans la surface de chablis située près de Schwanden (GL).

Photo: U. Wasem, WSL.

Importance pour les champignons

Au cours des premières années suivant la tempête, une large palette d'espèces participent déjà à la dégradation des chablis. Une grande partie des champignons passent inaperçus, faute de carpophores (HONOLD et OBERWINKLER 1998). Les stades de décomposition avancée – avant tout lorsque le bois mort ne touche pas le sol – hébergent une proportion accrue d'espèces rares.

Tableau 23:
Importance écologique du bois mort en fonction de ses propriétés (SCHMIDT 1999; BOUGET et DUELLI 2004).

Le bois mort de grand diamètre est plus précieux que celui de petite dimension	⇒	Beaucoup de petits troncs ne remplacent pas les gros! Le bois mort de grand diamètre a plus de valeur parce qu'il est en général plus rare.
Le bois mort sur pied est, pour de nombreuses espèces d'insectes, plus attractif qu'à terre	⇒	Une part considérable des insectes vivant dans le bois sont thermophiles. Parmi les espèces rares, il s'agit même de plus de la moitié.
Le bois mort ensoleillé est plus important pour la conservation des espèces que les éléments ombragés	⇒	
Le bois mort de feuillus héberge davantage d'espèces animales que les résineux	⇒	Nombre d'espèces vivant dans le bois: • environ 850 pour le chêne • environ 650 pour le hêtre • environ 500 pour les résineux

C-5.1.4 Mesures visant la diversité générale des espèces

- Laisser tels quels les arbres ou les groupes d'arbres restés sur pied.
- Laisser sur pied les arbres morts; les troncs d'épicéas brisés à mi-hauteur ne sont guère appréciés par le bostryche typographe (*Ips typographus*).
- Laisser à terre suffisamment de bois mort de forte dimension.
- Tolérer les surfaces d'érosion inoffensives.
- Recourir tant que possible à la régénération naturelle des forêts.
- Tolérer des espaces vides dans le rajeunissement.
- Favoriser un mélange des essences conforme à la station.
- Favoriser ou introduire les essences rares ou de grande valeur écologique (p. ex. sapin, chêne).
- Eviter les peuplements purs.
- Eviter de clôturer de grandes surfaces; préférer la protection individuelle ou les petites clôtures.

Ces recommandations générales n'ont pas pour objectif d'atteindre un nombre maximal d'espèces, mais d'obtenir une grande diversité d'espèces animales et végétales qui occupent spontanément ce milieu.

C-5.1.5 Favoriser l'évolution naturelle (protection du processus)

- Dans notre pays fortement marqué par la civilisation, le fait de donner libre cours à l'évolution naturelle constitue une valeur en soi.
- La valeur d'une portion de forêt livrée à la nature est d'autant plus grande s'il est possible d'atteindre le cortège faunistique et floristique potentiel de la station, par exemple en tant que relais écologique dans le réseau régional d'interconnexion des biotopes.
- Les observations portant sur l'évolution naturelle sans entraves fournissent des renseignements importants pour une exploitation proche de la nature et durable de notre environnement.
- Les surfaces de chablis jouxtant une forêt naturelle offrent l'opportunité d'étendre ou d'arrondir celle-ci.

C-5.1.6 Ouvrage recommandé

Schiegg Pasinelli K., Suter W. 2002: Le bois mort – un habitat. Notice pour le praticien n° 33. 2^e édition. Birmensdorf, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL). 6 pages.

C-6 Société

C-6.1 Favoriser l'attractivité pour les loisirs et la découverte de la nature

C-6.1.1 Importance de la forêt comme lieu de détente

Les besoins principaux des visiteurs consistent à:

- se promener,
- marcher,
- faire du sport et
- se détendre.

Tableau 24: Utilisation de la forêt suisse par la population durant les mois d'été, selon une enquête réalisée par WILD-ECK *et al.* (2003).

Utilisation de la forêt durant les mois d'été	Proportion parmi les 967 personnes interrogées
presque quotidiennement	16,9%
une à deux fois par semaine	45,3%
une à deux fois par mois	25,0%
moins d'une fois par mois	8,8%
jamais	4,0%

La forêt n'a encore jamais été aussi convoitée qu'aujourd'hui en tant qu'aire de détente. À l'avenir, cette fonction ne va cesser de gagner de l'importance. Différentes études prévoient une «renaissance» de la marche pour les prochaines années (SUDA 2003).

C-6.1.2 Conséquences des dégâts de tempête pour les amateurs d'activités de loisirs

a) Liberté de mouvement réduite à court et moyen terme

L'exigence prioritaire est de pouvoir disposer de chemins dégagés

En plus des dégâts directs aux installations de remontées mécaniques (téléskis et télécabines) et, à divers endroits, d'une baisse immédiate de fréquentation en raison des dégâts de tempête, les ouragans «Vivian» et «Lothar» ont considérablement limité le réseau de chemins pédestres et de randonnée durant plusieurs mois. Au cours d'une première phase, les gens s'accommodent de ces restrictions ainsi que des pertes économiques qui en découlent. Cependant, les visiteurs et les milieux touristiques souhaitent avant tout que l'offre initiale (réseau de chemins, zones utilisées pour les courses d'orientation, etc.) soit restaurée et garantie, si possible dans un délai raisonnable, ou qu'une solution de substitution comparable soit trouvée (SCHENK 2003). Il est néanmoins envisageable de relativiser cette exigence prioritaire en fournissant des explications compétentes sur la tempête et ses conséquences.

Le réseau de chemins peut souvent être reconstitué sans nécessiter l'évacuation intégrale des chablis. Lorsque seul le tracé des chemins est dégagé, il persiste toutefois un risque résiduel non négligeable sur les versants abrupts.

Dans les forêts de détente, l'évacuation des bois va au devant du souhait de disposer d'un libre accès

Les surfaces de chablis – évacuées ou laissées telles quelles – donnent naissance à des étendues de recrû qu'il est le plus souvent difficile de traverser. C'est pourquoi les coureurs d'orientation ont plutôt tendance à éviter la zone à ce stade de développement. Pourtant, les représentants de cette discipline sportive souhaitent que les surfaces soient en grande partie évacuées et qu'aucune clôture ne soit posée (SCHENK 2003).

b) Impact sonore et fermetures de chemins durant le façonnage des chablis

La compréhension des amateurs d'activités de loisirs pour la récolte des bois est parfois mise à rude épreuve lorsque le bruit des hélicoptères et des engins de débardage sévissent précisément durant la brève période de leurs vacances. De plus, les chemins de randonnée pédestre sont souvent endommagés ou rendus impraticables par l'exploitation. Les responsables du tourisme tolèrent néanmoins les nuisances passagères résultant de l'évacuation des chablis, étant donné que les travaux «nettoient» et «entretiennent» le paysage.

C-6.1.3 Conséquences d'une modification de l'aspect du paysage

L'observateur perçoit avant tout les surfaces de chablis proches

Plus les dégâts aux forêts caractérisent l'aspect du paysage, moins l'observateur sera attiré par ces lieux. Selon une enquête menée en 2001, 57% de la population suisse considèrent que les surfaces de chablis dérangent (voir tableau 25, p. 112). Des études américaines ont permis de constater la même chose tant auprès des résidents que des touristes (SHEPPARD et PICARD 2005). Ce sont avant tout les modifications du paysage comprises dans un champ de vision inférieur à 5 kilomètres qui comptent. Les éléments paysagers plus éloignés se perdent dans l'arrière-plan, qui est plutôt déterminé par des montagnes et des vallées ou par de vastes plaines. Dans le plan central, c'est-à-dire à une distance de vision comprise entre 0,5 et 5 kilomètres, les surfaces de chablis sont certes perceptibles, mais il n'est guère possible de distinguer si les chablis sont encore à terre ou s'ils ont été évacués. Ainsi, le fait de laisser ou d'évacuer les chablis d'une surface joue un rôle important pour les amateurs d'activités de loisirs et les personnes désirant découvrir la nature, principalement dans un rayon maximal de 500 mètres.

Les modifications du premier plan et du plan central – et par conséquent la nature des surfaces de chablis – sont nettement mieux perçues dans un paysage monotone et doux que dans un paysage montagnard sauvage et impressionnant (SHEPPARD et PICARD 2005).

Les surfaces de chablis nuisent peu à l'attractivité du paysage

Les modifications parfois considérables de l'aspect paysager à la suite de «Vivian» et de «Lothar» ont peu altéré l'attractivité des lieux de récréation concernés en Suisse (SCHENK 2003). Ce résultat pourrait aussi tenir au fait que la majeure partie des surfaces de chablis ont été rapidement évacuées. Des études américaines montrent en tout cas aussi que l'observateur préfère les surfaces de chablis exploitées à celles laissées telles quelles (SHEPPARD et PICARD 2005).

Au cours de la première et parfois aussi de la deuxième année après une grande tempête, le cercle des touristes fréquentant les principales régions sinistrées s'enrichit parfois d'une catégorie de personnes qui s'intéresse spécialement aux effets de la tempête sur les forêts et à l'évolution de celles-ci (SCHENK 2003).

C-6.1.4 Laisser sur place ou évacuer les chablis dans l'optique de la population (résultats d'une enquête)

Une enquête représentative menée en 2001 en Suisse a permis de recueillir l'opinion de la population quant au fait d'évacuer ou de laisser les bois dans les surfaces de chablis (WILD-ECK 2003; WILD-ECK *et al.* 2004). En voici quelques résultats importants:

**Agir, plutôt
que de ne rien faire**

Le fait d'évacuer les surfaces de chablis satisfait en principe la majorité de la population, même si celle-ci souhaite en général davantage de «nature sauvage». Après l'ouragan «Lothar», la population a eu confiance en la compétence du service forestier. Elle s'est en majorité montrée satisfaite de la remise en état des forêts suite aux dégâts causés par la tempête. Une large frange de la population continue de penser que les chablis devraient en général être exploités (voir tableau 25). L'enquête n'a pas permis de constater que les visiteurs réguliers s'exprimaient massivement pour ou contre l'évacuation des chablis. Selon WILD-ECK *et al.* (2004), les résultats de l'enquête montrent:

- le rejet général d'un gaspillage des ressources,
- un certain besoin d'ordre,
- une évaluation avant tout positive du bois en tant que matière première,
- l'idée que la nature ou la diversité des espèces est menacée par «Lothar» et
- que l'homme peut ou doit aider la nature en l'entretenant.

Tableau 25: Acceptation des surfaces de chablis et de la «nature sauvage». Enquête de 2001 (WILD-ECK 2003).

Questions (remarques)		Réponses avec indication du pourcentage		
		<i>toujours</i>	<i>cela dépend ou non</i>	
Faut-il évacuer les chablis?	Suisse entière	63%	37%	
	Suisse romande	73,5%	26,5%	
	Suisse alémanique	61%	39%	
	Ville	63,5%	36,5%	
	Campagne	64%	36%	
Faut-il replanter des arbres dans les surfaces de chablis?		oui/plutôt oui 83%	n/p.n. 10%	? 7%
(les réponses expriment avant tout le souhait généralisé de voir croître une nouvelle forêt dans les surfaces de chablis)				
Les surfaces de chablis portent-elles atteinte au paysage?		oui/plutôt oui 57%	non/plutôt non 34%	? 9%
(sans distinction entre les surfaces évacuées et laissées telles quelles)				
Devrait-on donner plus souvent libre cours à la «nature sauvage» en Suisse?		oui/plutôt oui 52%	non/plutôt non 34%	? 14%
? = «ni oui ni non» ou «ne sais pas»				

La compréhension de l'écologie est souvent lacunaire

Les surfaces de chablis laissées telles quelles donnent lieu à des réflexions et à des discussions

L'enquête montre aussi que les interférences écologiques élémentaires sont souvent ignorées, voire même à l'origine de fausses idées. Le fait que l'on puisse laisser telles quelles certaines surfaces de chablis alors qu'ailleurs on évacue les bois dépasse l'entendement de nombreuses personnes. C'est pourquoi il est important que les professionnels issus de la pratique et des milieux scientifiques fassent connaître la forêt à la population. Lors de l'enquête, les points suivants ont permis de mettre clairement en évidence le manque de compréhension concernant l'écologie:

- La moitié des personnes interrogées perçoivent les chablis comme une menace pour la diversité des espèces animales et végétales.
- La majorité de la population prend l'évacuation des chablis pour une mesure de conservation des espèces.
- Plus de 80% des sondés souhaitent que les surfaces de chablis soient replantées. Une minorité de personnes savent que la forêt peut aussi se régénérer naturellement.

La pression sociale ne doit pas être sous-estimée

Les gens des environs sont en général plus proches du forestier que le grand public. Les résultats de l'enquête montrent que l'opinion de la population locale peut s'avérer très variable sur le plan régional. La pression sociale qui s'exerce sur le forestier ne doit pas être sous-estimée. Lors du processus de décision, elle joue parfois un rôle plus important que les réflexions objectives.

C'est pourquoi au moment de prendre des décisions politiques difficiles, la communication avec le public s'avère plus importante et plus efficace que la diffusion de belles brochures ou la pose de panneaux d'information (WASEM et BAUER 2005). En intégrant la population au processus de décision, les gens acceptent plus facilement les décisions prises, même celles qui s'avèrent contraires à leurs convictions.

C-6.1.5 Découverte de la nature et éducation à l'environnement

Les surfaces de chablis laissées telles quelles nécessitent des informations

L'information s'avère avant tout nécessaire lorsqu'une surface de chablis n'est pas évacuée, contrairement aux attentes des utilisateurs de la forêt. La diffusion de renseignements ciblés permet de dissiper, du moins partiellement, le sentiment d'insécurité éprouvé par l'amateur d'activités de loisirs concerné. L'information est aussi susceptible d'objectiver les attitudes sceptiques fréquemment observées à l'encontre des surfaces non évacuées. De cette façon, la zone concernée pourra peut-être même être perçue comme un enrichissement et exercer un effet récréatif positif.

Les surfaces laissées telles quelles et les relations publiques permettent d'enrichir la découverte de la nature

En principe, la majeure partie de la population souhaite que l'on donne libre cours à l'évolution naturelle et approuve la création de nouvelles réserves forestières tant qu'elles ne sont pas totalement interdites d'accès. La plupart des gens aimeraient que ces zones soient desservies par un réseau de chemins. La pose de panneaux d'information – par exemple sur la végétation ou sur les raisons qui ont conduit à laisser les bois sur place dans une surface de chablis – correspond à un véritable besoin des visiteurs (BAUER et HUNZIKER 2004). Ces supports offrent un potentiel de contact avec la population et les touristes (SCHENK 2003).

La découverte de la diversité est un élément important pour l'homme qui, en plus de la recherche de mouvement, intègre la découverte de la nature à ses loisirs. Deux surfaces voisines – comprenant une variante laissée telle quelle et une autre évacuée – desservies par des sentiers, peuvent constituer un objet éducatif attrayant. La réalisation d'un tel projet offre l'occasion d'observer et de découvrir les processus naturels et peut-être aussi de mieux comprendre la tâche du forestier.

D Critères non pris en compte

D-1 Eviter les crues

D-1.1 Définitions

- **Crue:** niveau d'eau ou débit nettement supérieur à la moyenne pluriannuelle (FREHNER *et al.* 2005).

D-1.1.1 Conditions préalables aux crues

Fortes précipitations	Le volume exceptionnel des précipitations est la principale cause des crues. Lorsque les bassins versants occupent une petite surface ($< 100 \text{ km}^2$), les crues surviennent en général à la suite de violents orages estivaux, comme ce fut le cas à Sachseln en 1997 ou à Gantrisch en 1990. Les crues extrêmes concernant des cours d'eau à vaste bassin versant ($> 300 \text{ km}^2$) dépendent par contre de précipitations continues durant des jours voire des semaines et touchant une grande région (PETRASCHECK 2003).
Limite des chutes de neige relativement élevée	En altitude, l'écoulement de l'eau est déterminé par la forme des précipitations. Les chutes de neige tombant abondamment jusqu'à basse altitude provoquent temporairement une rétention d'eau accrue, ce qui atténue la pointe des crues.
Faible capacité de rétention d'eau	S'ils ne sont pas déjà saturés, les sols profonds à capacité de rétention élevée (p. ex. sols bruns, sols bruns/gleys, sols bruts) sont capables d'absorber d'importantes quantités de précipitations et, de ce fait, d'atténuer considérablement l'effet des crues. Par contre, l'eau des sols perméables ou superficiels s'écoule presque directement dans les cours d'eau. Des études effectuées dans l'Oberland bernois ont par exemple permis de déterminer une capacité de rétention maximale de 21 l/m^2 dans les gleys (DOBMANN 2002).
Autres facteurs	Les crues sont encore renforcées ou atténuées par une série d'autres facteurs tels que: • la végétation (voir D-1.1.2), • la couverture neigeuse, • la topographie, • le lit de cours d'eau, • la couverture du sol (routes, bâtiments), • les lacs, etc.

D-1.1.2 Effet de la forêt contre les crues

Aucune autre forme de végétation n'évapore – par interception et évapotranspiration – autant d'eau par année que la forêt (BURCH *et al.* 1996). Indépendamment de la station, l'écoulement annuel depuis une zone forestière est nettement plus faible que depuis une prairie par exemple. Durant la période estivale, le couvert recueille puis évapore (interception) déjà près de 40% des précipitations dans les pessières et 20% dans les hêtraies. La transpiration des arbres et l'évaporation permettent de refouler dans l'atmosphère entre 45 et 65% du volume annuel des précipitations (FLURY 2003). Par rapport aux surfaces agrico-

les, ces qualités, propres à la forêt, abaissent considérablement le bilan de l'écoulement hydrique *au cours de l'année*.

La capacité de rétention du sol est plus importante que l'effet de la forêt

De fortes précipitations peuvent cependant aussi saturer plus ou moins rapidement la capacité de rétention de l'aire boisée. C'est pourquoi la forêt ne peut contribuer que de façon limitée à l'atténuation de ces situations (BURCH *et al.* 1996). En cas de crue, l'effet régulateur du milieu boisé sur le régime hydrique dépend ainsi de son influence sur la capacité de stockage du sol. Sur les sols à capacité de rétention élevée, l'effet de la forêt est faible parce que ces substrats sont capables d'emmagasiner de grandes quantités d'eau, même sans couvert forestier. Sur les sols à faible potentiel de stockage (comme les gleys), où les substrats déjà fortement saturés, la forêt ne parvient pas à atténuer sensiblement la pointe des crues en cas de fortes précipitations. L'effet de la forêt est le plus grand lorsque la capacité de rétention est moyenne à bonne. Dans ces conditions, les essences capables de s'enraciner profondément et intensivement profitent du tracé laissé par les racines mortes ou arrachées pour prolonger vers le bas l'espace racinaire et par conséquent améliorer à moyen terme la capacité d'absorption d'eau du sol (HEGG et BADOUX 2003; BADOUX *et al.* 2004; WITZIG *et al.* 2004).

Grâce au pouvoir d'interception élevé des couronnes, le sol forestier accumule moins de neige durant l'hiver. Cette qualité a pour effet de réduire l'écoulement d'eau au cours de la période de fonte (BURCH *et al.* 1996).

D-1.1.3 Influence des chablis sur le régime hydrique du bassin versant

Après le passage d'une tempête, des changements du régime hydrique ne sont à craindre que lorsque la forêt exerce une influence importante sur la capacité de rétention du sol (voir D-1.1.2).

Prélèvement d'eau temporairement réduit et degré de saturation éventuellement accru

À la suite de chablis affectant de grandes surfaces, il manque les arbres qui ont jusqu'ici prélevé, par évaporation, d'importantes quantités d'eau du sol. De ce fait, le degré de saturation du sol reste élevé, ce qui accélère la formation de crues en cas de fortes précipitations. Ce phénomène concerne avant tout les catégories de substrats «superficiels à moyennement profonds, à perméabilité normale» et «moyennement profonds à profonds, à perméabilité ralentie» (voir tableau 26). Cependant, une végétation adventice (épais tapis de fougères et de ronces par exemple) s'installe le plus souvent en l'espace de un à trois ans et présente, selon la densité et le type de végétation, des taux d'évaporation comparables à ceux d'un peuplement forestier.

Davantage d'eau de la fonte des neiges

Dans une surface de chablis, il faut s'attendre à ce que davantage d'eau s'écoule au cours des périodes de fonte des neiges que ce n'était le cas dans le peuplement précédent. Suite à de fortes précipitations, cette situation peut entraîner des crues plus importantes.

Figure 20: Eventail des effets de stockage en cas de fortes précipitations (représentation schématique). Les colonnes représentent la variation des différentes stations forestières: la valeur inférieure indique l'état de la forêt le plus défavorable, la valeur supérieure correspond à l'effet d'une structure de peuplement idéale (figure de BADOUX *et al.* (2004), légèrement modifiée). Les classes de sols A à D sont décrites dans le Tableau 26.

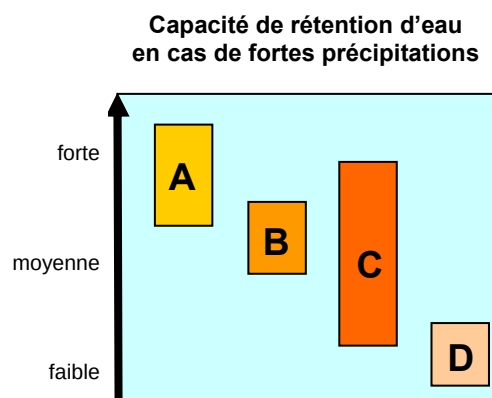


Tableau 26: Influence des propriétés du sol, de l'état de la forêt et des chablis sur les pointes d'écoulement lors de crues (voir BADOUX *et al.* 2004; FREHNER *et al.* 2005).

Station (voir figure 20)	Propriétés du sol (géologie, type de sol)	Capacité de rétention d'eau en cas de fortes précipitations	Changement de la capacité de rétention d'eau après des chablis
A	sol profond, à perméabilité normale (<i>sol brun</i>)	forte , quel que soit l'état de la forêt (Grâce à sa grande capacité de rétention, le sol n'entraîne guère la formation de crues, même en cas de fortes précipitations)	⇒ faible
B	sol superficiel à moyennement profond, à perméabilité normale	moyenne , quel que soit l'état de la forêt	⇒ possible à court terme En raison de la saturation préalable en cas de fortes précipitations, la situation se rétablit à moyen ou long terme (végétation adventice).
C	sol moyennement profond à profond, à perméabilité ralentie	forte , si l'état de la forêt est bon; faible , si l'état est mauvais (Un peuplement constitué d'un bon mélange d'essences permet d'étendre sensiblement l'espace de rétention vers le bas à l'aide de ses racines. Cette constatation est aussi valable en altitude (étage subalpin) ou sur les stations humides à frênes, où le choix des essences se limite pratiquement à l'épicéa ou au frêne)	⇒ possible à court terme En raison de la saturation préalable en cas de fortes précipitations, la situation se rétablit à moyen ou long terme (végétation adventice). Le mélange d'essences du peuplement suivant est important au maintien ou à l'accroissement de la capacité de rétention d'eau.
D	sol très engorgé, très superficiel ou à perméabilité excessive (<i>flysch, gley</i>)	faible , quel que soit l'état de la forêt	⇒ très faible

D-1.1.4 Influence du fait d'évacuer et de laisser les bois sur les crues

L'influence des dégâts de tempête est plus importante que le fait d'évacuer ou de laisser les chablis

Si les conditions du sol risquent d'entraîner à moyen terme une modification du régime hydrique, les changements induits par les chablis sont nettement plus importants que l'influence éventuelle du fait d'évacuer ou de laisser les bois. La compaction du sol par des méthodes inadaptées de récolte des bois peuvent provoquer localement une augmentation de l'écoulement de surface qui ne devrait que rarement conditionner le débit d'un torrent. Le plus souvent, les changements hydrologiques locaux d'une surface de chablis n'ont guère de poids par rapport à un bassin versant nettement plus grand. C'est pourquoi la prévention des crues ne constitue pas un critère essentiel pour évaluer s'il faut évacuer ou laisser les chablis.

D-2 Prévenir les incendies

D-2.1.1 La Suisse, un pays de feux de forêt?

Les châtaigneraies, peu menacées par les tempêtes, sont de loin les forêts les plus sujettes aux incendies

La nécessité de prendre des mesures particulières afin de réduire le risque d'incendie se limite aux régions fréquemment menacées. À la différence des régions méditerranéennes ou des pinèdes nord-américaines, l'Europe centrale ne compte pas de véritables écosystèmes caractérisés par le feu (GOSSOW et FRANK 2003). En Suisse, les forêts menacées par les incendies se situent avant tout dans les régions semi-arides, marquées par de fréquentes et longues périodes de sécheresse, c'est-à-dire le Sud des Alpes et certaines parties du Valais et des Grisons. En plus des châtaigneraies tessinoises, dans lesquelles se déclarent la plupart des feux de forêt, le tableau 28 présente les associations forestières particulièrement menacées. La Suisse ne compte pas de types de forêts qui dépendent périodiquement du feu (CONEDERA *et al.* 1997).

En raison des changements climatiques d'origine humaine, il n'est cependant pas exclu que les feux de forêt surviennent plus souvent à l'avenir, même sous nos latitudes.

D-2.1.2 Causes et risques d'incendie

L'homme est le plus grand facteur de risque

En Suisse, l'homme est à l'origine de la plupart des incendies. À ce propos, il est frappant de constater qu'au Sud des Alpes, la forêt brûle plus souvent le week-end que durant les jours ouvrables (REBETEZ 2000). Les feux peuvent aussi être provoqués par le façonnage des bois. Les imprudences commises lors des travaux forestiers occupent une position importante dans la liste des causes d'incendies (GOSSOW et FRANK 2003).

Au cours de la période 1980–2003, moins de 10% de l'ensemble des feux de forêt ont pu être attribués à une cause naturelle telle que la foudre (voir tableau 27). Au Sud des Alpes, près du tiers des sinistres sont déclenchés par la foudre durant les mois d'été (CONEDERA

2003). Les éclairs risquent avant tout d'enflammer la forêt lorsqu'ils ne sont pas accompagnés de précipitations.

Différentes observations faites au cours des dernières années et les modèles de calcul des climatologues laissent supposer que ces phénomènes pourraient s'amplifier en raison du réchauffement climatique. La longue période de sécheresse de l'été 2003 s'est traduite, en Europe centrale, par quelques feux de forêt, imputables la plupart du temps à la foudre ou à des imprudences commises lors de travaux forestiers (GOSSOW et FRANK 2003). Durant cette sécheresse majeure, un danger aigu d'incendies a menacé très longtemps l'ensemble du versant nord des Alpes.

Tableau 27: Causes du déclenchement de feux de forêt en Suisse au cours de la période 1980–2003 (source: OFEV, division Forêts).

Cause		Fréquence (%)
naturelle	foudre	8,5
humaine	négligence	29,6
	chemins de fer, conduites électriques	3,6
	armée (très rare actuellement)	3,9
	autres (p. ex. pyromanie, voitures)	27,2
inconnue	-	27,2

Par «négligence», l'OFEV entend:

- les feux de pique-nique (événement fréquent),
- les cigarettes et allumettes incandescentes (événement très fréquent),
- les feux d'artifice (premier août, événement fréquent),
- les travaux agricoles et sylvicoles.

Facteurs de risque particulier:

- présence fréquente de l'homme et des machines (amateurs d'activités de loisirs, passants, exploitants limitrophes, forestiers),
- conditions météorologiques sèches ou vents secs (föhn) fréquents,
- forêts de résineux séchardes dont les branches se décomposent lentement (voir tableau 28),
- fréquents éclairs «secs», c'est-à-dire non accompagnés de précipitations,
- proportion élevée de résineux dans les chablis,
- chablis laissés sur place pendant les deux ou trois premières années après la tempête. La Suisse connaît cependant très peu de cas où les chablis ont pris feu.

D-2.1.3 Conséquences d'un incendie dans les chablis

- pertes de valeur des chablis,
- vitrification du sol et, de ce fait, augmentation de l'écoulement de surface,
- danger accru d'érosion, de glissements de terrain, de chutes de pierres et d'avalanches,
- destruction des habitats pour la flore et la faune,
- tache noire dans le paysage.

D-2.1.4 Influence du fait d'évacuer et de laisser les bois sur le danger d'incendie

L'intensité et la durée d'un incendie sont essentiellement déterminées par la quantité de bois à terre qui, de son côté, constitue une menace pour des objets voisins comme des forêts ou des bâtiments. Lorsque les combustibles sont abondants, l'incendie de forêt, difficile à éteindre, peut se développer en feu de sol, brûlant souvent toute la couche de litière et d'humus. Même après extinction, ce type de feu est susceptible de couver durant des jours voire des semaines et de se raviver à tout moment. Les conséquences en sont la mise à nu de pierres dans la couche supérieure du sol et l'accroissement des chutes de pierres dans les zones raides (CONEDERA *et al.* 1997; KÄTHNER 1999).

Le passage d'une tempête laisse un tapis relativement dense de matériaux combustibles. Si ces bois restent sur place, ils deviennent assez facilement inflammables au cours des deux à trois premières années, en raison de la forte proportion d'aiguilles et de brindilles.

Etant donné la quantité de bois qui reste habituellement suite à l'exploitation, le danger d'incendie n'est pas à exclure, même après l'évacuation des chablis. Quelques petits sinistres se sont aussi déclarés dans les surfaces vidangées. Dans les zones en pente ne permettant pas aux souches renversées de se redresser, le feu est susceptible de déstabiliser ces pièces de bois et de les faire dévaler la pente à moitié enflammées (GOSSOW et FRANK 2003).

Le risque peut être réduit grâce à des mesures d'appoint relativement simples

La négligence est à l'origine de la plupart des feux de forêt. En général, il suffit de réduire, à titre préventif, la quantité de matériaux inflammables à proximité des chemins et des routes ou dans les types de forêts et les objets particulièrement menacés par des incendies, notamment lorsque le sinistre risque de compromettre la fonction protectrice (CONEDERA *et al.* 1997). **C'est pourquoi la prévention des incendies n'apparaît pas dans les critères d'appréciation de la liste de contrôle, mais seulement dans les mesures d'appoint.**

Tableau 28: Forêts de résineux particulièrement menacées par des incendies (noms et numéros des types de stations selon OTT *et al.* 1997).

Type de station	N°	Type de station	N°
Pessière à Polygale petit buis	53	Pineraie à Bruyère	65
Pessière à Bruyère	53*	Pineraie à Bugrane	65*
Pessière à Luzule blanc-de-neige	55*	Pineraie de montagne à Bruyère	67
Pessière à Airelle avec Laser	58L	Pineraie à Callune	68
Arolière à Cotonéaster	59C	Pineraie à Airelle	68*
Arolière à Laser	59L	Pineraie de montagne à Rhododendron cilié	69
Pessière à Calamagrostide bigarrée	60*	Pineraie de montagne à Rhododendron ferrugineux	70

D-3 Conserver la qualité des eaux souterraines

D-3.1 Modifications du cycle de l'azote par les chablis ou les attaques de bostryches

Après une tempête, la teneur en nitrates de l'eau d'infiltration peut s'accroître considérablement durant une brève période

Après la disparition de la strate arborescente, le sol reçoit soudainement de la lumière et de la chaleur à profusion. L'augmentation de la température dans la couche supérieure du sol stimule l'activité biologique. La matière organique qui s'est accumulée sous le couvert du vieux peuplement se décompose et se minéralise alors rapidement. En plus d'acidifier le sol, cette transformation des éléments entraîne souvent une hausse considérable des concentrations de nitrates dans l'eau d'infiltration. Etant donné qu'à conditions de station comparables, l'humus minéral emmagasine davantage d'azote sous les feuillus que sous les résineux, il faut par conséquent aussi s'attendre, après une tempête, à une teneur en nitrates plus élevée de l'eau de percolation dans les peuplements riches en feuillus. Dans 13 surfaces de chablis situées en Bavière, MELLERT *et al.* (1996) ont relevé la teneur en nitrates de l'eau d'infiltration. Dans la moitié des surfaces, ils ont déterminé des concentrations comprises entre 50 et plus de 150 mg/l. Ces résultats dépassent la valeur indicatrice pour l'eau potable en Suisse qui est fixée à 25 mg/l. La valeur limite tolérée se situe à 40 mg/l (OFEFP 2002).

Dans la zone d'influence des surfaces perturbées, les concentrations d'azote de l'eau de source et des cours d'eau évoluent toutefois en général dans des limites acceptables. Cette situation s'explique d'une part parce que les micro-organismes du sous-sol prélèvent une partie des nitrates de l'eau de percolation et d'autre part parce que l'azote se mélange souvent à des eaux souterraines d'autres provenances. Dans les forêts de Bavière, la concentration de nitrates de l'eau des cours d'eau a atteint au plus 23 mg/l après les attaques de bostryches qui ont décimé de grandes surfaces d'épicéas (ROTHER *et al.* 1998; NÜSSLEIN *et al.* 2000).

Les concentrations accrues de nitrates consécutives aux chablis se limitent en général aux deux à cinq premières années. Elles régressent ensuite avec la disparition de l'humus facilement décomposable et l'apparition de la végétation adventice. Les plantes absorbent l'azote excédentaire et l'intègrent dans le cycle de la matière. Durant la belle saison, un tapis végétal dense est même en mesure d'abaisser la teneur en nitrates nettement au-dessous de la valeur du peuplement précédent si ce processus n'est pas contrecarré par un fauchage ou un paillage de la surface entière. La fixation à long terme de l'azote dans l'écosystème nécessite cependant la présence de plantes ligneuses, c'est-à-dire une nouvelle forêt (MELLERT *et al.* 1996; ROTHER *et al.* 1998; NÜSSLEIN *et al.* 2000; WETT 2003).

D-3.2 Le bois mort – une source d’azote

Le rôle du bois mort dans l’apport d’azote est relativement faible

Le surplus d’azote est avant tout une conséquence des chablis. La décision de laisser ou d’évacuer les bois a une influence limitée sur les changements induits par la tempête. Les micro-organismes impliqués dans la décomposition du bois nécessitent de l’azote extérieur au milieu qu’ils puisent dans l’atmosphère. L’azote lessivé du bois mort par l’eau de pluie se trouve plutôt sous forme organique. C’est pourquoi il altère peu la qualité de l’eau potable. Comme la plupart de nos sols sont riches en éléments nutritifs, cet aspect est de toute façon négligeable d’un point de vue quantitatif (GRIER 1978; HARMON *et al.* 1998; LAIHO et PRESCOTT 2004).

Ouvrage de référence:

Hegg C., Jeisy M., Waldner P. 2004: Wald und Trinkwasser. Eine Literaturstudie. Birmensdorf, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), 60 pages.

D-4 Récolte prématurée

La perte de précieuses années d’accroissement engendrée par la tempête est indépendante de la décision de laisser ou d’évacuer les bois. La récolte prématurée n’influence pas la décision quant aux mesures à prendre.

D-5 Evacuation retardée

Une évacuation retardée est envisagée lorsque les bois à terre sont instables et menacent de ce fait la population ou des biens d’une grande valeur. Il faut évaluer la stabilité et la gravité de la situation avant que les bois ne deviennent dangereux à la suite de mouvements de tassement ou pour d’autres raisons. Il est envisageable de prendre le risque d’une évacuation retardée déficitaire si l’appréciation momentanée de la situation laisse présager que le fait de laisser les chablis sur place peut offrir une protection suffisante, au moins dans un avenir proche, et représente ainsi la variante la moins chère, ou lorsque cette manière de faire permet de libérer des capacités pour des tâches plus urgentes.

D-6 Maintien des emplois dans la région

Les travaux nécessaires pour maîtriser les dégâts engendrés par la tempête se limitent à une période relativement courte. Ces activités créent temporairement de nouveaux emplois. Les

entrepreneurs forestiers bénéficient d'un volume de travail supérieur à la moyenne qui leur permet ensuite de mieux surmonter les moments difficiles. Toutefois, cette situation comporte aussi le risque de maintenir des structures surdimensionnées aux dépens de la collectivité. Si les capacités habituelles de travail (service forestier et entrepreneurs) sont insuffisantes pour façonner les chablis, on recrutera provisoirement de la main-d'œuvre étrangère plus ou moins qualifiée. Il en sera de même à l'avenir. Il ne faut pas que le service forestier local soit dimensionné de façon à pouvoir maîtriser lui-même de grandes catastrophes sans recourir à de l'aide externe.

Les instances politiques doivent reconnaître durablement la valeur d'un personnel forestier bien formé et d'un service forestier compétent et pas seulement durant la réparation des dégâts.

D-7 Importance de l'exploitation des chablis pour la réduction des émissions de CO₂

Dans la tâche visant la réduction des émissions de CO₂, la matière première bois peut apporter, en tant que ressource renouvelable, une contribution précieuse dans le domaine de l'énergie thermique et des matériaux de construction. Le combustible ligneux est neutre dans le bilan du CO₂, étant donné que son utilisation en remplacement des énergies fossiles ne libère dans l'atmosphère que la quantité de CO₂ qui serait de toute façon dégagée par la décomposition du bois.

En utilisant du bois à la place de matériaux de construction gourmands en énergie tels que le béton ou l'acier, on économise de l'«énergie grise» et de plus, le carbone est fixé pendant une plus longue période dans les ouvrages. Pour que les chablis puissent contribuer à la réduction du CO₂, il faut cependant disposer des capacités suffisantes pour valoriser judicieusement le volume de bois supplémentaire. La promotion de la matière première ligneuse est une tâche permanente qui nécessite beaucoup de petits travaux et avant tout un effort de persuasion politique de longue haleine, tant que les énergies fossiles sont négociées à un prix largement inférieur à leur valeur. La discussion relative à une utilisation accrue du bois permettant de réduire nos émissions de CO₂ doit donc être menée à un autre niveau et non pas au moment où l'on est confronté à une surface de chablis.

Remerciements

La première édition de l'Aide à la décision en cas de dégâts de tempête en forêt ainsi que sa présente révision n'auraient pas pu être réalisées sans la collaboration de nombreux spécialistes issus des milieux scientifiques et de la pratique. Un grand merci à toutes ces personnes pour leur contribution constructive et spontanée. La représentation des critères de décision a nécessité de nombreux débats, de la persévérance et des compromis afin de tenir compte de l'état actuel des connaissances.

Nous témoignons également toute notre gratitude aux représentants des cantons et des institutions qui, par leur prise de position sur le projet de consultation de mars 2005, ont contribué à l'amélioration du présent ouvrage.

Nous tenons à remercier particulièrement les membres du groupe d'accompagnement et les personnes suivantes:

Martin Ammann (WSL)	Fredy Lienhard
Peter Ammann (ing. forestier EPF, Kollbrunn)	(forestier, forêt d'enseignement EPF)
Hans Bärtschi (ing. forestier EPF, Lausanne)	Tor Lundström (WSL)
Nicole Bauer (WSL)	Peter Lüscher (WSL)
Kurt Bollmann (WSL)	Stefan Margret (WSL)
Peter Brang (WSL)	Heinz Nigg (WildARK)
Markus Brunner (ASEFOR)	Fredy Nipkow (Silviva)
Anton Bürgi (WSL)	Michael Nobis (WSL)
Marco Conedera (WSL)	Christian Rickli (WSL)
Peter Duelli (WSL)	Anna Roschewitz (WSL)
Beat Forster (WSL)	Dani Rüegg (ing. forestier, Kaltbrunn)
Rolf Gall (WSL)	Beat Wermelinger (WSL)
Hans Gerber (EFS)	Othmar Wettmann (SUVA)
Werner Gerber (WSL)	Pius Wiss (ASEFOR)
Roland Graf (WSL)	Stephan Wild-Eck (EPF)
Frank Hagedorn (WSL)	Thomas Wohlgemuth (WSL)
Christoph Hegg (WSL)	Rudolf Zuber (ing. forestier EPF, Coire)
Karin Hindenlang (WSL)	Martin Zürrer (myx GmbH)
Marcel Hunziker (WSL)	

Bibliographie

- ALBRECHT L. 1991: Die Bedeutung des toten Holzes im Wald. Forstwiss. Cent.bl. 110 (2): 106–113.
- AMMANN P. 2005a: Baumartenmischung und Anwendungsbereich. Biologische Rationalisierung, Teil 4. Wald und Holz. 85 (4): 35–37.
- AMMANN P. 2005b: Biologische Rationalisierung bei Esche, Bergahorn und Buche. Biologische Rationalisierung, Teil 3. Wald und Holz. 85 (3): 29–33.
- AMMANN P. 2005c: Biologische Rationalisierung bei Fichte. Biologische Rationalisierung, Teil 2. Wald und Holz. 85 (2): 47–51.
- AMMANN P. 2005d: Biologische Rationalisierung. Teil 1: Einleitung und ökonomische Grundlagen. Wald und Holz. 85 (1): 42–45.
- AMMER U. 1991: Konsequenzen aus den Ergebnissen der Tothholzforschung für die forstliche Praxis. Forstwiss. Cent.bl. 110: 149–157.
- AMT FÜR WALD UND LANDSCHAFT OBWALDEN 2004: Bewältigung der Sturmschäden vom 26. Dezember 1999. Schlussbericht. Sarnen. 26 p.
- ANGST C., REICH T. 2004: Dauerbeobachtung der Waldverjüngung auf Lothar-Windwurfflächen. In: ANGST C., BÜRGI A., DUELLI P. *et al.* (éd.) 2004: Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz 2000–2003. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf: 53–64. Publié sur Internet le 20.10.2004: <http://www.wsl.ch/lm/publications/books/>.
- ARBEITSGRUPPE FORST (DEUTSCHLAND – ÖSTERREICH – SCHWEIZ) 2002: Gefährdungen bei forstlichen Tätigkeiten. Beurteilung und Dokumentation. InforMedia Verlag, Tharandt. 96 p. Y compris CD-Rom.
- ARNOLD M. 2003: Synthesebericht Rundholzlagerung – Erfahrungen nach dem Orkan «Lothar» (1999). EMPA, Abt. Holz / OFEFP, Direction fédérale des forêts, 200 p.
- BACHOFEN H., BÜRGI A., COMMARMOT B., ERNI V., FRUTIG F., LEMM R., OSWALD K., THEES O., WASEM U., ZINGG A. 2000: Waldmanagement nach «Lothar» – Anregungen zum weiteren Vorgehen. Inf.bl. Forsch.bereich Wald 2: 2–5.
- BADOUX A., WITZIG J., GERMANN P., LÜSCHER P., WEINGARTNER R., HEGG C. 2004: Einfluss auf den Wasserhaushalt. In: HEGG C., THORMANN J.-J., BÖLL A. *et al.* (éd.) 2004: Lothar und Wildbäche. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf: 69–74.
- BAIER P., KIKUTA S., LICK H. 1994: Heranziehung von Baummerkmalen zur Abschätzung der Befallsdisposition der Fichte für rindenbrütende Borkenkäfer. 1994: Forstliche Schriftenreihe der Universität für Bodenkultur, Wien. 7: 191–207.
- BÄRTSCHI H., ZELTNER S., RÄSS M., GAUTSCHI H.-P. 2003: LOTHAR. Prix et marché du bois. Documents environnement n° 160. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne, 84 p. Disponible sur Internet: <http://www.environnement-suisse.ch> > publications, code UM-160.
- BAUER N., HUNZIKER M. 2004: Wahrnehmung von Waldwildnis in der Schweiz. Wald und Holz. 84 (12): 38–40.
- BAUR P., BERNATH K., HOLTHAUSEN N., ROSCHEWITZ A. 2003: LOTHAR Ökonomische Auswirkungen. Wald- und Gesamtwirtschaft. Documents environnement n° 157. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne, 192 p. Disponible sur Internet: <http://www.environnement-suisse.ch> > publications, code UM-157.
- BECKER T., SCHRÖTER H. 2000: Ausbreitung von rindenbrütenden Borkenkäfern nach Sturmschäden. AFZ-Der Wald. 55 (6): 280–282.
- BENZ G., ZUBER M. 1997: Die wichtigsten Forstinsekten der Schweiz und des angrenzenden Auslandes. Hochschulverlag vdf, Zürich. 121 p.
- BERGMANN H.-H., KLAUS S., MÜLLER F., SWENSON J. E., WIESNER J. 1996: Die Haselhühner: Bonasa bonasia und Bonasa sewerzowi: Haselhuhn und Chinahaselhuhn. 4. überarbeitete Auflage. Die neue Brehm-Bücherei, Band 77. Westarp Wissenschaften, Magdeburg. 278 p.
- BOGENRIEDER A., SCHMID J., SCHROPP G. 1998: Das Mikroklima und seine Auswirkung auf den Wasserhaushalt von Test-Pflanzen. In: FISCHER, A. (éd.) 1998: Die Entwicklung von Wald-Biozönosen nach Sturmwurf. ecomed verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg: 113–129.
- BÖLL A. 1997: Wildbach- und Hangverbau. Rapports de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf. 123 p.
- BOTTERWEG P. F. 1982: Dispersal and flight behaviour of the spruce bark beetle *Ips typographus* in relation to sex, size and fat content. Z. Angew. Entomol. 94: 466–489.
- BOUGET C., DUELLI P. 2004: The effects of windthrow on forest insect communities: a literature review. Biol. Conserv. 118 (3): 281–299.
- BRANDL H., BRANDT C. 1994: Betriebswirtschaftliche Analyse der Sturmschäden. In: RIPBERGER M., PÜTTMANN W. (éd.) 1994: Dokumentation der Sturmschäden 1990. Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg, Stuttgart. 75: 146–161.
- BROSI P. 1991: Sturmschäden 1990. Nutzungsregulierung. Bündnerwald. 44 (3): 57–62.
- BROWN P. M., SHEPPERD W. D., MATA S. A., MCCLAIN D. L. 1998: Longevity of windthrown logs in a subalpine forest of central Colorado. Can. J. For. Res. 28: 932–936.

- BÜHLER K. 2002: Die Nutzung verschiedener Habitatstypen durch das Reh (*Capreolus capreolus*) in einem vom Orkan «Lothar» betroffenen Wald. Travail de diplôme. Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf. 41 p. Non publié.
- BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (éd.) 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. verbesserte und erweiterte Auflage, Hannover. 438.
- BURCH H., FORSTER F., SCHLEPPI P. 1996: Zum Einfluss des Waldes auf die Hydrologie der Flysch-Einzugsgebiete des Alptals. Schweiz. Z. Forstwes. 147 (12): 925–938.
- BURSCHEL P., BINDER F. 1993: Bodenvegetation-Verjüngung-Waldschäden. AFZ (5): 216.
- CHRISTIANSEN E., BAKKE A. 1988. In: BERRYMAN, A. A. (éd.) 1988: Dynamics of Forest Insect Populations. Plenum Press, New York and London: 480–503.
- CONEDERA M. 2003: Incendi di boschi in Canton Ticino: dallo studio pionieristico di Ceschi alla situazione attuale. Boll. soc. tic. sci. nat. 91 (1/2): 135–144.
- CONEDERA M., MARXER P., MORETTI M., TINNER W. 1997: Waldbrandforschung an der FNP Sottostazione Sud delle Alpi. Schweiz. Wald. (12): 18–20.
- COPPIN N. J., RICHARDS I. G. (éd.) 1990: Use of vegetation in civil engineering. Construction Industry Research and Information Association CIRIA. Butterworths, London. 292.
- D+F 1996, circulaire n° 8 du 29 juillet 1996: Mesures sylvicoles B et C (composantes N°s 411.2 et 411.3). Direction fédérale des forêts, Berne. 5 p.
- DANGUY DES DÉSERTE D., BIGOT M., CACOT E., STOQUERT G., COLLET F., ESTÈVE L. 2002: Exploitation des chablis: attention danger! Rev. for. fr. Numéro spécial 2002: 69–88.
- DARBELLAY T. 2003: Etude de la dynamique de la végétation et du rajeunissement sur une surface de chablis. Uvrier. 13 p.
- DARBELLAY T., MÉTRAL R. 2004: Le rajeunissement des forêts après la tempête Vivian – L'exemple valaisan de Pro Noyet. La Forêt 57 (11): 12–15.
- DETEC 2005: Les parcs naturels sont une chance pour les régions. Communiqué de presse du 23.2.2005. Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), Berne.
- DIRECTION DU PROJET PFS, BHP-BRUGGER & PARTNER 2004: Programme forestier suisse (PFS). Cahier de l'environnement n° 363. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne. 117 p.
- DOBMAN J. 2002: Untersuchung der Abflussbildungsprozesse mittels Berechnungsversuchen im Baachli und Fulwasser, Spissibach, Leissigen. Eine Einschätzung zur Beurteilung von Reaktionsweisen von Wildbacheinzugsgebieten. Diplomarbeit. Geographisches Institut der Universität Bern.
- DORREN L. K. A., BERGER F., LE HIR C., MERMIN E., TARDIF P. 2005: Mechanisms, effects and management implications of rockfall in forests. For. Ecol. Manage. in Druck.
- DROUINEAU S., LAROISSINIE O., BIROT Y., TERRASSON D., FORMERY T., ROMAN-AMAT B. 2000: Joint Evaluation of Storms, Forest Vulnerability and their Restoration. Discussion Paper. PÄIVINEN, R. European Forest Institute, Joensuu. 39 p.
- DUELLI P., OBRIST M. K., WERMELINGER B. 2002: Windthrow-induced changes in faunistic biodiversity in alpine spruce forests. For. Snow Landsc. Res. 77 (1/2): 117–131.
- DUELLI P., ZAHRADNIK P., KNIZEK M., KALINOVA B. 1997: Migration in spruce bark beetles (*Ips typographus* L.) and the efficiency of pheromone traps. J. Appl. Entomol. 121: 297–303.
- EBERT K.-H. 2000: Perspektiven für die Bewältigung von «Lothar»? AFZ. (16): 828–829.
- EGLI S., PETER M., FALCATO S. 2002: Dynamics of ectomycorrhizal fungi after windthrow. For. Snow Landsc. Res. 77 (1/2): 81–88.
- ENGESSER R., FORSTER B., MEIER F., ODERMATT O. 1998: Forstschutzsituation 1997 in der Schweiz. AFZ. (7): 375–377.
- ENTRY J. A., RYGIWICZ P. T., WATRUD L. S., DONNELLY P. K. 2002: Influence of adverse soil conditions on the formation and function of Arbuscular mycorrhizas. Advances in Environmental Research. 7: 123–138.
- ERLER J., BUSCH J. 2004: Gefährdungspotentiale bei der Waldarbeit. Forsttech. Inf. (3/4): 23–25.
- FAHSE L., HEURICH M. 2003: Borkenkäfer, Fichten und Computer. In: BÖHME D., HUF E. S. (éd.) 2003: Forschen für die Umwelt. UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Leipzig. 4: 11–17. Disponible sur Internet: <http://www.ufz.de/index.php?de=2293>.
- FEICHT E. 2004: Einfluss natürlicher Feinde auf den Buchdrucker (*Ips typographus*) am Beispiel von Brack- und Erzwespen. Waldforschung aktuell. Nachrichten aus dem Zentrum Wald-Forst-Holz, Weihenstephan. (5): 1–2.
- FLÜCKIGER W., BRAUN S. 2005: Einfluss von Bodeneigenschaften auf die Wiederbewaldung. In: INDERMÜHLE M., RAETZ P., VOLZ R. (éd.) 2005: LOTHAR Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6. Documents environnement n° 184. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne: 113–121 (avec résumé en français).
- FLURY J. 2003: Wald und Wasser. Bündnerwald. 56 (4): 7–10.
- FORSTER B., BUOB S., COVI S., OEHRY E., URECH H., WINKLER M., ZAHN C., ZUBER R. 1998: Nettoiement du parterre de coupe. Notice pour le praticien n° 30. Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf. 4 p.

- FORSTER B., MEIER F., GALL R. 2003a: Bark beetle management after a mass attack – some Swiss experiences. In: McMANUS, M. L., LIEBHOLD, A. M. (éd.) 2003a: Proceedings of Conference «Ecology, survey and management of forest insects», 1–5 Sept. 2002, Krakow. USDA Forest Service Northeastern Research Station: 10–15.
- FORSTER B., MEIER F., GALL R., ZAHN C. 2003b: Erfahrungen im Umgang mit Buchdrucker-Massenvermehrungen (*Ips typographus* L.) nach Sturmereignissen in der Schweiz. Schweiz. Z. Forstwes. 154 (11): 431–436.
- FREHNER M. 2002: Untersuchungen über den Einfluss unterschiedlicher Kleinstandorte und der Pflanztechnik auf Fichtenpflanzungen in subalpinen Lawinenschutzwäldern. Beiheft Schweiz. Z. Forstwes. 227 p.
- FREHNER M., WASSER B., SCHWITTER R. 2005: Gestion durable des forêts de protection. Soins sylvicoles et contrôle des résultats: instructions pratiques. L'environnement pratique. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP). Berne.
- FREY W., FORSTER B., GERBER W., GRAF F., HEINIGER U., KUHN N., THEE P. 1995: Risiken und Naturgefahren auf Windwurfflächen. Schweiz. Z. Forstwes. 146 (11): 863–872.
- FREY W., THEE P. 2002: Avalanche protection of windthrow areas: A ten year comparison of cleared and uncleared starting zones. For. Snow Landsc. Res. 77 (1/2): 89–107.
- FRUTIG F., ERNI V. 2001: Modèles de productivité pour la récolte des bois: une nouvelle technologie de logiciels est testée. La Forêt 54, 23–25.
- FVA FREIBURG 2000: Arbeitsverfahren im Sturmholz. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abt. Arbeitswirtschaft und Forstbenutzung, Freiburg. 23 p.
- GAILLARD J.-M., DUNCAN P., DELORME D., VAN LAERE G., PETTORELLI N., MAILLARD D., RENAUD G. 2003: Effects of Hurricane Lothar on the population dynamics of european roe deer. J. Wildl. Manage. 67 (4): 767–773.
- GALL R., MEIER F., MEIER A. L., FORSTER B. 2003: Regionale Verteilungsmuster des Buchdrucker-Stehendbefalls (*Ips typographus* L.) nach Sturmschäden im Kanton Bern. Schweiz. Z. Forstwes. 154 (11): 431–436.
- GERBER W. 1994: Beurteilung des Prozesses Steinschlag. Kursunterlagen zum FAN-Kurs in Poschiavo, Okt. 1994. Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf. 11 p.
- GERBER W. 1998: Waldwirkungen und Steinschlag – Unterlagen zu den GWG/ FAN-Kursen 1998. Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf. 1 p.
- GERBER W., RICKLI C., GRAF F. 2002: Surface Erosion in cleared and uncleared mountain windthrow sites. For. Snow Landsc. Res. 77 (1/2): 109–116.
- GERLACH G. 1996: Kleinsäuger auf Sturmschadenflächen. Wildbiologie. (4): 12.
- GERTSCH E., KIENHOLZ H. 2004: Einfluss auf den Feststoffhaushalt. In: HEGG C., THORMANN J.-J., BÖLL A. *et al.* (éd.) 2004: Lothar und Wildbäche. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf: 69–74.
- GLUTZ VON BLOTZHEIM U. N. 1996: Avifauna von Sturmschadenflächen im Tannen-Buchenwaldareal am Schwyzer Nordalpenrand (Dritte Kartierung). Bericht ornitho-ökologischer Sommerkurs 1996. Zoologisches Institut Universität Bern, Berne. 128 p.
- GLUTZ VON BLOTZHEIM U. N. 2001: Zur Entwicklung der Avifauna auf ehemaligen Sturmwurfflächen im Tannen-Buchenwaldareal am Schwyzer Nordalpenrand (1990–2000). Ornithol. Beob. 98: 81–112.
- GOCKEL H. A., ROCK J., SCHULTE A. 2001: Aufforsten mit Eichen-Trupppflanzungen. Wirtschaftliche und waldbauliche Vorteile. AFZ-Der Wald. (5): 223–226.
- GODEFROID S., KOEDAM N. 2004: Interspecific variation in soil compaction sensitivity among forest floor species. Biol. Conserv. 119: 207–217.
- GOSSOW H., FRANK G. 2003: Waldbrand auf Windwurf – eine unheilige Allianz? Österr. Forstztg. 114 (9): 8–9.
- GÖTHLIN E., SCHROEDER L. M., LINDELÖW A. 2000: Attacks by *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus* on windthrown spruces (*Picea abies*) during the two years following a storm felling. Scand. J. For. Res. 15 (5): 542–549.
- GRIER C. C. 1978: A *Tsuga heterophylla* – *Picea sitchensis* ecosystem of coastal Oregon: decomposition and nutrient balances of fallen logs. Can. J. For. Res. 8: 198–206.
- GSTEIGER P. 1993: Steinschlagschutzwald. Ein Beitrag zur Abgrenzung, Beurteilung und Bewirtschaftung. Schweiz. Z. Forstwes. 144 (2): 115–132.
- HARMON M. E., GRIFFITHS R., MCKEE A., SWANSON F. J. 1998: Dead wood, bugs, fungi, and new forests. The log decomposition study. Project summary. Cascade Center for Ecosystem Management, Oregon. 2 p. Disponible sur Internet: <http://guild.murdoch.edu.au/mega/stud200yr.htm> et <http://www.lclark.edu/~bierzych/bio335/logdecomposition.PDF>.
- HEGG C., BADOUX A. 2003: Waldwirkung auf Hochwasser. Bündnerwald. 56 (4): 31–33.
- HEIDELBAUER M. 2004: Klimawandel-Konsequenzen. Forstzeitung. 115 (10): 18–19.
- HEINIMANN H. R., HOLLENSTEIN K., KIENHOLZ H., KRUMMENACHER B., MANI P. 1998: Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren. Documents environnement n° 85. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne, 247 p. (avec résumé en français).
- HILDEBRAND E. E., PULS C., GAERTIG T., SCHACK-KIRCHNER H. 2000: Flächige Bodenverformung durch Befahren – Ein unterschätzter ökosystemarer Eingriff. AFZ-Der Wald. (13): 683–686.

- HILLGARTER F.-W. 1971: Waldbauliche und ertragskundliche Untersuchungen im subalpinen Fichtenurwald Scat-lé/Brigels. Diss. Nr. 4619. Eidg. Technische Hochschule ETH, Zürich. 80 p.
- HOFFER P., WINZELER R., LÜKING J., OLSCHESKI A. 2003: LOTHAR Optimierung der Holztransporte. Documents environnement n° 161. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne, 105 p. Disponible sur Internet: <http://www.environnement-suisse.ch> >publications, code UM-161.
- HONOLD A., OBERWINKLER F. 1998: Pilze im Totholz. In: FISCHER, A. (éd.) 1998: Die Entwicklung von Wald-Biozönosen nach Sturmwurf. ecomed verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg: 214–226.
- HYTTEBORN H., PACKHAM J. R. 1987: Decay Rate of Picea abies Logs and the Storm Gap Theorie: A Re-examination of Sernander Plot III, Fiby Urskog, Central Sweden. Arboric. J. 11: 299–311.
- INDERMÜHLE M., KAUFMANN G., STEIGER P. 1998: Konzept Waldreservate Schweiz – Schlussbericht des Projektes Reservatspolitik der Eidgenössischen Forstdirektion. Eidgenössische Forstdirektion, Berne. 102 p. (annexe non comprise).
- JEHL H. 1995: Die Waldentwicklung auf Windwurfflächen im Nationalpark Bayerischer Wald. In: NATIONALPARK-VERWALTUNG BAYERISCHER WALD (éd.) 1995: 25 Jahre auf dem Weg zum Naturwald: 112–145.
- JENNI H. P. 1993: Pour que les arbres ne cachent pas la forêt; un guide à travers la nouvelle législation sur les forêts. Cahier de l'environnement n° 210. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne. 113 p.
- JIRIKOWSKI W., PRÖLL W. 2003: Krisenmanagement nach Windwurfkatastrophen. BFW-Praxisinformation. (1): 3–5.
- KANTONSFORSTAMT LUZERN 2002: Sonderkredite zur Bewältigung der Auswirkungen des Orkans Lothar. Stand Ende März 2002. Zwischenbericht und Ausblick bis Ende 2003. Luzern. 13 p.
- KARISCH G. 1996: Erfassung von Bodenschäden auf den Sturmflächen von Vivian 1990 in den Gemeinden Guttannen und Schattenhalb. Travail de stage. Division forestière 1, Interlaken. 13 p. Non publié.
- KARLSSON M. 2002: Natural regeneration to increase the proportion of broadleaved trees in southern Sweden – effects of seed dispersal and silvicultural treatments. In: BRUNNER, A. (éd.) 2002: Restocking of storm-felled forests: new approaches. Proceedings of an international workshop in Denmark, March 2001: 100–101.
- KÄTHNER T. 1999: Es geschah am 16. April 1997 – Ein Waldbrand und seine Folgen. Wald und Holz. (3): 11–14.
- KENK G., MENGES U., BÜRGER R. 1991: Natürliche Wiederbewaldung von Sturmwurfflächen? AFZ. 46 (2): 96–100.
- KIENHOLZ H. 1994: Naturgefahren – Naturrisiken im Gebirge. Schweiz. Z. Forstwes. 145 (1): 1–25.
- KOCH R., BRANG P. 2005: Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar. Schlussbericht zuhanden der Eidg. Forstdirektion (BUWAL). Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf. 90 p.
- KOMPA T. 2004: Die Initialphase der Vegetationsentwicklung nach Windwurf in Buchen-Wäldern auf Zechstein- u. Buntsandstein-Standorten des südwestlichen Harzvorlandes. Dissertation an der Universität Göttingen. 223 p.
- KORPEL S. 1995: Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York. 310 p.
- KUPFERSCHMID A. D., BRANG P., BUGMANN H., SCHÖNENBERGER W. 2004: Schutzwirkung von Gebirgsfichtenwäldern nach Buchdruckerbefall. Wie gut schützen Totholzbestände vor Naturgefahren? Wald und Holz. 85 (1): 33–36.
- KUPFERSCHMID A. D., BUGMANN H. 2005: Effect of microsites, logs and ungulate browsing on Picea abies regeneration in a mountain forest. For. Ecol. Manage. 205: 251–265.
- KUPFERSCHMID ALBISETTI A. D. 2003: Succession in a protection forest after Picea Abies die-back. Dissertation ETH. Zürich. 237 p.
- LABISKY R. F., MILLER K. E., HARTLESS C. S. 1999: Effect of hurricane Andrew on survival and movements of white-tailed deer in the everglades. J. Wildl. Manage. 63 (3): 872–879.
- LAHO R., PRESCOTT C. E. 2004: Decay and nutrient dynamics of coarse woody debris in northern coniferous forests: a synthesis. Can. J. For. Res. 34 (4): 763–777.
- LÄSSIG R., EGLI S., ODERMATT O., SCHÖNENBERGER W., STÖCKLI B., WOHLGEMUTH T. 1995: Beginn der Wiederbewaldung auf Windwurfflächen. Schweiz. Z. Forstwes. 146 (11): 893–911.
- LATELTIN O. 1997: Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire. Dangers naturels. Recommandations. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Office fédéral de l'économie des eaux (OFEE), Office fédéral de l'aménagement du territoire (OFAT), Berne. 42 p.
- LUNDSTRÖM T., SIMON H., JONSSON M. 2005: Assessing reaction and energy absorption of trees exposed to rock-fall. Plant Soil. Eingereicht und akzeptiert 2005.
- LÜSCHER P. 2005: Bodenverdichtungen. In: IDERMÜHLE M., RAETZ P., VOLZ R. (éd.) 2005: LOTHAR Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6. Documents environnement n° 184. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne: 97–106. Disponible sur Internet: <http://www.environnement-suisse.ch> >publications, code UM-184.
- LÜTHI C. 1998: Einfluss verschiedener Räumungsvarianten auf die Nutzung der ehemaligen Sturmschadenfläche Schwanden durch Schalenwild. Diplomarbeit. Professur für Waldbau, ETH, Zürich. Non publié.
- MAI W. 1997: Naturverjüngung auf Moderholz – Ergebnisse einer Literaturstudie. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising. 59 p.
- MAI W. 1998: Naturverjüngung auf Moderholz. Allgemeine ForstZeitschrift. (11): 591.

- MARGRETH S. 2004: Die Wirkung des Waldes bei Lawinen. In: INSTITUT FÉDÉRAL DE RECHERCHES SUR LA FORÊT, LA NEIGE ET LE PAYSAGE (WSL) (éd.) 2004: Schutzwald und Naturgefahren. Forum für Wissen 2004: 21–26.
- MARTIN S. 2003: Moderholzverjüngung im Waldreservat Scatlè. Forstwissenschaften. Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule: 101.
- MELLERT K.-H., KÖLLING C., REHFUSS K. E. 1996: Stoffauswaschung aus Fichtenwaldökosystemen Bayerns nach Sturmwurf. Forstwiss. Cent.bl. 115: 363–377.
- MENASHE E. 1998: Vegetation and erosion. A literature survey. Environmental Education assessment & Management. Greenbelt Consulting, Clinton. 10 p. Disponible sur Internet: www.greenbeltconsulting.com.
- MENGIN A. 2004: Reconstitution des forêts de montagne après tempête, aide à la décision adaptée aux conditions du Valais (Suisse). Mémoire de fin d'études. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts (EN-GREF), Nancy Cedex. 74 p. Non publié.
- MÖLLER G. 1994: Alt- und Totholzlebensräume. Ökologie, Gefährdungssituation, Schutzmassnahmen. Beitr. Forstwirtsch. Landsch.ökol. 28 (1): 7–15.
- MOLLET P., BADILATTI B., BOLLMANN K., GRAF R., HESS R., JENNY H., MÜLHAUSER B., PERRENOUD A., RUDMANN F., SACHOT S., STUDER J. 2003: Verbreitung und Bestand des Auerhuhns Tetrao urogallus in der Schweiz 2001 und ihre Veränderungen im 19. und 20. Jahrhundert. Ornithol. Beob. 100: 67–86.
- MORTIER F. 2001: Reconstitution des forêts après tempêtes. Guide. Office National des Forêts, Paris. 148 p.
- MOSER B., HINDENLANG K., SCHÜTZ M. 2004: Wechselwirkungen zwischen Vegetation und Reh: Einfluss von Windwurf auf Nahrungsangebot und Nahrungsnutzung. In: ANGST C., BÜRGI A., DUELLI P. et al. (éd.) 2004: Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz 2000–2003. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf: 65–72. Publié sur Internet le 20.10.2004: www.wsl.ch/lm/publications/books/.
- MÜLLER-USING S., BARTSCH N. 2003: Totholzdynamik eines Buchenbestandes (*Fagus sylvatica* L.) im Solling. Allg. Forst- Jagdztg. 174 (7): 122–130.
- NIERHAUS-WUNDERWALD D., FORSTER B. 2004: Biologie de ces deux genres d'Ips. Notice pour le praticien n° 18. Institut fédéral de recherches (WSL), Birmensdorf. 8 p. 3^e édition revue.
- NOACK A., SCHÖNENBERGER W., THEE P. 2004: Schützen Windwurfllächen vor Lawinen und Steinschlag? Wald und Holz. 43–46.
- NOBIS M., BÜRGI A. 2004: Jungwald-Pflegekonzepte auf grossen Windwurfllächen. In: ANGST C., BÜRGI A., DUELLI P. et al. (éd.) 2004: Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz 2000–2003. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf: 78–85. Publié sur Internet le 20.10.2004: <http://www.wsl.ch/lm/publications/books/>.
- NOBIS M., WOHLGEMUTH T. 2004: Dauerbeobachtung der Vegetationsentwicklung auf Lothar-Windwurfllächen. In: ANGST C., BÜRGI A., DUELLI P. et al. (éd.) 2004: Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz 2000–2003. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf: 39–52. Publié sur Internet le 20.10.2004: <http://www.wsl.ch/lm/publications/books/>.
- NÜSSLEIN S. 1997: Totholzflächen und Waldstrukturdaten im Nationalpark Bayerischer Wald 1996/97. Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft, Freising. 18 p.
- NÜSSLEIN S., FAISST G., WEISSBACHER A., MORITZ K., ZIMMERMANN L., BITTERSÖHL J., KENNEL M., TROYCKE A., ADLER H. (éd.) 2000: Zur Waldentwicklung im Nationalpark Bayerischer Wald 1999 – Buchdrucker-Massenvermehrung und Totholzflächen im Rachel-Lungen-Gebiet. LFW-Bericht Nr. 25. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft LWF, Freising. Disponible sur Internet: <http://2004.lwf.bayern.de/>.
- OcCC 2002: Das Klima ändert – auch in der Schweiz. Die wichtigsten Ergebnisse des dritten Wissensstandsberichts des IPCC aus der Sicht der Schweiz. OcCC (Organe consultatif sur les changements climatiques), Berne. 48 p. Disponible sur Internet: <http://www.proclim.ch/products/IPCC-CH02/IPCC-CH02D.pdf>.
- ODENTHAL-KAHABKA J., PÜTTMANN W. 2004: Orkan «Lothar» – Bewältigung der Sturmschäden in den Wäldern Baden-Württembergs. Dokumentation, Analyse, Konsequenzen. Schr.reihe Landesforstverwalt. Baden-Württ. Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg, Stuttgart. 443 p.
- OFEFP (éd.) 2002: Environnement suisse 2002, Politique et perspectives. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne. 354 p.
- OFEV 2008: Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête, 3^e édition remaniée. Office fédéral de l'environnement, (OFEV), Berne.
- OFEFP 1993: Aide-mémoire en cas de dégâts aux forêts, 2^e édition remaniée. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne. Classeur à anneaux.
- OFEFP 2004: Lothar, rapport de gestion. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne, 34 p.
- OFEFP, ENA 1990: Directives pour la construction d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) et Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Berne/Davos. 76 p. Complétées en 2000.

- OTT E., FREHNER M., FREY H.-U., LÜSCHER P. 1997: Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Verlag Paul Haupt, Berne. 287 p.
- PALMER S., GROSS G., LIEBER K.-H., HUSSENDÖRFER E. 2000: Grundsätze zur Aufarbeitung von Sturmschäden. ANW Baden-Württemberg. 4 p. Disponible sur Internet: <http://www.anw-baden-wuerttemberg.de/lothar.pdf>.
- PERRET S., DOLF F., KIENHOLZ H. 2004: Rockfalls into forests: Analysis and simulation of rockfall trajectories — considerations with respect to mountainous forests in Switzerland. *Landslides*. (1): 123–130.
- PETERSON C. J. 2000: Catastrophic wind damage to North American forests and the potential impact of climate change. *The Science of the Total Environment*. 262: 287–311.
- PETERSON C. J., PICKETT S. T. A. 1995: Forest reorganization: a case study in an old-growth forest catastrophic blowdown. *Ecology*. 76 (3): 763–774.
- PETRASCHECK A. 2003: Hochwasser. In: OcCC (ORGANE CONSULTATIF SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES) (éd.) 2003: Extremereignisse und Klimaänderung. OcCC (Organe consultatif sur les changements climatiques), Berne: 69–72.
- PICHERY C., BRUCIAMACCHIE M. 2002: Les atouts du bois mort pour la sylviculture. *La Forêt Privée*. 44: 371–383.
- PISCHEDDA D. (éd.) 2004: Technical guide on harvesting and conservation of storm damaged timber. Published by the team of experts from the concerted action QLK5-CT2001–00645 STODAFOR. 103.
- REBETEZ M. 2000: Réchauffement du climat, sécheresse et feux de forêts. *La Forêt* 53 (1): 26–27.
- REICH T., LÄSSIG R., ANGST C. 2004: Das Waldreservat Rorwald. *Wald und Holz*. 84 (7): 32–36.
- REXER K.-H., KOTTKE I., EBERHARDT U., WALTER L., OBERWINKLER F. 1998: Das Mykorrhizapotentia auf Sturmwurfflächen und seine Bedeutung für die Bestandesregeneration. In: FISCHER, A. (éd.) 1998: Die Entwicklung von Wald-Biozönosen nach Sturmwurf. ecomed verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg: 94–112.
- RICKENMANN D. 1995: Beurteilung von Murgängen. *Schweiz. Ing. Archit.* (48): 4–8.
- RICKLI C. (éd.) 2001: Vegetationswirkungen und Rutschungen. Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Birmensdorf, Berne. 97.
- RICKLI C., BUCHER H. 2003: Oberflächennahe Rutschungen ausgelöst durch die Unwetter vom 15.-16.7.2002 im Napfgebiet und vom 31.8.-1.9.2002. Projektbericht zuhanden des BWG. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) et Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf. 6 p.
- RICKLI C., ZÜRCHER K., FREY W., LÜSCHER P. 2002: Wirkungen des Waldes auf oberflächennahe Rutschprozesse. *Schweiz. Z. Forstwes.* 153 (11): 437–445.
- ROTHE A., KÖLLING C., MORITZ K. 1998: Waldbewirtschaftung und Grundwasserschutz. Der aktuelle Kenntnisstand. *AFZ-Der Wald*. 53 (6): 291–295.
- RÜEGG D. 2003a: Jagd auf Vivian-Flächen im Revier Grabs-West Kt. SG. *UVSL-Bulletin*. 3: 1–3.
- RÜEGG D. 2003b: Untersuchungen über die Entwicklung der Verjüngung und der Gämsbestände im Kanton Glarus. *UVSL-Bulletin*. 3: 3–5.
- RUNE F. 2002: Natural restocking and biodiversity development in a Danish beech forest after the 1967 storm. In: BRUNNER, A. (éd.) 2002: Restocking of storm-felled forests: new approaches. Proceedings of an international workshop in Denmark, March 2001. Danish Centre for Forest, Landscape and Planning: 74–76.
- SALM B., BURKARD A., GUGLER H. U. 1990: Berechnung von Fliesslawinen – Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches (ENA), Davos. 37 p.
- SCHÄFFER J. 2004: Einfluss befahrungsbedingter Bodenstrukturstörungen auf die Wurzelbildung von Eichen auf durch «Lothar» verursachten Sturmwurfflächen. In: ODENTHAL-KAHABKA J., PÜTTMANN W. (éd.) 2004: Orkan «Lothar» – Bewältigung der Sturmschäden in den Wäldern Baden-Württembergs. Dokumentation, Analyse, Konsequenzen. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg. Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg, Stuttgart. Band 83: 213–225.
- SCHÄFFER J., VON WILPERT K. 2004: Bodenverformungen durch Befahrung – Dokumentation von Befahrungsspuren auf Sturmwurfflächen an Luftbildern. In: ODENTHAL-KAHABKA J., PÜTTMANN W. (éd.) 2004: Orkan «Lothar» – Bewältigung der Sturmschäden in den Wäldern Baden-Württembergs. Dokumentation, Analyse, Konsequenzen. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Stuttgart. Band 83: 443.
- SCHÄR C., VIDALE P. L., LÜTHI D., FREI C., HÄBERLI C., LINIGER M. A., APPENZELLER C. 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*. 427: 332–336.
- SCHENK A. 2003: LOTHAR Die Sicht der Interessengruppen. Documents environnement n° 156. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne, 104 p. (avec résumé en français). Disponible sur Internet: <http://www.environnement-suisse.ch> >publications, code UM-156.
- SCHERRER H. U. 1993: Projekt zur flächenhaften Erfassung und Auswertung von Sturmschäden. *Allgemeine Forstzeitschrift*. (14): 712–714.
- SCHIEGG PASINELLI K., SUTER W. 2002: Le bois mort – un habitat. Notice pour le praticien n° 33. Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf. 6 p.
- SCHMIDT O. 1999: Alte Bäume – Totholz von morgen. *LWF aktuell*. (18): 28–30. Disponible sur Internet: <http://2004.lwf.bayern.de/lwfaktuell/lwfakt18/>.

- SCHMIDT-VOGT H. 1991: Die Fichte. Waldbau -Ökosysteme – Urwald – Wirtschaftswald – Ernährung – Düngung – Ausblick. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin. 804 p.
- SCHÖNENBERGER W. 2002: Post windthrow stand regeneration in Swiss mountain forests: the first ten years after the 1990 storm Vivian. *For. Snow Landsc. Res.* 77 (1/2): 61–80.
- SCHÖNENBERGER W., NOACK A., THEE P. 2005: Effect of timber removal from windthrow slopes on the risk of snow avalanches and rockfall. *For. Ecol. Manage.* 213: 197–208.
- SCHÖNENBERGER W., FISCHER A., INNES J.L. (éd.) 2002: Vivian's Legacy in Switzerland – impact of windthrow on forest dynamics. *For. Snow Landsc. Res.* 77 (1/2): 1–224
- SCHROEDER L. M., LINDELÖW A. 2002: Attacks on living spruce trees by the bark beetle *Ips typographus* (Col. Scolytidae) following a storm-felling: a comparison between stands with and without removal of wind-felled trees. *Agricultural and Forest Entomology*. 4 (1): 47–56.
- SCHRÖTER H., BECKER T., SCHELSHORN H. 1998: Die Bedeutung der Sturmwurfflächen als «Borkenkäferquellen» für umliegende Wirtschaftswälder. In: FISCHER, A. (éd.) 1998: Die Entwicklung von Wald-Biozönosen nach Sturmwurf. *ecomod verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg*: 292–314.
- SCHÜTZ J.-P. 1996: Bedeutung und Möglichkeiten der biologischen Rationalisierung im Forstbetrieb. *Schweiz. Z. Forstwes.* 147 (5): 315–349.
- SCHWENKE W. 1985: Beziehungen zwischen tierischen Schädlingen und Baumerkrankungen. *Forstwiss. Cent.bl.* 104: 220–225.
- SCHWITTER R. 1996: Schutzwald im Taminatal – Wiederherstellung nach dem Sturm. *Forstwiss. Cent.bl.* 115: 273–286.
- SCHWITTER R. 2002: Effets protecteurs des bois renversés contre les avalanches. *Expériences tirées de la pratique. La Forêt* (12) (2002).
- SEIWER L. J. 1984: Das 1x1 des Zeitmanagement. GABAL Verlag, Speyer. 50 p.
- SERVICE DES FORÊTS ET DE LA FAUNE FRIBOURG 2001: Wiederherstellung von Waldwegen im Anschluss an Arbeiten «Lothar». Fribourg. 10
- SHEPPARD S., PICARD P. 2005: Visual-quality impacts of forest pest activity at the landscape level: A synthesis of published knowledge and research needs. *Landsc. Urban Plan.* im Druck.
- SIERRA LEGAL DEFENCE FUND 1997: Going downhill fast. Landslides and the forest practices code. Disponible sur Internet: http://www.sierralegal.org/reports/landslide_toc.html.
- STANKIEWITZ O. 2004: Waldentwicklung nach Grosssturmereignissen. Grundlagenprogramm Lothar, Synthese Teilprogramm 1. Berne: 25. Non publié.
- STOFFEL M., WEHRLI A., KÜHNE R., DORREN L. K. A., PERRET S., KIENHOLZ H. 2005: Quantifying the protective effect of mountain forests against rockfall using a 3D simulation model. *For. Ecol. Manage.* Eingereicht.
- STORAUNET O., ROLSTAD J. 2002: Time since death and fall of Norway spruce logs in old-growth and selectively cut boreal forest. *Can. J. For. Res.* 32 (10): 1801–1812.
- SUCHOCKAS V. 2002: Seed dispersal and distribution of silver birch (*Betula pendula*) naturally regenerating seedlings on abandoned agricultural land at forest edges. *Baltic Forestry*. 8 (2): 71–76.
- SUDA M. 2003: Wald – Objekt der Begierden? In: ZENTRUM WALD-FORST-HOLZ WEIHENSTEPHAN (éd.) 2003: Seminarvorträge am 8. Mai 2003 anlässlich der Gründungsfeier im Zentrum Wald-Forst-Holz Weihestephän am Hochanger, Weihestephän: 29–31.
- TEUFEN B. 1993: Lawinen-Gefahrenbeurteilung in einem touristisch erschlossenen Gebiet oberhalb der Waldgrenze. *Technischer Bericht. Forstinspektorat Graubünden, Davos*. 19 p.
- TOMICZEK C. 2003: Forstschutzprobleme in Windwurfgebieten mit hohem Fichtenanteil. *BFW-Praxisinformation*. (1): 9–11.
- ULANOVA N. G. 2000: The effects of windthrow on forests at different spatial scales: a review. *For. Ecol. Manage.* 135: 155–167.
- WALTHER L., ZIMMERMANN S., BLASER P., LUSTER J., LÜSCHER P. 2004: Waldböden der Schweiz. Band 1. Grundlagen und Region Jura. Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) et Hep Verlag, Birmensdorf, Berne. 768 p.
- WASEM K., BAUER N. 2005: Stolpersteine bei der Etablierung von Wildnisgebieten. *Inf.bl. Forsch.bereich Landsch.* (62): 1–4.
- WEIHS U., WILHELM G. J., ROOS R. 1999: Wie sich unbehandelte Fichtenbestände aus Naturverjüngung entwickeln. *AFZ-Der Wald*. 54 (4): 172–175.
- WEISSBACHER A. 1999: Borkenkäfer im Nationalpark Bayerischer Wald. *LWF aktuell*. (19): 13–17. Disponible sur Internet: <http://2004.lwf.bayern.de/lwfaktuell/lwfakt19/>.
- WEISSBACHER A. 2004: Borkenkäfermassenvermehrung im Nationalpark Bayerischer Wald – Brutraum und günstige Witterung sind entscheidend. *Waldforschung aktuell. Nachrichten aus dem Zentrum Wald-Forst-Holz, Weihestephän*. (4): 1–2.
- WERMELINGER B. 2004: Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *For. Ecol. Manage.* 202 (1–3): 67–82.
- WERMELINGER B., DUELLI P. 2004: Vergleich der Fauna auf Lothar-Windwurfflächen und im intakten Wald. In: ANGST C., BÜRGI A., DUELLI P. *et al.* (éd.) 2004: Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz

- 2000–2003. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf: 73–77. Publié sur Internet le 20.10.2004: <http://www.wsl.ch/lm/publications/books/>.
- WERMELINGER B., DUELLI P., OBRIST M. K. 2002a: Dynamics of saproxylic beetles (Coleoptera) in windthrow areas in alpine spruce forests. *For. Snow Landsc. Res.* 77 (1/2): 133–148.
- WERMELINGER B., EPPER C., SCHNEIDER MATHIS D. 2002b: Warum tote Käferbäume stehen lassen? *Wald und Holz.* 56 (4): 39–42.
- WERMELINGER B., SEIFERT M. 1998: Analysis of the temperature dependent development of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). *J. Appl. Entomol.* 122 (4): 185–191.
- WETT N. 2003: Aspekte des Prozesses der N-Freisetzung aus Humusvorratsabbau. Dissertation. Kassel. 158 p.
- WETTMANN O. 2002: Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Sturmholzaufarbeitung im Jahr 2000. Referat. 24th session of the Joint FAO/ECE/ILO Committee on Forest Technology, Management and Training. 12.-14. Sept. 2002 in Ennis, Irland: 4.
- WETTMANN O. 2004: Accident prevention and safety issues for managing storm damaged wood. Referat. STODAFOR CONFERENCE, Management of Storm damaged Forests. October 27–28, 2004 in Schluchsee, Deutschland: 10. Non publié.
- WICHMANN L., RAVN H. P. 2001: The spread of *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytidae) attacks following heavy windthrow in Denmark, analysed using GIS. *For. Ecol. Manage.* 148: 31–39.
- WIDMER O., SAÏD S., MIROIR J., DUNCAN P., GAILLARD J.-M., KLEIN F. 2004: The effects of hurricane Lothar on habitat use of roe deer. *For. Ecol. Manage.* 195 (1/2): 237–242.
- WILD-ECK S. 2003: LOTHAR Wahrnehmung der Bevölkerung. Documents environnement n° 155. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne, 154 p. (avec résumé en français). Disponible sur Internet: <http://www.environnement-suisse.ch> >publications, code UM-155.
- WILD-ECK S., SCHENK ZUMBRUNN A., HUNZIKER M. 2004: Naturereignisse im Spiegel der Gesellschaft. Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Birmensdorf. 119 p.
- WILHELM C. 1999: Naturgefahren und Sicherheit der Bevölkerung im Gebirge – oder: Von der Schicksalsgemeinschaft zur Risikogesellschaft. Fünf Thesen zum Umgang mit Naturgefahren, dargestellt am Beispiel des Lawinenschutzes in der Schweiz. In: Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) (éd.) 1999: Tagungsband «Forum für Wissen 1999», Birmensdorf: 47–55. Disponible sur Internet: <http://www.wsl.ch/lm/publications/e-publ/forum/1999-2/fo99-2-wilhelm.pdf>.
- WILHELM P., FUNKE W. 1998: Kleinsäuger. In: FISCHER, A. (éd.) 1998: Die Entwicklung von Wald-Biozönosen nach Sturmwurf. ecomed verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg: 330–334.
- WITZIG J., BADOUX A., HEGG C., LÜSCHER P. 2004: Waldwirkung und Hochwasserschutz – eine standörtlich differenzierte Betrachtung. Birmensdorf: 4. Disponible sur Internet: <http://www.wsl.ch/forest/soil/produkte/sperbel/forstundholz.pdf>.
- WOHLGEMUTH T., KUHN N., LÜSCHER P., KULL P., WÜTHRICH H. 1995: Vegetations- und Bodendynamik auf rezenten Windwurf Flächen in den Schweizer Nordalpen. *Schweiz. Z. Forstwes.* 146 (11): 873–891.
- WOHLGEMUTH T., KULL P., WÜTHRICH H. 2002: Disturbance of microsites and early tree regeneration after windthrow in Swiss mountain forests due to the winter storm Vivian 1990. *For. Snow Landsc. Res.* 77 (1/2): 17–47.
- WSL, OFEFP (éd.) 2001: Lothar – Der Orkan 1999. Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Birmensdorf, Berne. 365 (avec résumé en français).
- YATSKOV M., HARMON M. E., KRANKINA O. N. 2003: A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia. *Can. J. For. Res.* 33 (7): 1211–1226.
- ZIEMER R. R. 1981: roots and the stability of forested slopes. 1981: Symposium on Erosion and Sediment Transport in Pacific Rim Steeplands. International Association of Hydrogeological Sciences. Pub. 132: 343–361.
- ZINGGELER J., NIGG H., RÜEGG D. 2002: Waldverjüngung und Rehe auf «Lothar»-Flächen. *UmweltAargau.* 19: 23–28.
- ZÜRRE R. M. 2005: Entscheidungshilfen zum Schutz des Bodens bei Räumungsarbeiten nach Flächenschäden. In: INDERMÜHLE M., RAETZ P., VOLZ R. (éd.) 2005: LOTHAR Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6. Documents environnement n° 184. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne: 110–112. Disponible sur Internet: <http://www.environnement-suisse.ch> >publications, code UM-184.